

**Untersuchungen zur Wuchsdynamik von Mischbeständen
aus Buche und Europ. Lärche (*Larix decidua*, Mill.)
als Grundlage für ein abstandsabhängiges
Einzelbaumwachstumsmodell**

Versuchsflächenanalyse, Modellparametrisierung und waldbauliche Konsequenzen
für die Behandlung von Buchen-Lärchen-Mischbeständen im Südniedersächsischen Bergland

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
des Forstwissenschaftlichen Fachbereichs
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

Martin Guericke

Göttingen, im Januar 2001

Inhaltsverzeichnis

	Seite
<u>1 Einleitung</u>	1
1.1 Anlass und Einbindung der Untersuchung	1
1.2 Leitbild und Bedeutung von Buchen-Lärchen-Mischbeständen in der waldbaulichen Planung für Niedersachsen	5
1.3 Zielsetzung	7
<u>2 Versuchskonzept und Datengrundlage</u>	10
2.1 Anlage und Verknüpfung von Wuchsreihen	10
2.2 Zum Ursprung des Datenmaterials	13
2.3 Datenerhebung	13
2.4 Datenaufbereitung und Verarbeitung	15
2.4.1 Verwendete Software	15
2.4.2 Ertragskundliche Grundausswertung	18
2.4.3 Kronenparameter	18
2.4.4 Bestandesstruktur	21
2.4.5 Verbale Stammansprache - Soziale Stellung, Schaft- und Kronenform	24
2.5 Versuchsflächen	24
2.5.1 Geographische Lage	24
2.5.2 Standörtliche Verhältnisse	25
2.5.2.1 Feldaufnahmen	26
2.5.2.2 Analyseergebnisse	28
2.5.3 Klimatische Verhältnisse	32
<u>3 Methodische Vorüberlegungen</u>	34
3.1 Auswahl der Datengrundlage für das Wachstumsmodell	34
3.1.1 Standörtliche Vergleichbarkeit	34
3.1.2 Durchmesserentwicklung herrschender Bäume	35
3.1.3 Datenbasis für die Modellparametrisierung	37
3.2 Transformation der Kronenmessungen	37
3.3 Zum Begriff der Kronenplastizität - Dynamisierung von Kronenmodellen	41

<u>4 Ergebnisse</u>	45
4.1 Voruntersuchungen zur Kronenausformung und Kronenbreitenveränderungen von Buchen und Lärchen im Reinbestand	45
4.1.1 Buchendurchforstungsversuch Dillenburg	45
4.1.1.1 Versuchsanlage	45
4.1.1.2 Bestandesbehandlung und Kronenausformung	47
4.1.1.3 Überschilderung	47
4.1.2 Verjüngungsexperiment Reinhausen	51
4.1.2.1 Versuchsanlage	51
4.1.2.2 Horizontale Kronenbreitenveränderungen	51
4.1.3 Japanlärchenversuch Bederkesa	54
4.1.3.1 Versuchsanlage	54
4.1.3.2 Kronenausformung	54
4.1.3.3 Horizontale Kronenbreitenveränderungen	55
4.1.3.4 Beziehung zwischen Kronendurchmesser und BHD	57
4.1.4 Zusammenfassende Wertung der Voruntersuchungen	58
4.2 Waldwachstumskundliche Analyse der untersuchten Mischbestände	60
4.2.1 Altersstruktur	61
4.2.2 Ertragskundliche Bestandeskennwerte	62
4.2.2.1 Bonitierung	62
4.2.2.2 Stammzahlentwicklung	63
4.2.2.3 Grundflächen- und Volumenentwicklung	64
4.2.3 Strukturanalyse	66
4.2.3.1 Entwicklung der Durchmesserverteilungen	67
4.2.3.2 Entwicklung der Höhenverteilungen	68
4.2.3.3 Evenness	68
4.2.3.4 Analyse der Horizontalstruktur	69
4.2.3.5 Analyse der Vertikalstruktur	72
4.2.4 Soziale Stellung, Schaft- und Kronenqualitäten - Analyse der verbalen Stammsprache	73
4.2.4.1 Soziale Stellung	74
4.2.4.2 Analyse der Schaftqualitäten	74
4.2.4.3 Analyse der Kronenausformung	75
4.2.4.4 Anzahl und Verteilung potentieller Ausleseebäume	76
4.2.4.5 Astfreie Schaftlängen der potentiellen Ausleseebäume	77

4.3	Kronenparameter von Buchen und Lärchen im Mischbestand	78
4.3.1	Überschirmung	78
4.3.2	Kronenausformung	80
4.3.3	Kronendurchmesser und Kronenbreitenveränderungen	82
4.3.4	Kronenschirmfläche, Zuwachs und Standraumbedarf	87
4.3.5	Plumpheitsgrad und Ausladungsverhältnis	91
4.4	Konkurrenzschätzung und Parametrisierung der Zuwachsfunktionen	94
4.4.1	Konkurrenzschätzung mit dem Programmbaustein FISHPLOT II	94
4.4.1.1	Vorüberlegungen zur Konkurrenzschätzung	94
4.4.1.2	Gewichtung nach artspezifischer Konkurrenz	95
4.4.1.3	Gewichtung nach himmelsrichtungsabhängiger Konkurrenz	98
4.4.1.4	Der aggregierte Konkurrenzindex FKI	100
4.4.2	Dynamisierung des Kronenmodells	103
4.4.2.1	Geometrische Kronengrundmodelle	103
4.4.2.2	Modellierung der Höhe der Lichtkronenbasis	105
4.4.2.3	Modellierung horizontaler Kronenbreitenveränderungen	108
4.4.2.3.1	Modellansatz	108
4.4.2.3.2	Erfassung der Nachbarschaftsverhältnisse	109
4.4.2.3.3	Potentielle Kronenbreitenveränderung	110
4.4.2.3.4	Reaktionsmuster auf Seitendruck	113
4.4.2.3.5	Begrenzerfunktionen	117
4.4.2.3.6	Wirkungsweise des Modellansatzes	118
4.4.2.4	Veränderung des Kronenansatzes	123
4.4.3	Das Durchmesserzuwachsmmodell	124
4.4.3.1	Grundbeziehungen	124
4.4.3.2	Modellansatz	128
4.4.3.3	Wirkungsweise des Modellansatzes	129
4.4.4	Das Höhenzuwachsmmodell	131
4.4.4.1	Theorie und Problematik des Potentialansatzes	131
4.4.4.2	Funktionaler Ausgleich der Altershöhenbeziehung	133
4.4.4.3	Parametrisierung der Altershöhenbeziehungen h_0 und h_{\max}	134
4.4.4.4	Herleitung der potentiellen Altershöhenkurven	138
4.4.4.5	Modellansatz für die Baumart Buche	142
4.4.4.6	Modellansatz für die Baumart Lärche	144

4.5	Untersuchungen zur waldbauliche Behandlung von Mischbestands-Wuchsreihen	146
4.5.1	Vorüberlegungen	146
4.5.2	Sensitivitätsstudie	147
5	<u>Diskussion</u>	154
5.1	Leistung und Struktur von Buchen-Lärchen-Mischbeständen unter dem Einfluss von Standort und Konkurrenz	155
5.2	Qualitätsentwicklung und Kronenparameter im Mischbestand	158
5.3	Kritische Diskussion des Wachstumsmodells	164
5.3.1	Beurteilung des Datenmaterials	164
5.3.2	Diskussion der entwickelten Modellansätze	165
5.3.2.1	Dynamisches Kronenmodell	167
5.3.2.2	Durchmesserzuwachstmodell	173
5.3.2.3	Höhenzuwachstmodell	174
5.3.3	Übersicht und Gültigkeitsbereich der Modellfunktionen	176
5.4	Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf	178
5.4.1	Der Wachstumssimulator als Gesamtmodell	178
5.4.2	Konzeptionelle Überlegungen zu künftigen Forschungsschwerpunkten	179
5.5	Überlegungen zur Versuchsmethodik – Die waldbauliche Behandlung von Mischbestands-Wuchsreihen	182
6	<u>Waldbauliche Konsequenzen für die Behandlung von Buchen-Lärchen-Mischbeständen im südniedersächsischen Bergland</u>	183
6.1	Begründung und Pflege von gleichaltrigen Buchen-Lärchen-Mischbeständen	183
6.2	Entwicklung ungleichaltriger Lärchen-Buchen-Mischbestände	197
6.3	Zusammenfassung der waldbaulichen Empfehlungen	198
7	<u>Zusammenfassung</u>	200
	Literaturverzeichnis	207
	<u>Anhang</u>	
	Anlage 1 : Verzeichnis der Abbildungen	I
	Anlage 2 : Verzeichnis der Tabellen	V
	Anlage 3 : Tabellarische Übersicht wichtiger Bestandes- und Strukturdaten	VII
	Anlage 4 : Funktionen und Koeffizienten der Datenergänzungsrouninen	XLIII
	Anlage 5 : Erläuterungen zu den verwendeten Standortskennziffern	XLVII

1 Einleitung

1.1 Anlass und Einbindung der Untersuchung

Aus waldwachstumskundlicher Sicht werden die vorhandenen Arbeitsgrundlagen für die ertragskundliche Beurteilung von Mischbeständen seit mehr als 90 Jahren immer wieder als unzureichend beurteilt. LOREY forderte bereits 1902, dass die Versuchsanstalten „sobald als irgend möglich an die eingehende Behandlung gemischter Bestände herangehen“. Es folgten in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zahlreiche Untersuchungen in unterschiedlich zusammengesetzten Mischbeständen. Stellvertretend seien die Arbeiten von BONNEMANN (1939) in gleichaltrigen Kiefern-Buchen-Mischbeständen und WIEDEMANN (1949) in Eichen-Buchen-Mischbeständen genannt. Grundlage dieser Untersuchungen war ein Netz von über 200 Versuchsflächen in überwiegend gleichaltrigen Mischbeständen, das durch die Preußische Versuchsanstalt angelegt und betreut wurde. Trotz intensiver Forschung führten jedoch sowohl methodische Schwierigkeiten als auch schlichtweg die Vielzahl denkbarer Mischbestände mit ihren unterschiedlich ausgeprägten Mischungsanteilen und Mischungsformen nur zu einer Vielzahl interessanter Einzelergebnisse (BAADER 1943, WIEDEMANN 1943/44). Ein umfassender und in der waldbaulichen Praxis anwendbarer Ansatz konnte hingegen nicht entworfen werden. Ernüchternd stellte RIPKEN (1984) fest, dass „zu Fragen der Mischbestandswirtschaft keine Auskunft gegeben werden kann, weil nicht einmal die ertragskundlichen Grundlagen vorliegen“.

Zu Recht forderte deshalb FRANZ (1987) erneut den Aufbau eines Beurteilungssystems, das sowohl Informationen über den Bestandesaufbau als auch über den Wachstumsgang und die Leistungserwartung gemischter Waldaufbauformen bereitstellt. Zwar wurde schon in den dreißiger Jahren damit begonnen, Wachstumsmodelle für eine Reihe von Mischbestandstypen zu entwickeln, doch handelte es sich dabei, analog zu den Wiedemann'schen Reinbestandsmodellen, um univariate Modellansätze. Derartige Modelle konnten die Bestandesentwicklung ausschließlich für bestimmte Mischungsverhältnisse und ohne nähere quantitative Angaben über Schichtung, Verteilung und Konkurrenzsituation der beteiligten Mischbaumarten abbilden. Die konstruierten Mischbestandsertragstafeln (CHRISTMANN 1939, WIEDEMANN 1949) konnten sich demzufolge in der Praxis nicht durchsetzen, da es mit ihnen nicht möglich war, die Vielzahl der vorkommenden Baumarten- und Mischungskombinationen abzudecken.

Mit der Forderung von FRANZ (1987) einen allgemein verwendbaren Taxationsmaßstab für Mischbestände in Anlehnung an angloamerikanische Modellansätze zu entwerfen, wurde eine Entwicklung eingeleitet, die die Mischbestandforschung seit nun mehr als 10 Jahren erneut in den Mittelpunkt der waldwachstumskundlichen Forschung stellt. Ziel dieser forcierten Forschungsarbeit ist es, multivariate, polymorphe Wachstumsmodelle zu entwickeln, die es ermöglichen, ein breites Spektrum von Baumartenmischungen und Mischbestandsstrukturen abzubilden und darauf aufbauend Entwicklungsprognosen in Abhängigkeit von der Bestandesbehandlung als waldbauliche Entscheidungshilfen berechnen zu können (PRETZSCH 1992a, c). Seitens der forstlichen Praxis wird die Entwicklung von Wachstumssimulatoren als flexibles, waldwachstumskundliches Instrumentarium ausdrücklich begrüßt (EDER 1997, v. TEUFFEL 1998). Dies begründet sich darin, dass sich in den letzten Jahren die waldbaulichen Zielsetzungen bundesweit verschoben haben. So verfolgen inzwischen alle Landesforstverwaltungen das Ziel, möglichst arten- und struktureiche Mischwälder mit hoher Wertleistung zu entwickeln (NDS. LANDESREGIERUNG 1991, S. H. LANDESREGIERUNG 1999, NRW. LANDESREGIERUNG 1991). Demgegenüber steht jedoch ein nach wie vor vergleichsweise

geringes waldwachstumskundliches "Wissen" über Mischbestände, das sich für differenzierte ertragskundliche Aussagen, die Erarbeitung und Beurteilung waldbaulicher Bewirtschaftungskonzepte sowie umfassende ökonomische wie auch ökologische Analysen von Mischbeständen eignet.

Mit Hilfe der klassischen Ertragstafeln, die die Bestandesentwicklung von Reinbeständen als Mittel- und Summenwerte abbilden, werden weder die Wuchsleistung noch die Dynamik von Mischbeständen hinreichend genau abgebildet (NAGEL 1996a). Darüber hinaus führen veränderte Bewirtschaftungskonzepte - wie z. B. Bestandesbegründungen in weiteren Verbänden und mit geringeren Pflanzanzahlen, modifizierte Durchforstungsstrategien wie bspw. die qualitative Gruppendurchforstung, aber auch sich wandelnde Umweltbedingungen wie zunehmende Stickstoffeinträge - zu immer stärkeren Abweichungen zwischen den Wachstumsgängen der Ertragstafelmodelle und tatsächlich beobachteten Bestandesentwicklungen (SPELLMANN 1991, PRETZSCH 1996, PRETZSCH et al. 2000, RÖHLE 1994, v. GADOW 1992, UNTHEIM 2000). Neuere waldwachstumskundliche Forschungsansätze rücken deshalb den Einzelbaum und sein Wuchsverhalten in Abhängigkeit vom Standort sowie seiner individuellen Stellung innerhalb der Bestandesstruktur in den Mittelpunkt der Untersuchungen. Im Ergebnis stehen vergleichsweise einfach konzipierte Managementmodelle überaus komplexen Erklärungsmodellen gegenüber (siehe Abbildung 1-1). Gegenwärtiger Schlusspunkt dieser Entwicklung sind ökophysiologische Wuchsmodelle, wie die von SLOBODA u. PFREUNDT (1989), BOSSEL (1994) oder HOFFMANN (1995).

Ihren Ursprung haben die ersten Einzelbaum-Wachstumsmodelle im angloamerikanischen Raum, wo sie seit etwa 1970 entwickelt und in der forstlichen Praxis angewandt werden (STAGE 1973, EK u. MONSERUD 1974, WYKOFF et al. 1982, WENSEL u. KOEHLER 1985). Ein detaillierter Überblick über die verschiedenen Modellentwicklungen im Allgemeinen sowie die speziellen methodischen Lösungsansätze einzelner Wachstumssimulatoren findet sich bei SCHÖPFER (1973), DUDEK und EK (1980) sowie PRETZSCH (1992c).

In Deutschland und Österreich wurde mit der Konstruktion von Einzelbaumsimulatoren ab etwa 1980 begonnen (STERBA 1983, PRETZSCH 1992c, HASENAUER 1994a, NAGEL 1994a). Das vorläufige Ergebnis dieser Forschungslinie sind vier lauffähige Wachstumssimulatoren^(*), denen sowohl unterschiedliche Modellansätze als auch unterschiedlich umfangreiche Datensätze zur Parametrisierung der Hauptzuwachsleistungen zugrunde liegen. Es handelt sich um die Wachstumssimulatoren:

➤ **Prognaus** (STERBA 1983, 1995)

Dabei handelt es sich um ein abstandsunabhängiges Modell, das mit Hilfe der Daten der permanenten Probeflächen der Österreichischen Forstinventur 1981-1990 parametrisiert wurde. Der Anwendungs- und Gültigkeitsbereich erstreckt sich über alle österreichischen Hauptbaumarten. Die Konkurrenzsituationen werden mit Hilfe der Grundflächendichte sowie dem Kronenkonkurrenzfaktor (CCF) nach KRAJICEK et al. (1961) berechnet. Kreisflächen-

^(*) Als Wachstumssimulatoren werden gemäß der Definition der SEKTION ERTRAGSKUNDE IM VERBAND DER FORSTLICHEN VERSUCHSANSTALTEN (2000) praktikable EDV-Programme für Prognose- und Szenariorechnungen bezeichnet, die interaktiv durch einen Benutzer gesteuert werden können. Im Gegensatz dazu bilden Wachstums- oder Wuchsmodelle lediglich biologische Wachstumsgänge ab. Die Entwicklung eines Simulators setzt demnach immer ein Modell voraus, umgekehrt steht nicht am Ende jeder Modellentwicklung ein lauffähiger Simulator.

und Kronenansatzmodell werden u. a. mit Hilfe direkter Standortvariablen geschätzt, das Höhenzuwachsmmodell wird hingegen unmittelbar aus dem Durchmesserzuwachs angesteuert.

➤ **Silva** (PRETZSCH 1992c, KAHN u. PRETZSCH 1997)

Der Wachstumssimulator „Silva“ wurde mit Hilfe von bayerischen Rein- und Mischbeständen aus Fichte und Buche als abstandsabhängiger Einzelbaumsimulator entwickelt. Im Rahmen laufender Reparametrisierungen sind mit den Modellansätzen inzwischen alle Hauptbaumarten erfasst. Die Konkurrenzsituationen werden mit Hilfe eines dreidimensionalen Konkurrenzparameters KKL (siehe auch BACHMANN 1998) erfasst. Sowohl das Höhen- als auch das Durchmesserzuwachsmmodell ist als standortsensitives Potentialmodell ausgelegt. Darüber hinaus beinhaltet der komplexe Simulator einen Strukturgenerator sowie eine Durchforstungsroutine. Schnittstellen zur Holzsortierung und Erntekostenberechnung ergänzen die waldwachstumskundlichen Algorithmen.

➤ **Moses** (HASENAUER 1994a)

Abstandsabhängiges Modell, das für ungleichaltrige Fichten-Kiefern- und Buchen-Fichten-Mischbestände mit Hilfe von 27 permanenten Versuchsflächen in Österreich und im Bayerischen Wald parametrisiert wurde. Die Konkurrenzsituationen wurden nach dem Ansatz von BELLA (1971) berechnet. Sowohl das Höhen- als auch das Durchmesserzuwachsmmodell sind als Potentialmodelle ausgelegt. Der Simulator verfügt darüber hinaus über ein dynamisches Kronenansatzmodell sowie ein logistisches Mortalitätsmodell.

➤ **BWinPro** (NAGEL 1999)

An der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt wurde Anfang der 90er Jahre damit begonnen, ein Wuchsmodell für die forstliche Praxis zu entwickeln, welches den geänderten forstlichen Rahmenbedingungen gerecht wird und kurzfristig zur Verfügung stehen sollte. Auf Grundlage des umfangreichen, über 600 Einzelversuche umfassenden, ertragskundlichen Versuchsflächennetzes und Zeitreihen von teilweise über 100 Jahren wurde der Wachstumssimulator „Bwin“ als abstandsunabhängiges Einzelbaumwuchsmodell entwickelt (1997). Der Wachstumssimulator wurde für alle Hauptbaumarten parametrisiert, wobei er aufgrund der zur Verfügung stehenden Eingangsdaten besonders gut auf nordwestdeutsche Verhältnisse abgestimmt ist. In erster Linie als Management-Modell konzipiert, liefert der Simulator zuverlässige Prognoseergebnisse für einen mittelfristigen Zeitraum von 20 bis 30 Jahren. Bestandesvisualisierungen und Ergebnisdarstellungen in Form von Grafiken und Ausgabelisten ermöglichen es, verschiedene waldbauliche Alternativen interaktiv zu simulieren und die Entwicklung von Rein- und Mischbeständen zu prognostizieren.

Eine weitergehende, aktuelle Übersicht über die unterschiedliche Struktur der o. g. Wachstumssimulatoren sowie die den Einzelmodellen zugrunde liegenden Funktionsgleichungen und Koeffizienten finden sich darüber hinaus bei WINDHAGER (1999a, b).

Die Weiterentwicklung des Simulators, wiederholte Neuparametrisierungen sowie die Ergänzung um weitere Module ist laufende Entwicklungsarbeit an der Forstlichen Versuchsanstalt (siehe auch Abbildung 1-1). So konnte bereits 1999 die Folgeversion „Bwinpro“ mit einem erweiterten Modul zur Analyse von Bestandesstrukturen der forstlichen Praxis zur Verfügung gestellt werden (NAGEL 1999). Parallel zu diesen Entwicklungsarbeiten ist es beabsichtigt, mit Hilfe differenzierterer Modellansätze noch stärker, als dies in einem vorrangigen Management-Modell der Fall sein kann, kausale Zusammenhänge auf Ebene des

Einzelbaumes zwischen Wuchskonstellation und individuellen Zuwachsverhalten zu erfassen und allometrisch abzubilden.

Um die Datengrundlage dafür zu verbessern, wurden inzwischen auf zahlreichen alten Versuchsflächen Stammfußkoordinaten eingemessen und in Ergänzung zu den regulären ertragskundlichen Aufnahmen Kronenablotungen durchgeführt. Darüber hinaus wurden seit 1990 in den wichtigsten nordwestdeutschen Mischbestandstypen sogenannte „Wuchsreihen“ angelegt, um die vorhandene Datenbasis gezielt und möglichst rasch zu erweitern (PRETZSCH 1994a, 1995b).

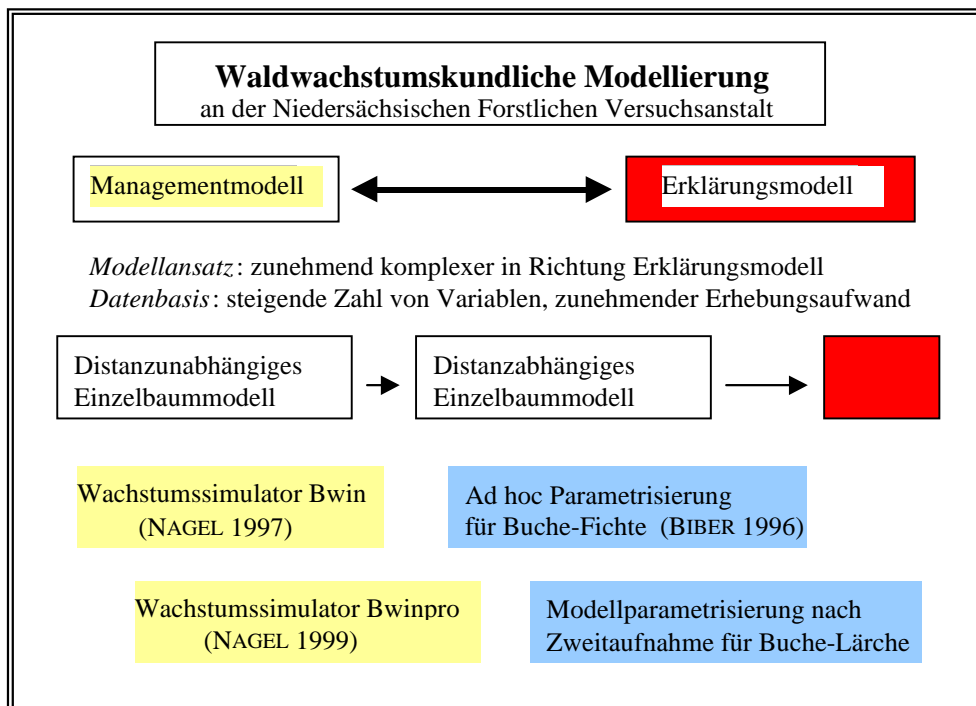


Abbildung 1-1: Vom Managementmodell zum Erklärungsmodell. Entwicklungsstand der waldwachstumskundlichen Modellierung an der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Abteilung Waldwachstum.

Mit der Konstruktion eines Wachstumssimulators für Fichten-Buchen-Mischbestände im Solling wurde ein erstes originär abstandsabhängiges Einzelbaummodell auf Grundlage einer Wuchsreihenerstaufnahme entwickelt (BIBER 1996). Das der Arbeit zugrunde liegende Wuchsreihenkonzept, bei dem verschieden alte Bestände als Zeitreihe einer Entwicklung aufgefasst werden, ermöglichte eine solche „ad hoc“ Parametrisierung. Als einzige tatsächlich gemessene Zuwachsgröße findet in dem Modellansatz jedoch lediglich die Durchmesserentwicklung Eingang, die mit Hilfe von Zuwachsbohrungen rekonstruiert wurde. BIBER (1996) selbst betont die mangelhafte Ausstattung mit Daten zum Höhenwachstum, Kronenansatz- und Kronenbreitenveränderungen sowie dichteabhängigen Mortalitätswahrscheinlichkeiten von Einzelbäumen und weist darauf hin, dass es erst die geplante Weiterbeobachtung der Wuchsreihe ermöglichen wird, die gewonnenen Modellbeziehungen mit tatsächlich gemessenen Daten zu unterlegen und damit das Modell zu adjustieren.

1.2 Leitbild und Bedeutung von Buchen-Lärchen-Mischbeständen in der waldbaulichen Planung für Niedersachsen

Seit über 200 Jahren wird die europäische Lärche (*Larix decidua* Mill.) außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes im nordwestdeutschen Bergland angebaut. Am gegenwärtigen Waldaufbau Niedersachsens ist die Lärche dennoch nur mit einem vergleichsweise geringen Anteil beteiligt. Die ersten bekannten Lärchenkulturen wurden 1730 durch v. Langen im Harz begründet (ROZSNYAY 1984a, b). Aufgrund ihrer Wüchsigkeit folgten in der Zeit zwischen 1780-1870 teils großflächige Lärchenanbauten, die jedoch zu erheblichen Misserfolgen führten (KLAMROTH 1929, WACHTER 1962). Ursächlich wurden die Rückschläge sowohl auf das verwendete genetische Ausgangsmaterial als auch auf unzureichende waldbauliche Pflege zurückgeführt. Darüber hinaus wurden in vielen Fällen die standörtlichen Verhältnisse nicht ausreichend berücksichtigt. So befindet sich die kontinental geprägte Baumart Lärche unter den überwiegend atlantisch getönten Klimaverhältnissen Nordwestdeutschlands schnell im Nachteil gegenüber der konkurrenzstärkeren Buche, die sich in ihrem ökologischen Optimum befindet. Bis in die Gegenwart hinein wird daher der flächenmäßige Anteil der Lärche am Waldaufbau kontrovers diskutiert (KREMSER u. OTTO 1973, BECK 1988, OTTO 1991, MÜLLER-USING 1987, HERING 1995).

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind in Niedersachsen rd. 25.000 ha mit Europäischer Lärche bestockt. Es handelt sich überwiegend um gleichaltrige Reinbestände, die in den vergangenen 40 Jahren begründet wurden. Darüber hinaus ist die Europäische Lärche mit wechselnden Mischungsanteilen auf weiteren rd. 11.000 ha in Buchenbeständen beigemischt (NDS. FORSTPLANUNGSAMT 1998). Anbau- und Verbreitungsschwerpunkt dieser Buchen-Lärchen-Mischbestände ist das südniedersächsische Bergland.

Mit Einführung des Programms zur „Langfristigen ökologischen Waldentwicklung in den niedersächsischen Landesforsten“ (Nds. LANDESFORSTVERWALTUNG 1994) hat die Begründung und Pflege von Mischbeständen gegenüber der Reinbestandswirtschaft deutlich an Gewicht gewonnen. Langfristig wird angestrebt auf rd. 88 % der Fläche der Niedersächsischen Landesforsten Mischbestände aus zwei oder mehr Baumarten zu entwickeln (OTTO 1990, 1991, 1992a,b).

Parallel dazu wurde der Betriebszieltypenkatalog der Niedersächsischen Landesforstverwaltung (Nds. LANDESFORSTVERWALTUNG 1974, 1987) überarbeitet. Als Basis für einen zielorientierten Waldbau und den gleichzeitigen Schutz sukzessionaler Prozesse wurden stattdessen Leitbilder entwickelt, die bewusst variabel gehalten wurden, um eine größere waldbauliche Freiheit am konkreten Waldobjekt zu schaffen (OTTO 1995). So werden im aktuellen Waldentwicklungstypenkatalog (Nds. LANDESFORSTVERWALTUNG 1996) alle bedeutsamen Rein- und Mischbestandstypen in Form von Leitbildern beschrieben, die neben dem Bestandaufbau und der sukzessionalen Stellung auch Produktions- und Verjüngungsziele sowie Schutz- und Erholungsfunktionen beinhalten. Speziell für die Mischung aus Buche und Lärche werden zwei unterschiedliche Waldentwicklungstypen (WET) definiert:

- **WET 28 (Buche-Lärche)** mit führender Buche und gleichaltriger beigemischter Lärche sowie der
- **WET 82 (Lärche-Buche)** mit führender Lärche und nachangebauter jüngerer Buche im Unter- und Zwischenstand.

Das Leitbild des **WET 28** (Buche-Lärche) beschreibt eine Femelstruktur in der Buche, in die in Lücken und Löchern unregelmäßig Lärchen in Form von Einzelbäumen, Trupps oder Horsten eingemischt sind. Ergänzt wird der Bestandaufbau durch wechselnde Anteile sukzessionaler Begleitbaumarten wie Birke und Eberesche sowie einem flächigen Buchen-Unterstand. Der Bestandaufbau kommt damit zahlreichen Waldgesellschaften des Fagion nahe, jedoch mit Veränderung durch die beigemischte Lärche. Das Produktionsziel wird für die Buche mit einer Zielstärke von 60 cm+ BHD und für die Lärche mit einer Zielstärke von 70 cm+ BHD fixiert. Für die Buche wird ein Produktionszeitraum von 120 bis 160 Jahren, für die beigemischte Lärche von 100 bis 200 Jahren unterstellt. Als Bestandesziel wird ein Grundflächenanteil der Buche im Hauptbestand nach Abschluss des Haupthöhenwachstums von 60 %-70 % angestrebt. Der Mischungsanteil der Lärche soll sich zwischen 20 %-30 % bewegen.

Im Gegensatz dazu wird das Leitbild des **WET 82** (Lärche-Buche) als variabel geschichteter Mischbestand unterschiedlichen Alters und mit hoher Vertikalstruktur aus vorherrschender Lärche und ganzflächig unterschiedlich ausgeprägtem Buchen-Unter- und -Zwischenstand beschrieben. Dieser WET entspricht keiner natürlichen Waldgesellschaft, er enthält jedoch ökologisch wirksame Anteile standortheimischer Buche. Das Produktionsziel wird für die Lärche mit einer Zielstärke von 70 cm+ BHD bei einem Produktionszeitraum von 80 bis 160 Jahren festgelegt. Der Buchenanteil soll eine Zielstärke von 60 cm+ BHD erreichen; der Produktionszeitraum hierfür wird mit 100 bis 160 Jahren veranschlagt. Der Anteil der Lärche im Hauptbestand soll 50 %-60 % betragen, der Anteil der Buche am Bestandesziel wird auf 30 %-50 % fixiert.

Die erste langfristige regionale Waldbauplanung für die Niedersächsischen Landesforsten (KREMSER u. OTTO 1973) sah auf rd. 43.000 ha potentieller Anbaufläche Mischbestände aus Buche und Lärche vor (Abbildung 1-2). Anbauschwerpunkte befanden sich demnach im südniedersächsischen Bergland, speziell in den Wuchsbezirken „Unteres-Weser-Leinebergland“ und „Unterer Solling“. Ein weiterer Planungsschwerpunkt lag im Wuchsbezirk „Montaner Mittel- und Oberharz“, in dem auf annähernd 10.000 ha Buchen-Lärchen-Mischbestände als vorrangiges Betriebsziel vorgesehen waren.

Mit der Überarbeitung der Waldbauplanung wurde die potentielle Anbaufläche um mehr als die Hälfte auf rd. 18.000 ha zurückgenommen (OTTO 1989, 1991, 1992a). Anstelle der Mischung aus Buche und Lärche wurden die Mischungen Buche/Fichte, Buche/Douglasie sowie insbesondere die Mischung Buche/Bergahorn planerisch favorisiert. Mischbestände aus Buche und Lärche als vorrangiger Waldentwicklungstyp wurden hingegen auf die sonnenseitigen, gut nährstoffversorgten und ausreichend frischen Mittelhanglagen konzentriert. Damit wurde die Konsequenz aus den vielen Fehlschlägen bei der Begründung von Buchen-Lärchen-Mischbeständen gezogen, die sich einerseits in waldbaulichen Fehlern bei der Begründung und Pflege der Bestände, andererseits in der häufig falschen Standortwahl begründeten. Speziell im Harz wurde die Planung der Lärchenbeimischung klimatisch bedingt auf die wärmeren Expositionen der unteren Harzlagen im Wuchsbezirk „Unterer und mittlerer Harzrand“ zurückgenommen (OTTO 1991, KOEHLER 1979). Als zweiter Anbauschwerpunkt blieb der Wuchsbezirk „Unterer Solling“ im südniedersächsischen Bergland auch nach der Planung von 1991 bestehen. Im Wuchsbezirk „Geest-Mitte“ ist darüber hinaus auf reicherem, frischen bis staufrischen Sandlössen eine weitere potentielle Anbaufläche für Buchen-Lärchen-Mischbestände von rd. 3000 ha als dritter Anbauschwerpunkt eingeplant.

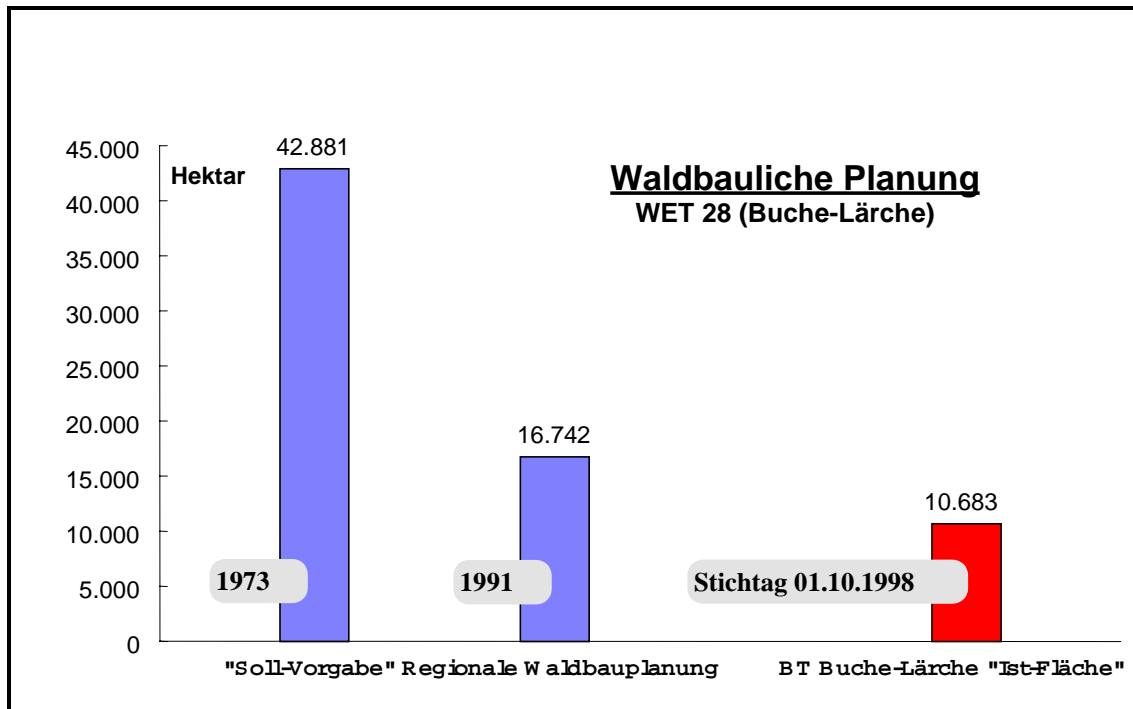


Abbildung 1-2: Soll-Ist Vergleich zwischen dem Planungsumfang der regionalen Waldbauplanungen von 1973/1991 und der tatsächlich ausgewiesenen Fläche für den Bestandestyp Buche/Lärche in den niedersächsischen Landesforsten. Der potentiellen Anbaufläche (Sollfläche) stehen zum Stichtag 01.10.1998 rd. 10.700 ha (Istzustand), also annähernd 64 % des Solls, in Form des ausgewiesenen Bestandestyps Buche-Lärche gegenüber (NDS. FORSTPLANUNGSAMT 1998).

1.3 Zielsetzung

Übergeordnetes Ziel der vorgelegten Untersuchung ist es, den waldwachstumskundlichen Kenntnisstand über den Mischbestandstyp Buche-Lärche zu vertiefen. Darauf aufbauend sollen die gewonnenen Erkenntnisse in allgemein gültigen, allometrischen Modellbeziehungen auf Grundlage von Einzelbauminformationen verdichtet werden. Aufbauend auf den waldwachstumskundlichen Bestandes- wie auch Einzelbauminformationen sollen im dritten Teil der Arbeit waldbauliche Konsequenzen für die Behandlung von Buchen-Lärchen-Mischbeständen abgeleitet werden.

Konzeption und Gliederung der Arbeit sind darauf ausgerichtet, eine Brücke zu schlagen zwischen der klassischen Versuchsflächenauswertung auf Bestandesebene hin zur Analyse kausaler waldwachstumskundlicher Zusammenhänge auf Ebene des Einzelbaumes. Darüber hinaus soll die Arbeit einen methodischen Beitrag im Rahmen der gegenwärtigen Mischbestandsforschung an der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt leisten. In diesem Zusammenhang sind sowohl die Weiterentwicklung, Ergänzung bzw. Veränderung von Programmteilen als Grundlage für ein abstandsabhängiges Einzelbaummodell als auch methodische Anregungen zur Anlage, Aufnahme, Auswertung und waldbaulichen Behandlung von Mischbestandsversuchsflächen Gegenstand der Untersuchungen. Konsequenterweise wird damit die bestehende Forschungslinie der Abteilung Waldwachstum fortgesetzt.

Die konkreten Ziele und Fragestellungen der Untersuchung lassen sich in Anlehnung an die Gliederung wie folgt umreißen:

1. Waldwachstumskundliche Analyse auf zahlenmäßiger Grundlage

Der erste Teil der Arbeit knüpft inhaltlich an die Arbeit von DIPPEL (1988) über die „Wuchsleistung und Konkurrenz von Buchen/Lärchen-Mischbeständen im Südniedersächsischen Bergland“ an. Auf Grundlage einer Zweitaufnahme der 10 Jahre zuvor ausgewählten und erstmals aufgenommenen 23 Versuchsflächen im Solling sollen einerseits, die von DIPPEL (1988) erarbeiteten Ergebnisse zum Entwicklungsgang von Buchen-Lärchen-Mischbeständen validiert werden, andererseits soll im Rahmen der Versuchsflächenanalyse die Dynamik von Buchen-Lärchen-Mischbeständen herausgearbeitet werden, nachdem mit dem Datenset der Zweitaufnahme ein großer und detaillierter Fundus über den Zustand und die Veränderung vieler Einzelgrößen vorhanden ist.

Die klassische Versuchsflächenauswertung wird dabei durch Bestandesvisualisierungen, Untersuchungen über die Überschirmungsverhältnisse sowie eine numerische Strukturanalyse erweitert. Ergänzend wird die im Rahmen der Zweitaufnahme durchgeführte verbale Stammansprache ausgewertet. Damit werden erstmals auch Qualitätsaspekte in die waldwachstumskundliche Analyse des Mischungstyps Buche-Lärche einbezogen.

Konkrete Fragestellungen sind:

1. Welche Wuchsleistung haben Buchen-Lärchen-Mischbestände im Vergleich zu den Reinbestandswerten der beteiligten Baumarten nach Ertragstafelmodell?
2. Welche vertikalen und horizontalen Bestandesstrukturen zeichnen Buchen-Lärchen-Mischbestände aus?
3. Wie verändern sich die Bestandesstrukturen im Laufe der Bestandesentwicklung und in Abhängigkeit von der Bestandesbehandlung?
4. Welche Schaftqualitäten und Kronenausformungen lassen sich in Buchen-Lärchen-Mischbeständen beobachten?
5. Welchen Umfang und Verteilung hat das Kollektiv qualitativ besonders guter Bäume in Buchen-Lärchen-Mischbeständen?

2. Untersuchungen zur Kronenausformung und Kronenbreitenveränderungen von Buche und Lärche im Rein- und Mischbestand

Umfangreiche Analysen über die Kronenausformung sowie die Dynamik horizontaler Kronenbreitenveränderungen von Buche und Lärche im Rein- und Mischbestand bilden den zweiten, inhaltlichen Teil der Arbeit. Mit Hilfe einer Serie von Voruntersuchungen in Reinbeständen wird in diesem Zusammenhang der Einfluss von Nachbarschaftsverhältnissen auf die individuelle Kronenausformung untersucht. Darüber hinaus soll das wenige zusätzlich vorhandene Datenmaterial aus wiederholten Kronenablotungen in Reinbeständen dazu genutzt werden, Größenvorstellungen von absoluten Kronendimensionen sowie potentiellen Kronenexpansionen bzw. Kronenverkleinerungen zu entwickeln. Für die untersuchten Buchen-Lärchen-Mischbestände werden weitere Kronenkennwerte berechnet. Die abgeleiteten Arbeitshypothesen bilden die Grundlage für ein überarbeitetes dynamisches Kronenmodell.

Konkrete Fragestellungen sind:

1. In welchem Umfang beeinflussen die Nachbarschaftsverhältnisse die individuelle Kronenausformung?
2. Können mit Hilfe wiederholter Kronenablotungen Reaktionsmuster der horizontalen Kronenausdehnung nachgewiesen werden?
3. In welchen absoluten Größenordnungen sind Buche und Lärche zu Kronenexpansionen fähig?
4. Welche Kronengrößen und –ausformungen sind für die aufgenommenen Buchen-Lärchen-Mischbestände charakteristisch?
5. Welchen Einfluss hat die individuelle Kronenausformung im Vergleich zu kreisrunden Modellkörpern auf die Überschirmungsverhältnisse und Konkurrenzsituation?

3. Parametrisierung der Zuwachsfunktionen für das Durchmesser- und Höhenwachstum sowie Kronenbreitenveränderungen als Grundlage für ein abstandsabhängiges Einzelbaumwachstumsmodell für Buchen-Lärchen-Mischbestände

Als verbindendes Element steht im Mittelpunkt der Arbeit die regressionsanalytische Parametrisierung der wichtigsten Zuwachsfunktionen für die beiden Baumarten Buche und Lärche im Mischbestand. Neben den Schätzfunktionen für den Durchmesser- und Höhenzuwachs wird ein dynamisches Kronenmodell parametrisiert, mit dem richtungsbezogene horizontale Kronenbreitenveränderungen prognostiziert werden können. Durch Abkopplung der horizontalen Kronenbreitenveränderung vom Durchmesserzuwachs als unabhängige, konkurrenzbeeinflusste Wachstumsreaktion soll sowohl die Prognosegenauigkeit hinsichtlich des Durchmesserzuwachses verbessert werden als auch eine genauere Konkurrenzeinschätzung getroffen werden können. Mit Hilfe dieses Ansatzes ist es darüber hinaus beabsichtigt, die Basis für ein Verjüngungsmodell zu schaffen, das auf Grundlage simulierter Strahlungsverhältnisse die Jugendentwicklung des Nachwuchses realistisch abbildet. Hierzu ist es erforderlich, das individuelle Stammverteilungsmuster um realistische Kronenprojektionen zu ergänzen und damit die jeweiligen Überschirmungssituationen und ihre Dynamik in Abhängigkeit von der Bestandesbehandlung treffsicher prognostizieren zu können.

Konkrete Fragestellungen sind:

1. Welche Grundbeziehungen und welcher Modellansatz eignen sich für die Modellierung des Durchmesserzuwachses für Buche und Lärche im Mischbestand?
2. Welcher Modellansatz ist für die Parametrisierung des Höhenzuwachses geeignet?
3. Welcher Modellansatz eignet sich zur Modellierung richtungsspezifischer horizontaler Kronenbreitenveränderungen in Abhängigkeit von bestehenden Nachbarschaftsverhältnissen?
4. Welche festen/variablen Anteile haben Licht- und Schattkronen an der Gesamtkrone?
5. Welchen Einfluss hat inter- bzw. intraspezifische Konkurrenz auf die Entwicklung der Hauptzuwachsgrößen von Buche und Lärche im Mischbestand?
6. Eignet sich der abgeleitete Konkurrenzfaktor (FKI) als Steuergröße für alle drei Teilmodelle des Wachstumsmodells?

4. Waldbauliche Konsequenzen für die Entwicklung und Pflege von Buchen-Lärchen-Mischbeständen

Auf Grundlage der Ergebnisse der Versuchsflächenanalyse, der abgeleiteten allometrischen Grundbeziehungen zur Beschreibung der Hauptzuwachsgrößen sowie ergänzender Literaturrecherchen sollen im vierten Teil der Arbeit waldbauliche Empfehlungen für die Entwicklung und Pflege von Buchen-Lärchen-Mischbeständen erarbeitet werden. Damit wird der gegenwärtigen Situation Rechnung getragen, dass für Buchen-Lärchen-Mischbestände - im Gegensatz zu allen anderen Hauptbaumarten und den meisten Mischungstypen - bislang keine konkreten und umfassenden Pflegeempfehlungen, bspw. in Form eines Merkblattes, durch die Niedersächsische Landesforstverwaltung formuliert wurden. Im Sinne angewandter, praxisnaher Forschung wird damit, entsprechend dem Arbeitsauftrag der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, eine Brücke zwischen ertragskundlicher Forschung und forstlicher Praxis und Planung geschlagen.

2 Versuchskonzept und Datengrundlage

2.1 Anlage und Verknüpfung von Wuchsreihen

Während die Wachstumsverläufe von Reinbeständen auf verschiedenen Standorten und bei unterschiedlichen waldbaulichen Behandlungen in der Vergangenheit intensiv beobachtet wurden, existieren vergleichsweise wenig Untersuchungen über die Struktur und Entwicklungsdynamik von Mischbeständen. Zugleich rücken, aufgrund der Erkenntnis, dass sich Bestandesmodelle in Form traditioneller Ertragstabellen für die Vielzahl möglicher Baumartenzusammensetzungen und Mischungsformen für Mischbestände nicht entwickeln lassen, neuere waldwachstumskundliche Forschungsansätze den Wachstumsgang des Einzelbaumes in den Mittelpunkt ihrer Untersuchungen. Dieser Ansatz auf Ebene des Einzelbaumes zeichnet sich durch eine hohe Informationsqualität aus, da er die Dimensionsentwicklung des Einzelbaumes in Abhängigkeit unterschiedlicher Bestandesaufbauformen, Konkurrenzsituationen und Behandlungsvarianten in jeder Phase der Bestandesentwicklung erfasst.

Um kurzfristig eine ausreichend große Datenbasis über verschiedene Mischbestandstypen aufzubauen, wird seit 1992 von der Abteilung Waldwachstum auf das sogenannte „Wuchsreihen-Konzept“ zurückgegriffen (PRETZSCH u. SPELLMANN 1992b). Dabei werden unterschiedlich alte Bestände als zeitliche Abfolge ihrer Bestandesentwicklung aufgefasst und für waldwachstumskundliche Analysen zu unechten Zeitreihen zusammengestellt. Der Ansatz ersetzt somit das zeitliche Nacheinander der Bestandesentwicklung auf einer Fläche durch das räumliche Nebeneinander ungleichaltriger, vergleichbarer Bestände (siehe Abbildung 2-1).

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt existieren solche Wuchsreihen für die vier Mischbestandstypen Buche/Fichte (BIBER 1996), Buche/Douglasie (DE WALL 1995, DE WALL et al. 1998, DREHER 1994), Buche/Edellaubholz (GUERICKE 1997) und Buche/Lärche (GUERICKE 1995). Mit Ausnahme von zwei Wuchsreihen für den Mischungstyp Buche/Douglasie konzentrieren sich die angelegten Versuchsserien derzeit noch auf den südniedersächsischen Raum.

PRETZSCH (1992c) wie auch BIBER (1996) beschreiben eingehend die wichtigsten Kriterien für die Auswahl von Flächen, die in Wuchsreihen zusammengestellt werden sollen. Es sind:

- die standörtliche Vergleichbarkeit der einzelnen Versuchsflächen,
- die räumliche Nähe der einzelnen Versuchsflächen, um die lokalklimatische Streuung innerhalb der Wuchsreihe einzuschränken,
- ein breites Altersspektrum zwischen 20 und 140 Jahren, um alle Entwicklungsphasen abzudecken,
- ein breites Spektrum unterschiedlicher Mischungsformen auf der Einzelfläche
- sowie eine möglichst vergleichbare und übereinstimmende waldbauliche Behandlung der Einzelflächen.

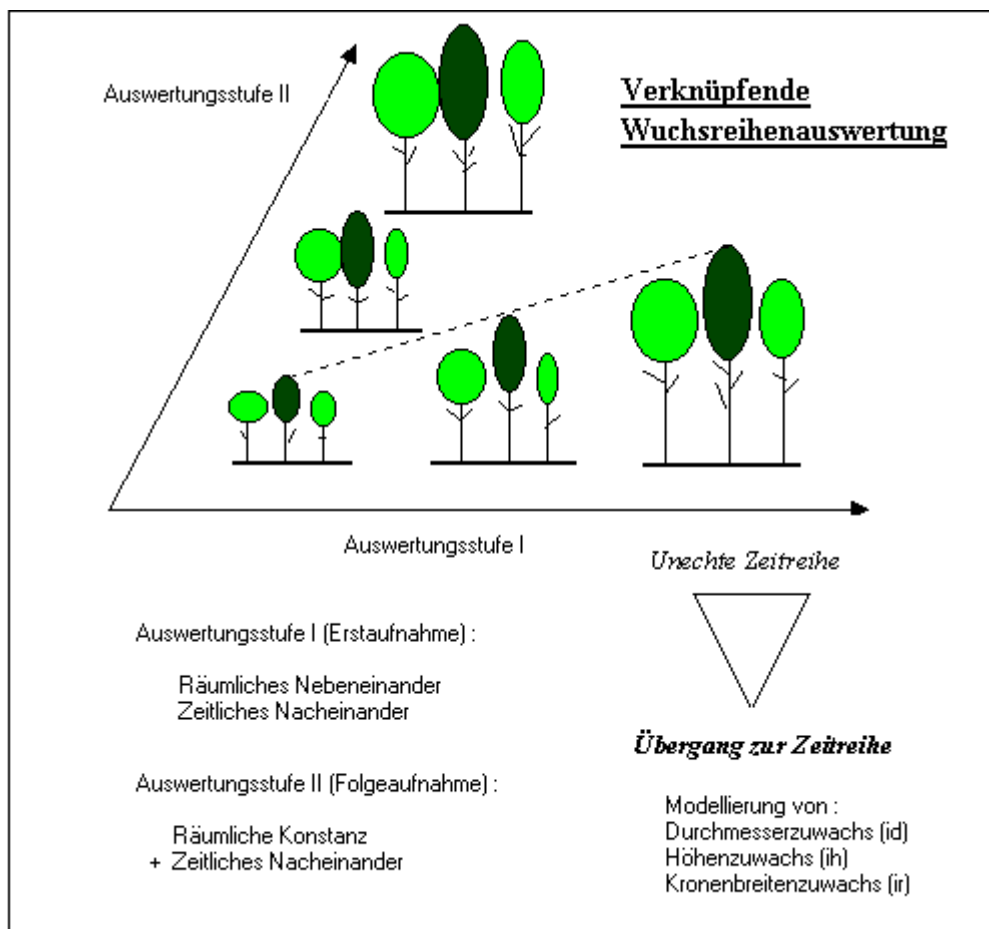


Abbildung 2-1: Schematische Darstellung der verknüpfenden Wuchsreihenauswertung. Mit der ersten Folgaufnahme wird der Übergang von der „unechten“ zur „echten“ Zeitreihe eingeleitet.

Nach PRETZSCH (1994c) setzt sich eine Mischbestands-Wuchsreihe aus mindestens 5, besser 8 Einzelflächen zusammen, mit denen im gleichaltrigen Mischbestand das Altersspektrum des zu erwartenden Produktionszeitraumes und damit i. d. R. eine Altersspanne zwischen 20 bis 140 Jahren abgedeckt wird. Die standörtliche Vergleichbarkeit der Flächen untereinander wird vorausgesetzt. Im Gegensatz zu „klassischen“ ertragskundlichen Versuchsflächen ist darüber hinaus darauf zu achten, dass sich die Einzelflächen durch ein hohes Maß an horizontaler wie auch vertikaler Strukturheterogenität auszeichnen und damit möglichst vielfältige Konkurrenzsituationen des Einzelbaumes erfasst werden. Um das gesamte Spektrum inter- wie auch intraspezifischer Konkurrenzsituationen abdecken zu können, finden sich im Idealfall auf

einer einzigen Versuchsfläche sowohl Reinbestandsteile der jeweiligen Mischbaumarten als auch intensive „Verzahnungszonen“ zwischen den einzelnen Baumarten. Darüber hinaus betont PRETZSCH (1994b), dass insbesondere extreme Nachbarschaftsverhältnisse hohe Aussagekraft für die modellhafte Abbildung der Reaktionskinetik von Einzelbäumen in Abhängigkeit von ihrer individuellen Wuchskonstellation beinhalten.

Im Gegensatz zu langfristig beobachteten Versuchsflächen, deren frühere Bestandesbilder exakt bekannt sind und deren wichtigste Baumdimensionen (BHD, Höhe und Kronenansatz) regelmäßig gemessen werden, ist jedoch auf den Flächen einer Wuchsreihe ad hoc nur das Durchmesserwachstum über Zuwachsbohrungen erfassbar. Darüber hinaus lassen sich zurückliegende Bestandesbilder nur über die Aufnahme von Stubben „künstlich“ rekonstruieren. Auf die Schwächen und Grenzen einer solchen ad hoc Parametrisierung weist BIBER (1996) hin. Erst mit der Überführung der Wuchsreihen in Dauerversuchsflächen und den ersten Wiederholungsaufnahmen im 5jährigen Turnus werden beide Schwächen eliminiert. Aus dem räumlichen Nebeneinander entsteht die räumliche Konstanz; die anfänglich unechte Zeitreihe geht langfristig in eine echte Zeitreihe über. Im Vergleich zu den klassisch angelegten, langfristigen Versuchsflächen stehen damit in vergleichsweise kurzen Zeiträumen umfangreiche Datensätze zur Verfügung, die die Parametrisierung der Hauptzuwachsdimensionen (Durchmesser, Höhe und Kronendimensionen) über ein breites Altersspektrum hinweg ermöglichen.

Im Gegensatz zur Zielsetzung des beschriebenen Wuchsreihen-Konzeptes wurden von DIPPEL (1988) insgesamt 53 Buchen-Lärchen-Mischbestandsversuchsflächen in Form einer **Altersreihe** im Sinne MAGINS (1957) ausgewählt. Die Auswahl erfolgte dabei unter der Prämisse, die mittleren Verhältnisse des Bestandestyps Buche-Lärche repräsentativ zu erfassen und in einem Bestandesmodell zu verdichten. Um repräsentative Bestandessummen- und Bestandesmittelwerte als Grundlage für das Modell verwenden zu können, wurden extreme Mischungsformen auf den Einzelflächen von vornherein ausgeschlossen. Vielmehr wurde darauf geachtet, „forstamtsübliche“, normal gepflegte und annähernd gleichaltrige Buchen-Lärchen-Mischbestände mit einem Grundflächenanteil der Lärche zwischen 30 % und 40 % als typische Altersreihe zu erfassen und damit das zeitliche Nacheinander durch ein räumliches Nebeneinander zu ersetzen.

Die dargestellten, in ihrer Zielsetzung unterschiedlich ausgerichteten konzeptionellen Ansätze zwischen „klassischen Altersreihen“ und dem „aktuellen Wuchsreihenkonzept“ zur Erfassung der Einzelbaumdynamik schließen sich grundsätzlich nicht aus. Im Fall der vorgelegten Untersuchung ist jedoch das zugrunde liegende, ursprünglich mit einer anderen Zielsetzung erhobene Datenmaterial als grundsätzlicher methodischer Mangel zu beurteilen, der die Aussagekraft der Ergebnisse zwangsläufig einschränkt. Dieser Umstand muss bei der kritischen Bewertung und Diskussion der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Mit den vorliegenden umfangreichen Daten einer Folgeaufnahme nach 10 Jahren eröffnete sich dennoch **erstmalig** die Möglichkeit einer **verknüpfenden Wuchsreihenauswertung** und damit einer umfassenden Parametrisierung der Hauptzuwachsdimensionen für den Mischbestandstyp Buche-Lärche auf Grundlage des Einzelbaumes. Darüber hinaus sollten weitere methodische Erfahrungen im Zusammenhang mit der Anlage und Auswertung von Mischbestandswuchsreihen für vergleichbare Folgeuntersuchungen gesammelt werden.

2.2 Zum Ursprung des Datenmaterials

Die der Untersuchung zugrunde liegenden Versuchsflächen wurden im Rahmen der Dissertation von DIPPEL (1988) angelegt. Mit dem Ziel, die Wuchsleistung und Konkurrenz von

Buchen-Lärchen-Mischbeständen im Südniedersächsischen Bergland zu erfassen, wurden insgesamt 53 Versuchsflächen in den drei Wuchsbezirken „Unterer Solling“, „Göttinger Wald“ und „Unteres-Weser-Leine-Bergland“ eingerichtet. Die Versuchsflächen erstrecken sich über einen großen regionalen Bereich zwischen Göttingen, Höxter und Stadtoldendorf und stellen daher einen sowohl ertragskundlich als auch waldbaulich besonders repräsentativen Querschnitt durch Buchen-Lärchen-Mischbestände im Südniedersächsischen Bergland dar.

Dank der engen Zusammenarbeit zwischen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und dem Institut für Waldbau der Fakultät für Forstwissenschaft und Waldökologie an der Universität Göttingen wurde 1990 vereinbart, das wertvolle Grundlagenmaterial der Abteilung Waldwachstum zu überlassen. Aufgrund der Verlagerung der Forschungsschwerpunkte in Richtung „Mischbestandsforschung“ und „Wachstumsmodellierung“ und zugleich auf der Suche nach geeignetem Datenmaterial war der hohe Informationsgehalt einer Folgeinventur erkannt worden. Darüber hinaus wurde vereinbart, einen repräsentativen Teil der Flächen in das langfristige ertragskundliche Versuchsflächennetz der Abteilung Waldwachstum aufzunehmen und damit als Forschungs- und Anschauungsobjekt zu erhalten (GUERICKE 1995).

2.3 Datenerhebung

Auf allen 23 Flächen, die von DIPPEL 1984 im Wuchsbezirk „Unterer Solling“ angelegt und erstmals aufgenommen wurden, erfolgte 1994 eine vereinfachte Folgeinventur. Dabei wurden sämtliche Durchmesser und Höhen gemessen, um im Rahmen einer ersten, vorläufigen Auswertung den Ausgangszustand und die 10-jährige Entwicklung der einzelnen Versuchsflächen analysieren zu können. Nach den beiden Kriterien „**standörtliche Vergleichbarkeit**“ und „**maximaler Informationsgewinn**“ wurden die am besten zueinander passenden Versuchsflächen ausgewählt und ausschließlich auf diesen Versuchsflächen die Datenerhebung intensiviert. Unabhängig davon wurden in zwei jüngeren Buchen-Lärchen-Mischbeständen neue Versuchsflächen eingerichtet, um das vorhandene Datenmaterial zu ergänzen. Welche Parameter im Einzelnen zu den beiden Aufnahmezeitpunkten 1984 und 1994 erhoben wurden, ist in Tabelle 2-1 zusammengestellt.

In Ergänzung zu diesen Aufnahmen wurden 1999 im Rahmen einer dritten periodischen Folgeinventur auf sieben Versuchsflächen der Wuchsreihe Buche-Lärche im Solling die astreinen Schaftlängen sowie die Höhe der maximalen Kronenbreite ermittelt. Im Gegensatz zu den Untersuchungen durch VORREYER (1997) in Buchen-Douglasien-Mischbeständen wurden beide Messungen jedoch nur aus einer Himmelsrichtung durchgeführt.

Aus der Tabelle 2-1 wird ersichtlich, dass die Datenerhebung der Folgeinventur 1994 sowohl hinsichtlich der Messung des Kronenansatzes als auch hinsichtlich der Kronenablotungen nicht konsistent ist. So wurde der Kronenansatz von DIPPEL (1988) als Ansatzhöhe des untersten lebenden Astes definiert. Wasserreiser und einzelne schwächere Klebäste blieben unberücksichtigt. Nach der vorläufigen Aufnahmeanweisung der Niedersächsischen

Aufnahmeparameter	Aufnahmezeitpunkt		Bemerkungen
	1984	1994	
Lage und Abgrenzung	X	-	quadratische Probeflächen mit Größen zwischen 0,09 – 0,49 ha.
Numeration / Baumart	X	X	1994 dauerhafte Numeration sowie Ergänzung der Randbaumnumeration.
Stammpositionen	X	X	1984 nach Orthogonalverfahren; Ergänzungen 1994 mit dem Theodoliten (Randbäume).
Alter	X	Fortschreibung	auf Grundlage der Forsteinrichtungsunterlagen (s. DIPPEL 1988).
BHD	X	X	Vollaufnahme mit Umfangmessband (Kluppschwelle BHD > 7 cm).
Höhe	X	X	Vollaufnahme mit BLUME-LEISS auf dm.
Standortkartierung	X	X	1984 Bohrstockproben und Vegetationsaufnahme; 1994 Bohrstockproben und Profilanalyse.
Zuwachsbohrungen	X	-	1984 Zuwachsbohrungen an sämtlichen Lärchen sowie repräsentativ an Buche.
Schiefstand	X	-	zusätzliche Ablotung der Baumspitze, falls Abstand Baumspitze zu Stammmitte > 1 m.
Stammansprache	-	X	Ansprache der sozialen Stellung, Stammform u. Kronenausprägung nach dem Schlüssel der VA.
Kronenansatz	X	X	1984 als Ansatzhöhe des untersten lebenden Astes, 1994 als Ansatzhöhe des ersten grünen Astes 1. Ordnung definiert. Vollaufnahme mit BLUME-LEISS auf dm.
Dürrastansatz	X	-	1984 Messung nur an Lärche, um Totastzone zu erfassen (BLUME- LEISS auf dm).
Randbäume	X	X	1984 Erfassung der direkten Nachbarbäume von innerhalb der Fläche stehenden Lärchen. 1994 Erfassung aller Randbäume, die augenscheinlich Konkurrenzeinfluss ausüben.
Kronenablotung	X	X	1984 Erfassung von 8 Kronenradien je Baum mit flexiblen Winkeln, 1994 Ablotung von 8 Radien nach festem Winkelsystem (50 Gon- Einteilung). Ablotung mit Kronenspiegel auf dm.
astreine Schaftlänge	-	X (1999)	Vollaufnahme mit Vertex Forestor auf dm.
Höhe max. Kronenbreite	-	X (1999)	Vollaufnahme aus einer Richtung mit dem Vertex Forestor auf dm.

Tabelle 2-1: Zusammenstellung und Vergleich der Aufnahmeparameter für die beiden Aufnahmezeitpunkte 1984 und 1994.

Forstlichen Versuchsanstalt wird hingegen der Kronenansatz als Ansatz des ersten grünen Astes erster Ordnung definiert. Unabhängig von dem Problem, den Kronenansatz eindeutig und nachvollziehbar zu definieren, weist DIPPEL (1988) in diesem Zusammenhang auf das Problem hin, dass die tatsächlichen Kronenlängen besonders in jüngeren Buchenbeständen überschätzt werden, da die Höhe des Ansatzes der assimilierenden Blattmasse weit oberhalb des gemessenen Astansatzes liegt. Die Kronenlängen werden daher überschätzt. Während jedoch die definierte Astansatzhöhe als Messpunkt eindeutig definiert ist, lässt sich die wirkliche Höhe der Assimilationsmasse nur gutachtlich ermitteln. Bei der Baumart Lärche hingegen ist dieses Problem zu vernachlässigen, da die Äste an der Kronenbasis, unabhängig vom Alter, annähernd waagrecht angeordnet sind.

Gleichermaßen problematisch muss der Wechsel der Aufnahmemethodik bei der Durchführung der Kronenablotungen beurteilt werden. DIPPEL (1988) betont in diesem Zusammenhang, dass sich die Aufnahmen in den Buchen-Lärchen Mischbeständen ursprünglich auf einmalige Probeflächenaufnahmen beschränken sollten.

Da die ermittelte Kronenausdehnung als Maß der Konkurrenzkraft von Zentralbäumen zu ihren Nachbarn verwendet werden sollte, wurden im Rahmen der Erstaufnahme 1984 die Kronen nach einem variablen Winkelsystem in acht Himmelsrichtungen abgelotet. Das Standardverfahren zur Kronenablotung der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt sieht hingegen Ablotungen nach einem festen Winkelsystem im Abstand von 50 Gon vor. Diese Vorgehensweise hat sich bei der großen Anzahl von Kronenablotungen auf ertragskundlichen Versuchsflächen als praktikabel und rationell erwiesen. Um dennoch die beiden Aufnahmen als Zeitreihe miteinander vergleichen und damit den besonderen Informationsgehalt der wiederholten Kronenablotungen nutzen zu können, mussten die 1984 durchgeführten Kronenablotungen rechnerisch transformiert werden (siehe dazu Kapitel 3.3).

2.4 Datenaufbereitung und Verarbeitung

2.4.1 Verwendete Software

Die Datenverwaltung und Aufbereitung erfolgte überwiegend mit Hilfe von Standardsoftware. Für eine Reihe von Auswertungen und Fragestellungen wurden jedoch spezielle Programme eingesetzt bzw. neue Programmbausteine im Rahmen der Arbeit entwickelt. Tabelle 2-2 gibt einen Überblick über die verwendeten Programme und ihre jeweiligen Anwendungsbereiche.

Die Programmroutine „Fishplot 1.0“ (BIBER 1996) zur Erfassung der Konkurrenzsituation des Einzelbaumes wurde dahingehend modifiziert, dass die Konstruktion und Auswertung der Fisheye-Grafiken auf Grundlage der tatsächlich gemessenen Kronenradien erfolgt. Statt der idealisierten mittleren Kronendurchmesser verarbeitet die Folgeversion „Fishplot 2.0“ die jeweils acht Messwerte je Krone als Polygonzug und berücksichtigt dadurch die Symmetrie bzw. Asymmetrie der Einzelkronen bei der Berechnung der individuellen Konkurrenzsituation. Der Programmbaustein „Topgrow 1.0“ (STAUPENDAHL 1995) wurde hingegen für die Visualisierung der Veränderungen horizontaler Kronenbreitenveränderungen entwickelt. Getrennt nach einzelnen Kronensektoren, die sich zwischen den acht Ablotungen je Einzelbaum aufspannen, entwirft das Programm zweidimensionale Darstellungen, die Richtung und Umfang gemessener Kronenbreitenveränderungen bzw. Kronenverkleinerungen erkennen lassen. Gleichzeitig ermöglicht das Programm die Berechnung sektoraler Kronenschirmflächen und ihre Veränderung analog zur Kronenexpansion. Für die Ermittlung von Kronenabständen im dreidimensionalen Raum wurde darauf aufbauend die Programmroutine

„Konkurz 4.0“ (PANFYOROY 1998) entwickelt. Das Programm berechnet richtungsspezifische Abstände zwischen der Kronenperipherie benachbarter Kronen und ermittelt zugleich die Art des betreffenden Nachbarn.

Tabelle 2-2: Verwendete Software und ihre Anwendungsbereiche im Rahmen der Datenverwaltung, -aufbereitung und -analyse.

Software	Version (update)		Anwendung
BWIN	2.5 (1997)	NAGEL, J., Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Göttingen	Bestandesbewertung und Prognose. Ertragskundliche Auswertungen.
BWINPro	5.0 (1999)	NAGEL, J.; ALBERT, M.; SCHMIDT, M., Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Göttingen	Waldbauliches Prognose- und Entscheidungsmodell Strukturanalysen.
Visual dBase	5.5 (1995)	Borland International	Datenbank
Treedraw	2.0 (1995)	STAUPENDAHL, K., Inst. f. Forsteinrichtung u. Ertragskunde, Univ. Göttingen	Programm zur Aufrisszeichnung von Waldbeständen
Topgrow	1.0 (1995)	STAUPENDAHL, K., Inst. f. Forsteinrichtung u. Ertragskunde, Univ. Göttingen	Programm zur zweidimensionalen Darstellung und Berechnung von Veränderungen der Kronenschirmfläche.
Trees	1.0 (1995)	BEISCH, T., Inst. f. Forsteinrichtung u. Ertragskunde, Univ. Göttingen	Programm zur Analyse und Darstellung von Kronenkarten und Stammverteilungsplänen
Konkurz	4.0 (1998)	PANFYOROY, O., Inst. f. Bioklimatologie, Univ. Göttingen	Programm zur Ermittlung von Kronenabständen im dreidimensionalen Vektorraum
Fishplot	2.0 (1998)	BIBER, P., Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Univ. München	Konstruktion, Visualisierung und Auswertung von Fisheye-Grafiken zur Konkurrenzschätzung
SPSS für Windows	6.1.2 (1995)	SPSS GmbH Software	Statistikprogramm
Excel	5.0a (1985)	Microsoft Excel Corporation USA	Tabellenkalkulation
Mawi	1.0 (1996)	NAGEL, J., Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Göttingen	Winkel- und Distanzberechnung im zweidimensionalen Vektorraum

Die Anwendung der einzelnen Programme in den verschiedenen Bereichen der Datenanalyse, Ergebnisdarstellung und Modellparametrisierung ist darüber hinaus dem Ablaufdiagramm zur Datenaufbereitung, Datenanalyse und Modellparametrisierung in Abbildung 2-2 zu entnehmen. Demnach wurde das umfangreiche Datenmaterial in einem ersten Auswertungsschritt hinsichtlich seiner standörtlichen sowie „bestandesgeschichtlichen“ Homogenität überprüft und damit die Entwicklung der einzelnen Versuchsfelder zu einer „Zeitreihe“ abgesichert. Darauf aufbauend wurden im Rahmen einer breit angelegten **ertragskundlichen Grundausswertung** die einzelnen Versuchsfelder analysiert. Im Ergebnis wurden die wichtigsten ertragskundlichen Bestandesparameter berechnet sowie umfangreiche **Strukturanalysen** durchgeführt. Ergebniszusammenstellungen und Visualisierungen auf Ebene des Bestandes sind Anlage 3 zu entnehmen. Im dritten Teil der Auswertungen erfolgte die Datenverschneidung der erhobenen Einzelbaumzuwächse mit den abgeleiteten Konkurrenzparametern und darauf aufbauend die **Parametrisierung der wichtigsten Zuwachsfunktionen** für ein abstandsabhängiges Einzelbaummodell.

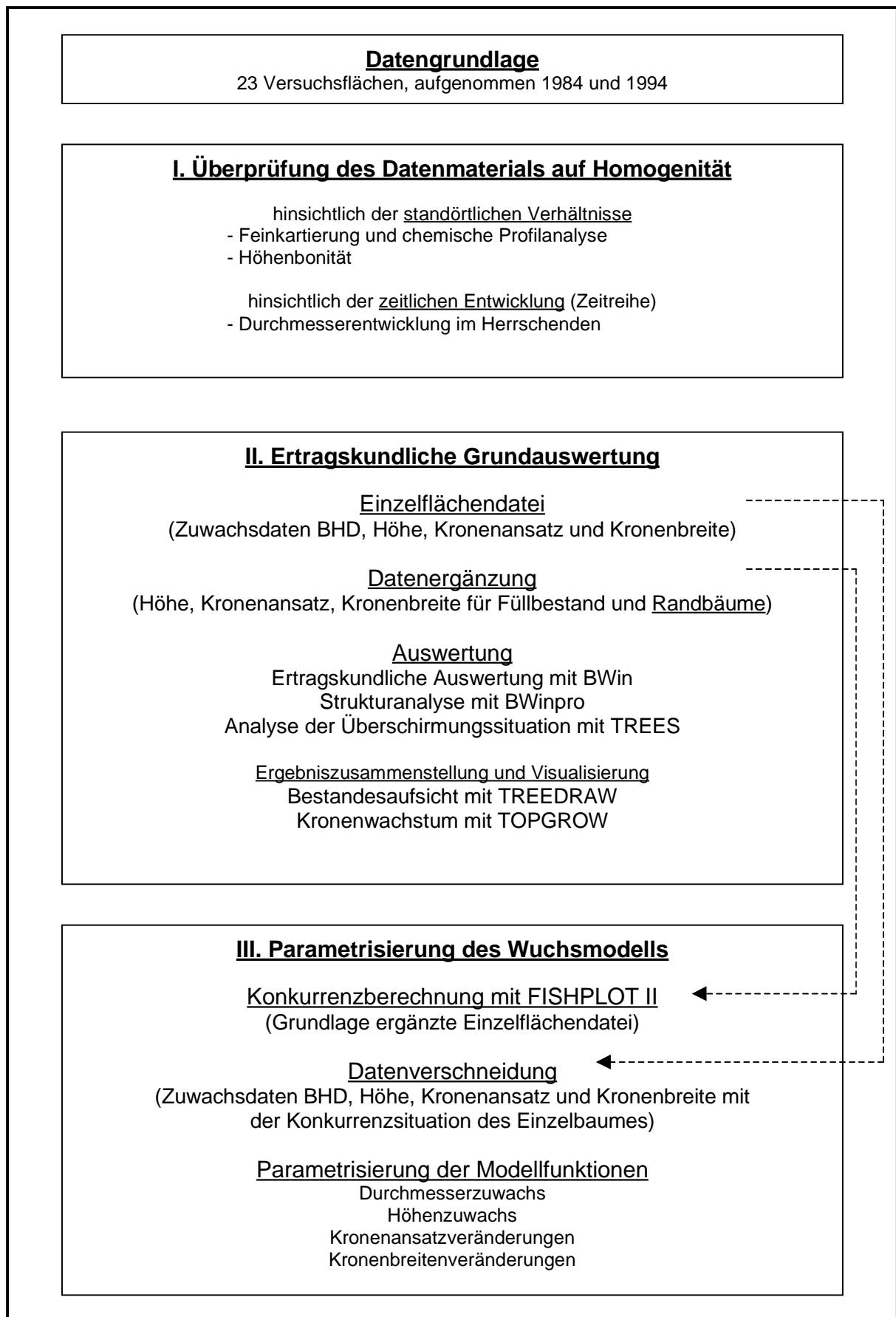


Abbildung 2-2: Ablaufdiagramm zur Datenaufbereitung, Datenanalyse und Modellparametrisierung.

2.4.2 Ertragskundliche Grundausswertung

Die ertragskundliche Grundausswertung wurde mit dem Programm „BWIN“ (NAGEL 1996) durchgeführt. Das Programm ermöglicht bestandesbezogene Auswertungen der Stammzahl-, Grundflächen- und Vorratshaltung getrennt nach Baumarten sowie die Berechnung des Durchmessers und der Höhe für den Grundflächenmittelstamm (d_g, h_g) und den Spitzenstamm (d_{100}, h_{100}). Die Vorräte wurden auf Grundlage der Formzahlfunktionen von BERGEL (1973) ermittelt. Es gelten für die Baumarten:

Buche

$$fd = 0.4039 + 0.0017335 \cdot h + 1.1267/h - 118.188/(d^3) + 0.0000042 \cdot (d^2) \quad (\text{Formel 2-1})$$

Europäische Lärche

$$fd = 0.69196 + 38.64556/(h \cdot d^2) - 0.01724 \cdot \log(d^2) - 20.77608/(d^2) - 0.41727/h \quad (\text{Formel 2-2})$$

mit den Variablenbezeichnungen :
fd = Formzahl
h = Höhe (m)
d = Durchmesser (cm)

2.4.3 Kronenparameter

Der eigentlichen Modellparametrisierung wird unter Abschnitt 4.3 die Analyse verschiedener Kronenparameter für Buche und Lärche im Mischbestand vorangestellt. Damit werden beide Teile der Arbeit miteinander verknüpft. Abbildung 2-3 sind die verschiedenen direkten sowie abgeleiteten Kronengrößen zu entnehmen.

Kronenschirmfläche

Die Kronenschirmfläche, in anderen Arbeiten auch als Kronenprojektionsfläche bezeichnet, entspricht näherungsweise der durch die einzelne Baumkrone übershirmten Fläche. Als abgeleitete Näherungsgröße wird sie bspw. von ASSMANN (1961) als Grundlage für Standraumüberlegungen verwendet. Einzelbaumbezogene Kronenschirmflächen bilden die Grundlage für zweidimensionale Kronenkarten und vermitteln damit einen vereinfachten Eindruck von der Bestandesdichte und Bestandesstellung. Von besonderer Bedeutung ist die Kronenschirmfläche als Eingangsgröße für die Berechnung der Kronenmantelfläche sowie des Kronenvolumens.

In Anlehnung an KRAMER u. DONG (1985), die im Rahmen von Kronenanalysen in immisionsgeschädigten Nadelholzbeständen die Ergebnisse verschiedener geometrischer Berechnungsmodelle zur Ermittlung der Kronenschirmfläche verglichen haben, wird im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich das **Teilkreismodell** verwendet. Für das Teilkreismodell werden aus dem arithmetischen Mittel zweier benachbarter Kronenradien die jeweiligen Teilkreisflächen ermittelt. Die Summe der insgesamt 8 Einzelflächen ergibt die Gesamtschirmfläche. Es gilt:

$$ks = \sum_{n=1}^8 \frac{1}{8} * \pi * kr_n^2 \quad (\text{Formel 2-3})$$

mit den Variablenbezeichnungen:

- ks = Kronenschirmfläche (m^2)
- kr = Kronenradius, hier als arithmetischer Mittelwert zweier benachbarter Kronenradien (m)

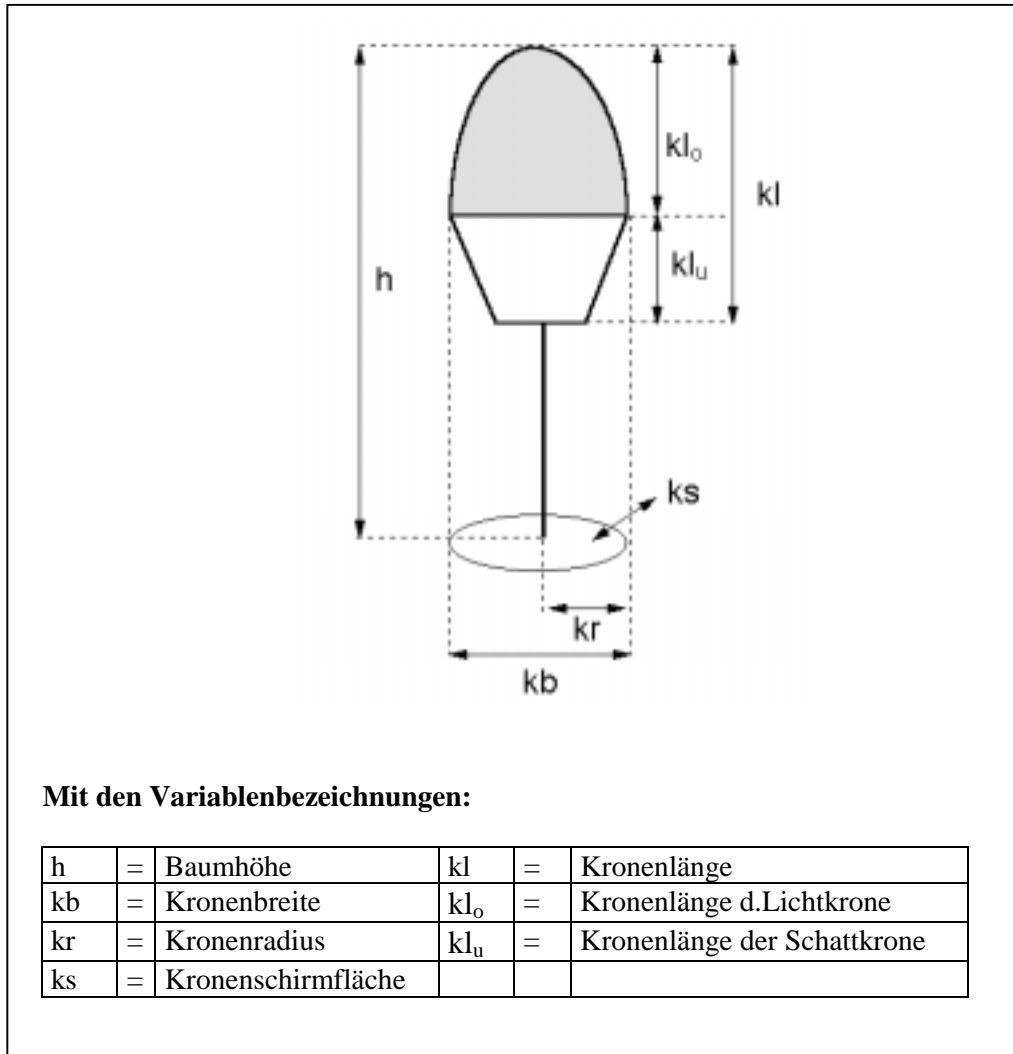


Abbildung 2-3: Schematische Darstellung der verschiedenen direkten und abgeleiteten Kronengrößen sowie die verwendeten Variablenbezeichnungen.

Kronenlänge

Die Kronenlänge errechnet sich aus der Differenz zwischen Kronenspitze und Kronenansatz. Der Kronenansatz wird als Ansatzhöhe des ersten grünen Astes 1. Ordnung definiert. Als direkte Größe wird sie bspw. bei der Berechnung der Kronenmantelfläche oder des Kronenvolumens verwendet. Als indirekte Größe findet sie Eingang bei der Berechnung verschiedener Kronenindizes wie bspw. Plumpeitsgrad oder Kronenprozent.

$$kl = h - ka \quad (\text{Formel 2-4})$$

mit den Variablenbezeichnungen :

kl = Kronenlänge (m)
h = Baumhöhe (m)
ka = Kronenansatz (m)

Kronenprozent

Das Kronenprozent entspricht dem Verhältnis von Kronenlänge zu Baumhöhe. Der Quotient eignet sich zur Beurteilung der Vitalität und Stabilität des Einzelbaumes (KRAMER 1988, MÖHRING 1980). Darüber hinaus lässt sich der Pflegezustand von Beständen mit Hilfe des Kronenprozentes objektiv und vergleichbar beschreiben (KRAMER u. AKCA 1995). Es gilt:

$$K\% = 100 \cdot \frac{kl}{h} \quad (\text{Formel 2-5})$$

mit den Variablenbezeichnungen :

K% = Kronenprozent
h = Baumhöhe (m)
kl = Kronenlänge (m)

Kronenexzentrizität

Als Kronenexzentrizität wird die von der Kreisform in der horizontalen Kronenprojektion abweichende Ausdehnung der Baumkrone in bestimmten Himmelsrichtungen definiert. Grundlage der Berechnungen ist der aus den acht Ablotungen des Einzelbaumes errechnete mittlere Kronenradius. Die daraus abgeleitete, idealisierte Kreisform des Einzelbaumes wird als Bezugsgröße (100 %) mit dem tatsächlich gemessenen Kronenradius in Relation gesetzt. Es gilt:

$$\overline{kr} = \frac{1}{i} \cdot \sum_{i=1}^8 kr_i \quad (\text{Formel 2-6})$$

$$kr\% = \frac{kr_{\max i}}{\overline{kr}} \cdot 100 \quad (\text{Formel 2-7})$$

mit den Variablenbezeichnungen :

kr% = Kronenexzentrizität
kr_{max} = maximaler Kronenradius (m)
 \overline{kr} = durchschnittlicher Kronenradius (m)
i = Ablotungsrichtung

Plumpheitsgrad

Der Plumpheitsgrad errechnet sich aus dem Verhältnis zwischen Kronenbreite und Kronenlänge und beschreibt als einfache Maßzahl die Kronenform des Einzelbaumes (ASSMANN 1961).

Es gilt:

$$PG = \frac{kb}{kl} \quad (\text{Formel 2-8})$$

mit den Variablenbezeichnungen :

PG = Plumheitsgrad
kb = Kronenbreite (m)
kl = Kronenlänge (m)

Ausladungsverhältnis

Das Ausladungsverhältnis errechnet sich als Quotient aus Kronenbreite und BHD (EULE 1959). Das Verhältnis ist mit der Wuchsraumzahl nach v. SEEBACH (1845) identisch. Es gilt:

$$Ag = \frac{kb}{BHD} \quad (\text{Formel 2-9})$$

mit den Variablenbezeichnungen:

Ag = Ausladungsverhältnis
kb = Kronenbreite (m)
BHD = Brusthöhendurchmesser (cm)

2.4.4 Bestandesstruktur

Die Strukturanalyse bezieht sich ausschließlich auf die Baumschicht und schließt nur Bäume ein, die einen BHD > 7 cm haben. Das **horizontale Baumverteilungsmuster** wurde mit Hilfe des Aggregationsindex R von CLARK u. EVANS (1954), mit der Randkorrektur von DONNELLY (1978) sowie dem Segregationsmaß S von PIELOU (1961, 1977) analysiert.

Aggregationsindex R

Der Aggregationsindex R von CLARK u. EVANS (1954) beschreibt das Verhältnis zwischen dem beobachteten mittleren Abstand zum nächsten Nachbarn und dem erwarteten mittleren Abstand bei einer unterstellten zufälligen Stammverteilung. Er ist als Maßzahl für die Abweichung des beobachteten Verteilungsmusters von der Zufallsverteilung zu interpretieren. Die Berechnung erfolgt nach:

$$R = \frac{\bar{r}_{\text{beobachtet}}}{\bar{r}_{\text{erwartet}}} \quad (\text{Formel 2-10})$$

$$\bar{r}_{\text{beobachtet}} = \frac{\sum_{i=1}^N r_i}{N} \quad (\text{Formel 2-11})$$

$$\bar{r}_{\text{erwartet}} = \frac{1}{2\sqrt{\frac{N}{A}}} \quad (\text{Formel 2-12})$$

mit den Variablenbezeichnungen:

- R = Aggregationsindex
- r_i = Abstände der $i=1\dots N$ Bäume zu ihrem nächsten Nachbarn
- N = Anzahl der Bäume
- A = Größe der Versuchsfläche (m^2)
- \bar{r} = mittlerer Abstand

Der Index R liegt theoretisch zwischen 0 (stärkste Klumpung) und 2,1491 (streng regelmäßiges Hexagonalmuster). Aggregationswerte kleiner als 1,0 deuten auf eine Tendenz zur Klumpung, Werte um 1,0 auf eine zufällige Verteilung hin. Umgekehrt zeigen Werte über 1,0 eine Tendenz zur regelmäßigen Stammverteilung an. Der Index R errechnet sich nach der Methode der nächsten Nachbarn.

Segregationsmaß S

Das Segregationsmaß S von PIELOU (1977) beschreibt die räumliche Artendurchmischung zweier Baumarten auf Grundlage der Methode des nächsten Nachbarn. Anhand des Verhältnisses von tatsächlich beobachteten und erwarteten gemischten Baumpaaren im Bestand beschreibt der Segregationsindex die Artendurchmischung nach:

$$S = 1 - \frac{\text{beobachtete Zahl gemischter Paare}}{\text{erwartete Zahl gemischter Paare bei unabhängiger Verteilung}} \quad (\text{Formel 2-13})$$

Die beobachtete und erwartete Zahl gemischter Paare wird mit Hilfe einer Vierfeldertafel (PRETZSCH 1993) hergeleitet. Der Index kann Werte zwischen $-1,0$ und $+1,0$ annehmen. Werte um 0 sprechen für eine unabhängige Verteilung. Werte < 0 , d. h. die beobachtete Zahl gemischter Paare ist höher als die erwartete Anzahl, deuten auf eine Assoziation zwischen den Arten hin, während umgekehrt Werte > 0 die Segregation, d. h. räumliche Trennung der Arten anzeigen.

Diversität im Sinne von Strukturvielfalt lässt sich nach KIMMINS (1987) mit Hilfe der Artenvielfalt und Artendominanz charakterisieren. Die Abundanzunterschiede im Laufe der Bestandesentwicklung der untersuchten Buchen-Lärchen-Mischbestände wurden mit Hilfe der Evenness (HAEUPLER 1982) erfasst. Dabei wurden sowohl baumartenspezifische Stammzahl- als auch Grundflächenanteile zu Grunde gelegt.

Shannon-Index (SHANNON u. WEAVER 1949)

$$H' = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln(p_i) \quad (\text{Formel 2-14})$$

mit den Variablenbezeichnungen :

- H' = Shannon-Index
- n = Anzahl der vorkommenden Baumarten im Bestand
- p_i = Artenanteile an der Population ($p_i = \frac{n_i}{N}$)
- n_i = Anzahl der Individuen der Art i
- N = Anzahl der Individuen gesamt

Der Shannon-Index nimmt gleichgerichtet sowohl mit zunehmender absoluter Anzahl der Baumarten als auch mit steigender Gleichmäßigkeit der einzelnen Baumartenanteile zu.

Evenness (HAEUPLER 1982)

Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit wird die Evenness (E) aus dem standardisierten Shannon-Index abgeleitet. Dazu wird der Shannon-Index ins Verhältnis zum erreichbaren Maximalwert des jeweiligen Bestandes gesetzt.

$$E = \frac{H'}{H_{\max}} = \frac{H'}{\ln(n)} \quad (\text{Formel 2-15})$$

mit den Variablenbezeichnungen:

- E = Evenness
- H' = Shannon-Index
- n = Anzahl der vorkommenden Baumarten im Bestand
- H_{max} = Maximalwert

Die Evenness (HAEUPLER 1982) ist allein von der Variabilität der Baumarten abhängig. Der Maximalwert von 1 ergibt sich bei Gleichverteilung der Baumarten, mit abnehmender Gleichverteilung nimmt der Wert ab.

Die **Vertikalstruktur** wurde mit Hilfe des Artprofilindex A beschrieben (PRETZSCH 1997). Er leitet sich aus dem Shannon-Index ab, wobei die Artenanteile getrennt nach Höenschichten hergeleitet werden.

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} \cdot \ln p_{ij} \quad (\text{Formel 2-16})$$

mit den Variablenbezeichnungen:

- A = Artprofilindex
- S = Zahl vorkommender Arten
- Z = Zahl der Höenschichten (hier 3 Höenschichten)
- p_{ij} = Artenanteile in den Schichten ($p_{ij} = \frac{n_{ij}}{N}$)
- n_{ij} = Anzahl der Individuen der Art i in Höenschicht j
- N = Gesamtzahl der Individuen

Die Höenschichten werden bei 0-50 %, 50-80 % und 80-100 % der Maximalhöhe des jeweiligen Bestandes festgelegt. Vergleichbar mit dem Shannon-Index werden in den drei Höhenzonen die Produkte aus Artenanteil und logarithmierten Artenanteil gebildet und zum Artprofilindex A aufsummiert. Indem der logarithmisch transformierte Artenanteil als Multiplikator Eingang findet, fließen seltene Arten und solche Bestandesglieder, die in wenig besetzten Höhenzonen vorkommen, überproportional ein.

2.4.5 Verbale Stammansprache - Soziale Stellung, Schaft- und Kronenform -

Auf Grundlage der *Anleitung zur Ausführung von Durchforstungs- und Lichtungs-Versuchen* des Vereins Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten von 1902 (ANONYMUS 1902) erfolgte auf 9 der 18 Versuchsflächen eine verbale Stammansprache. Angesprochen wurden die soziale Stellung, die Schaftqualität sowie die individuelle Kronenausformung des Einzelbaumes. Die einzelnen Ansprachemerkmale sowie die vorgegebene Merkmalsdifferenzierung sind Tabelle 2-3 zu entnehmen.

Tabelle 2-3: Ansprachemerkmale und Merkmalsdifferenzierung nach dem Schema zur verbalen Stammansprache im Rahmen ertragskundlicher Aufnahmen durch die Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt. ((* Die beiden Eigenschaften „bogig“ und „säbelwüchsig“ werden bei den Aufnahmen weiter differenziert in „schwach“, „normal“ und „stark“ ausgeprägt).

Ansprachemerkmale	Merkmalsdifferenzierung
Soziale Stellung	Baumklasse 1 (Herrschende Bäume mit normaler Kronenentwicklung und guter Stammform)
	Baumklasse 2 (Herrschende Bäume mit abnormer Kronenentwicklung oder schlechter Stammform)
	Baumklasse 3 (Zurückbleibende, aber noch schirmfreie Bäume)
	Baumklasse 4 (Unterdrückte, aber noch lebensfähige Bäume)
	Baumklasse 5 (absterbende und abgestorbene Bäume)
Schaftform	a) gut
	b) bogig (*)
	c) säbelwüchsig (*)
	d) Zwiesel mit Ansatz < 10m
	e) Zwiesel mit Ansatz > 10m
	f) auffallender Wasserreiserbesatz
	g) auffallende Ästigkeit
Kronenform	a) völlig runde, normal große Krone
	b) auffallend dominierende, große, runde Krone
	c) einseitige Krone
	d) geklemmte Krone, auf zwei oder mehr Seiten einseitig
	e) auffallend kleine, gering-runde Krone
	f) Kronenbruch
Sondereigenschaften	a) Schlag- und Rückeschaden
	b) Krebs

2.5 Versuchsflächen

2.5.1 Geographische Lage

Alle Versuchsflächen befinden sich im Wuchsgebiet „Süd-niedersächsisches Bergland“, Wuchsbezirk „Unterer Solling“. Ein Block von Versuchsflächen, der eine überwiegende West- bis Nordwest-Exposition aufweist, liegt im westlichen Teil des Wuchsbezirks in Höhenlagen zwischen 200 und 300 m ü. NN. Diese Flächen konzentrieren sich auf wenige

Abteilungen in der Revierförsterei Derenthal in der Nähe der Ortschaft Fürstenberg im Niedersächsischen Forstamt Neuhaus. Ein zweiter Block von Versuchsflächen liegt ca. 30 Kilometer Luftlinie entfernt im östlichen Teil des Wuchsbezirks zwischen den Ortschaften Uslar und Hardegsen im Niedersächsischen Forstamt Uslar. Die geographische Lage der aufgenommenen Buchen-Lärchen-Mischbestände ist Abbildung 2-4 zu entnehmen.

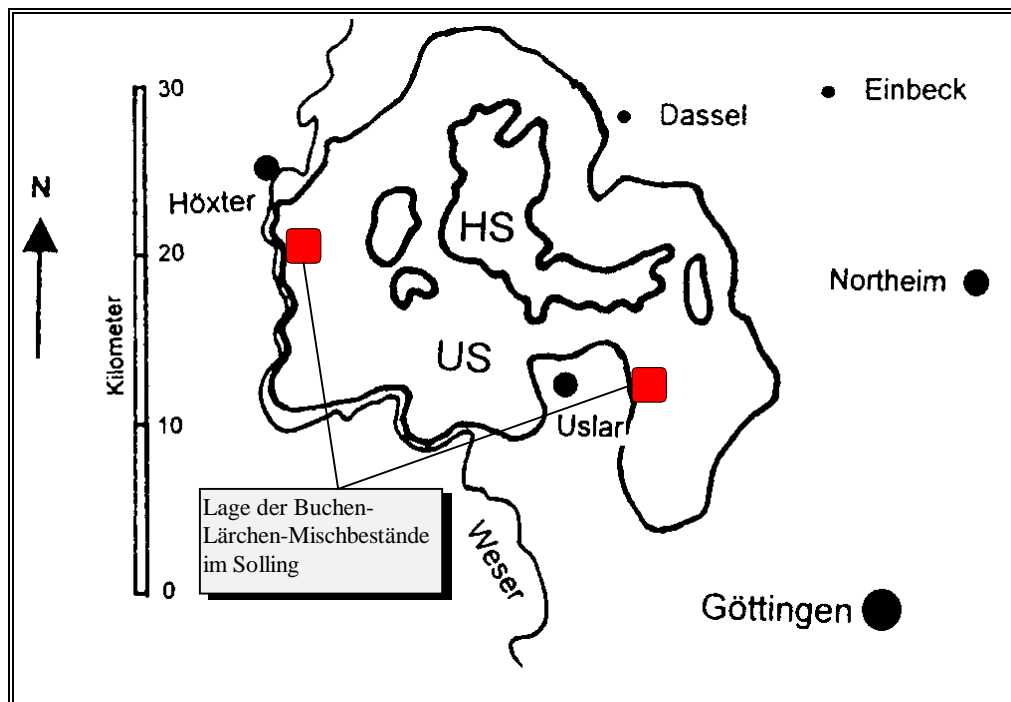


Abbildung 2-4: Geographische Lage der aufgenommenen Versuchsflächen im Wuchsbezirk „Unterer Solling“.

2.5.2 Standörtliche Verhältnisse

Obwohl bereits bei der Erstaufnahme 1984 eingehende Standortbeschreibungen mit Hilfe von Bohrstockproben und Vegetationsaufnahmen durchgeführt wurden, erfolgten im Rahmen der Zweitaufnahme 1994 weitere intensive Standortuntersuchungen. In Ergänzung zu den Feldaufnahmen wurden darüber hinaus zwei repräsentative Bodenprofile beprobt und im Labor der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt chemisch analysiert. Vorrangiges Ziel der Untersuchungen war es, die standörtliche Homogenität der Bestände sicherzustellen. Darüber hinaus war es beabsichtigt, mit den Untersuchungen die Qualität verfügbarer Standortbeschreibungen von ertragskundlichen Versuchsflächen beispielhaft zu verbessern.

MOOSMAYER et al. (1972, 1996) bemängeln in diesem Zusammenhang, dass, wenn die Datengrundlage zur Beschreibung der Beziehungen zwischen Standort und waldwachstumskundlichen Leistungsparametern wie bislang verbreitet der forstlichen Standortkartierung entnommen wird, lediglich Durchschnittswerte Eingang finden, die für größere Flächeneinheiten ausgewiesen wurden. STÜBER (1997) weist darauf hin, dass sowohl die Genauigkeit der Standortsansprache als auch die Genauigkeit der Abgrenzung des Standortes im Gelände für standortkundlich-wachstumskundliche Auswertungen von besonderer Bedeutung sind. Im Zusammenhang mit verfügbaren Standortbeschreibungen älterer Versuchsflächen betont

SCHÜBELER (1997) zudem das Problem der einheitlichen Datenqualität und der Übersetzung standortkundlicher Erstanisprachen aus der Zeit um die Jahrhundertwende in neuzeitliche Kartierungsschlüssel.

2.5.2.1 Feldaufnahmen

Im Rahmen der Feldaufnahmen wurden auf jeder der 25 Versuchsflächen im Wuchsbezirk „Unterer Solling“ **vier Bohrungen** mit dem Pürkhauer-Bohrer bis zu 2,0 m Tiefe vorgenommen. Ziel dieser Untersuchungen war es einerseits, die kleinstandörtlichen Verhältnisse zu erfassen. Andererseits sollten mit der vergleichsweise hohen Anzahl von Bohreinschlägen die Versuchsflächen hinsichtlich ihrer standörtlichen Homogenität sowohl innerhalb der einzelnen Fläche als auch zwischen den Probeflächen abgesichert werden. Die Ergebnisse der Felduntersuchungen sind in Tabelle 2-4 zusammengestellt.

Wasserhaushalt, Geländeform, Nährstoffversorgung sowie geologisches Ausgangssubstrat und Lagerungsverhältnisse wurden in Anlehnung an den Niedersächsischen Geländeökologischen Schätzrahmen verschlüsselt (NDS. FORSTPLANUNGSAMT 1995). Eine Erläuterung der verschlüsselten Standortkennziffern findet sich im Anhang (Anlage 5).

70 % der Versuchsflächen befinden sich demnach in Plateaulagen oder auf schwach bis mäßig geneigten, schattseitigen Hangstandorten. Weitere 30 % der Versuchsflächen liegen hingegen auf mäßig bis stark geneigten, sonnenseitigen Hanglagen, wobei sich diese Flächen auf den östlichen Teil des Wuchsbezirks konzentrieren.

Mit lediglich drei Ausnahmen wurde die Wasserversorgung auf sämtlichen Standorten als mindestens frisch bzw. frisch bis vorratsfrisch eingestuft. Auf zwei Flächen wurde die Wasserversorgung als mäßig frisch angesprochen, auf der Versuchsfläche 112 hingegen weitaus günstiger als vorrats- bis nachhaltig frisch.

Die Nährstoffversorgung wurde einheitlich als ziemlich gut bis mäßig eingestuft. Als geologisches Ausgangssubstrat dominiert der für weite Teile des Sollings typische basenarme Buntsandstein mit Lößauflagen zwischen 30-80 cm Mächtigkeit. Bodentypologisch haben sich ausnahmslos Braunerden entwickelt. Lediglich im Bereich der Versuchsfläche 112 konnten aufgrund der mächtigeren Lössauflage von bis zu maximal 130 cm Anzeichen einer Pseudovergleyung beobachtet werden. Die Humusform wurde in Anlehnung an die Klassifizierung der Forstlichen Standortaufnahme (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG 1996) überwiegend als feinhumusarmer Moder mit Übergängen zum typischen Moder angesprochen.

Im Vergleich zu den Ergebnissen der Feldaufnahmen durch DIPPEL (1988) können drei Unterschiede festgestellt werden: Erstens wurde die Nährstoffversorgung im Rahmen der Aufnahme 1984 einheitlich als ziemlich gut und damit um mindestens eine halbe Nährstoffziffer besser als 1994 eingeschätzt. Des Weiteren wurde auf einer ganzen Reihe von Versuchsflächen 1984, im Vergleich zu den Ergebnissen der Feinkartierung 1994, die Lößauflage um bis zu 30 cm geringer eingeschätzt und damit auch die Wasserversorgung systematisch unterschätzt. Die Humusform wurde hingegen 1984 in den meisten Fällen als mullartiger Moder angesprochen und damit im Vergleich zu den Ansprüchen 1994 systematisch besser eingeschätzt.

FLÄCHE	FORSTAMT	ABT.	HÖHE ü. NN (m)	EXPOSITION	NEIGUNG (%)	STANDORTS- KENNZIFFER	LÖSSAUF- LAGE (cm)	HUMUSFORM	BODENTYP	WASSER- VERSORGUNG
BL11	Neuhaus	155	260	Plateaulage	-	9.4(-).2.3	40-60	fha. Moder	Braunerde	frisch-vorratsfrisch
BL12	Neuhaus	154	210	W	6	9t(23).3+/4-.2.3	40-70	fha./typ. Moder	Braunerde	frisch
301	Neuhaus	153a	230	W/NW	6	19.4(-).2.3	50-70	mu./typ. Moder	Braunerde	frisch-vorratsfrisch
302	Neuhaus	147a	290	W/NW	6-8	9.4-.2.3t	50-60	fha. Moder	Braunerde	frisch
303	Neuhaus	147a	290	W/NW	7	9.4(-).2.3(t)	50-60	fha./typ. Moder	Braunerde	vorratsfrisch-frisch
304	Neuhaus	145b	330	Plateaulage	-	9.4(-).2.3	50-70	fha./typ. Moder	Braunerde	frisch-vorratsfrisch
305	Neuhaus	146a	330	Plateaulage	-	9.4(-).2.3	50-70	fha./typ. Moder	Braunerde	frisch-vorratsfrisch
306	Neuhaus	159a	260	W	25	23.3+/4-.2.3	40-60	Fha. Moder	Braunerde	frisch
307	Neuhaus	151a	200	W	15	23.4-/3+.2.3(t)	40-60	fha. Moder	Braunerde	frisch-mäßig frisch
308	Neuhaus	150	230	Plateaulage	-	9/23(f).4.2.3	70-105	fha. Moder	Braunerde	frisch-vorratsfrisch
309	Neuhaus	150	230	Plateaulage	-	9.4.3.5	70-100	fha. Moder	Braunerde	vorratsfrisch
310	Neuhaus	143b	230	NW	8	19.4-.2.3	50-70	fha. Moder	Braunerde	frisch-(mäßig)frisch
311	Neuhaus	146a	310	Plateaulage	-	9.4(-).2.3(3.5)	60-70	fha./fhr. Moder	Braunerde	frisch-vorratsfrisch
101	Uslar	207c	320	O	9	19.4-.3.5/2.3(f)	60-80	fha. Moder	Braunerde	frisch-vorratsfrisch
102	Uslar	207c	320	O	11	19.4.3.5f	80	fha. Moder	Braunerde	vorratsfrisch
103	Uslar	209c	320	O	12	19.4.3.5(f)	70-75	fha. Moder	Braunerde	frisch-vorratsfrisch
104	Uslar	29b	390	N	12	19.4-.2.3	50-60	fha. Moder	Braunerde	frisch
105	Uslar	30a	330	N	15	19.4-.2.3	50-70	fha. Moder	Braunerde	frisch
106	Uslar	28c	370	SO	8	23.4-.2.3	50-60	mu./fha. Moder	Braunerde	frisch
107	Uslar	276b	280	W/SW	30	23.3+.23t	40-50	fha. Moder	Braunerde	mäßig frisch
108	Uslar	547b	300	S	30	23.4-14.2.3(t)	50-70	fha. Moder	Braunerde	frisch-mäßig frisch
109	Uslar	1a	290	S	22	23.3+.2.3(t)	40-50	fha. Moder	Braunerde	frisch-mäßig frisch
110	Uslar	561d	270	W	15	23.4-.2.3t	50	mullart. Moder	Braunerde	mäßig frisch
111	Uslar	79a	270	W/SW	17	23.3+./4-.2.3(t)	30-60	fha. Moder	Braunerde	frisch-mäßig frisch
112	Uslar	40a	340	W/SW	9	22.4.3.5t	100-130	fha. Moder	Ps.gley Braunerde	vorrats-nachh.frisch

Tabelle 2-4: Zusammenstellung der wichtigsten Standortsangaben für die untersuchten Buchen-Lärchen-Mischbestände im Solling.
Wuchsgebiet: Südniedersächsisches Bergland; Wuchsbezirk: Unterer Solling (ausselektierte Versuchsflächen grau unterlegt).

2.5.2.2 Analyseergebnisse

Zur Unterstützung der mit Feldmethoden durchgeführten Kartierung und zur Quantifizierung der aktuellen Boden- und Humuszustände wurden an zwei Bodenprofilen im Forstamt Neuhaus Bodenproben in unterschiedlichen Tiefenstufen bis 1,0/1,4 m Tiefe entnommen und analysiert. Es handelt sich dabei um je ein Bodenprofil auf einem sm2- und einem sm3-Standort auf mittlerem Buntsandstein in den Abteilungen 143 (Fläche 310) und 145 (Fläche 304). Die Proben wurden im Labor der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt Göttingen aufbereitet und analysiert. Als wichtige bodenchemische Kenngrößen wurden die pH-Werte, die effektive Kationenaustauschkapazität, die Basensättigung sowie das C/P- und C/N-Verhältnis der Humusaufgabe untersucht.

pH-Werte

Der pH-Wert, als Maß für die Acidität, steuert die Verwitterungsintensität in der Bodenlösung. Wenngleich aus dem pH-Wert alleine keine direkten Schlüsse auf die absolute Menge pflanzenverfügbarer Nährstoffe sowie auf Raten der Säuredeposition und Protonenproduktion oder -konsumption möglich sind, so lassen sich daraus dennoch Hinweise auf die gegenwärtige Pufferkapazität der Böden sowie auf die Verfügbarkeit von Nährstoffen im Allgemeinen gewinnen (RIEBELING u. SCHAEFER 1984). Der in wässriger Suspension gemessene pH-Wert (pH-H₂O) als Maß für die aktuelle Protonenkonzentration in der Bodenlösung gibt dabei den aktuellen chemischen Bodenzustand an, in dem sich der jeweilige Bodenhorizont zum Zeitpunkt der Messung befindet. Im Gegensatz dazu eignet sich der pH-(KCL)-Wert für Rückschlüsse auf den Pufferbereich, der sich unter definierter Säurebelastung (CaCl₂ oder KCL in verschiedener Konzentration) einstellt (ULRICH 1983, 1986). Tabelle 2-5 sind die unterschiedlichen pH-Werte (H₂O/KCL) der zwei Bodenprofile für die ausgewiesenen Tiefenstufen zu entnehmen.

Tabelle 2-5: Angaben zu den pH-Werten (H₂O/KCL) in unterschiedlichen Tiefenstufen im Vergleich zu den Ergebnissen der Erstaufnahme 1988 (pH-(KCL)-Werte grau unterlegt).

Tiefenstufe (cm) Bodenprofil	0-5	5-10	10-30	30-60	60-80/90	90-100/140
304 (1998)	4,14	4,29	4,46	4,30	4,17	4,03
	3,49	3,82	4,05	4,12	4,03	3,72
<i>Dippel (1988)</i>		3,71	4,11			
		2,90	3,67			
310 (1998)	3,87	4,23	4,35	4,22	4,08	
	3,31	3,65	3,94	3,88	3,73	
<i>Dippel (1988)</i>		3,83	4,15			
		3,01	4,05			

Die aktuellen pH-(H₂O)-Werte schwanken in einem relativ engen Rahmen zwischen 3,87 bis 4,46. Sie befinden sich damit im Austausch- bis Aluminium-Pufferbereich (ULRICH 1983). Die pH-(KCL)-Werte liegen hingegen zwischen 3,31 und 4,12 im Aluminium-/Eisenpufferbereich. Sie liegen damit rd. 0,5 bis 0,3 Einheiten unter den pH-(H₂O)-Werten. Dieser Umstand ist auf den Austausch von H- und Al-Ionen zurückzuführen. So sind nach SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL (1992) Absenkungen der pH-(KCL)-Werte um bis zu 0,7 Einheiten für

Böden aus Löß und Sand mit pH-Werten zwischen 3,0 und 7,5 als normal zu beurteilen. Folge der niedrigen pH-Werte ist, dass die Löslichkeit vor allem von Mg- und Ca-Ionen größer wird. Sie unterliegen mit abnehmenden pH-Wert besonders stark der Auswaschung.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen von DIPPEL (1988) lässt deutliche Unterschiede zwischen den beiden Messungen erkennen. Sowohl die pH-Werte H₂O als auch die pH-Werte KCL wurden 1988 um 0,3 bis 0,9 Einheiten geringer bestimmt. Besonders auffällig sind die Unterschiede im Oberboden (Horizonttiefe 5-10 cm). Der beobachtete Anstieg der pH-Werte im 10-jährigen Vergleichszeitraum lässt sich vermutlich auf Kalkungsmaßnahmen im Bereich der Versuchsflächen innerhalb des 10-jährigen Beobachtungszeitraumes zurückführen.

Kationenaustauschkapazität

Über die Kationenaustauschkapazität lässt sich die Fähigkeit des Mineralbodens als Speichermedium für Kationen quantifizieren. Dabei kommen im Boden vor allem Tonminerale und die organische Substanz als Kationenadsorbentien in Betracht (GISI 1990). Deren Präsenz im Boden hängt von zahlreichen Faktoren wie Ausgangssubstrat, Humusgehalt, Bodenart usw. ab, woraus sich für unterschiedliche Böden große Unterschiede hinsichtlich deren Kationenaustauschkapazität ergeben können (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 1992). Die an den Austauschern festgelegten Ionen bilden, neben den bereits in der Bodenlösung befindlichen und durch Humusmineralisation freigesetzten Ionen, die wichtigste Quelle relativ leicht verfügbarer Nährstoffkationen. Als Standard werden bei forstlichen Standortskartierungen die effektive Kationenaustauschkapazität (AKe), d. h. die tatsächliche Austauschkapazität beim aktuellen Boden-pH-Wert, sowie die austauschbaren Kationen (H, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al) ermittelt. Abbildung 2-5 gibt einen Überblick über die AKe in den verschiedenen Bodentiefen der zwei Bodenprofile.

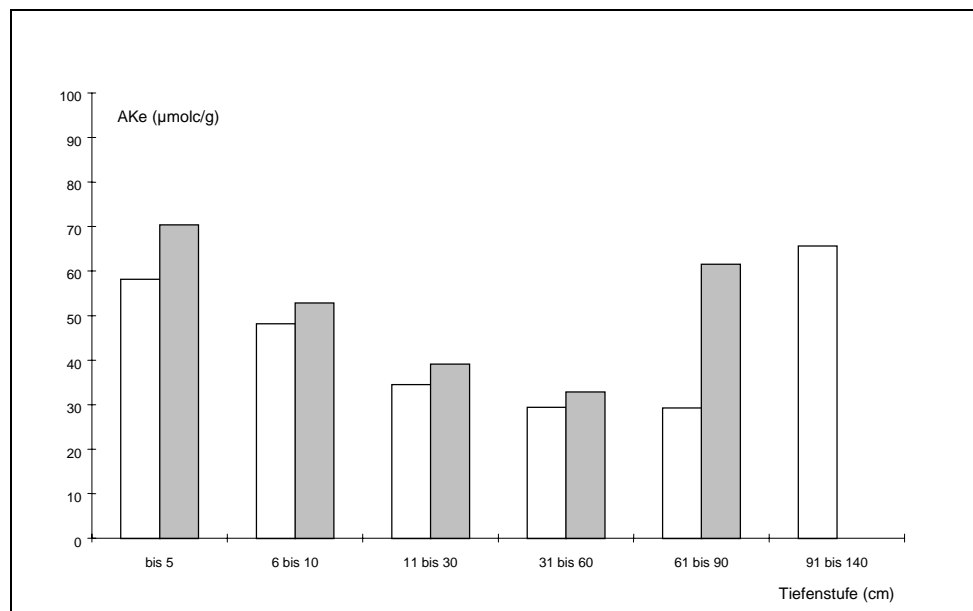


Abbildung 2-5: Ergebnis der Analyse der Kationenaustauschkapazität (AKe/μmol/g) in verschiedenen Tiefenstufen (Profil 304/sm1 weiß, Profil 310/sm2 grau unterlegt).

Aufgrund der niedrigen pH-Werte bewegt sich die AKe in beiden Profilen und in allen Tiefenstufen bis 90 cm Tiefe auf vergleichsweise geringem bis sehr geringem Niveau innerhalb einer Spanne von 30-70 $\mu\text{mol}/\text{g}$. Im Vergleich zwischen beiden Flächen liegen die Werte des Profils 310 bis in die Tiefenstufe 31-60 cm geringfügig, in der Tiefenstufe 61-90 cm sogar deutlich über der AKe des Vergleichsprofils. Die zu beobachtende Abnahme der AKe mit dem Tiefengradienten wird u. a. darauf zurückgeführt, dass die AKe des Oberbodens besonders stark vom Gehalt an organischer Substanz beeinflusst wird.

Für vergleichbare Waldböden Mitteleuropas finden sich bei SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL (1992) Angaben über AKe mit durchschnittlich 120-140 $\mu\text{mol}/\text{g}$. Nach dem Bewertungsschlüssel durch den ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (1996) ist die AKe für beide Profile als gering bis mittel einzustufen und deutet damit auf die im Untersuchungsbereich abgelaufene Bodenversauerung hin.

Basensättigung

Die Basensättigung in den einzelnen Mineralbodenhorizonten ist eine wichtige Bezugsgröße zur Bestimmung der Nährstoffausstattung von Böden. Es handelt sich dabei um den prozentualen Anteil der Summe von austauschbarem Ca, Mg, K und Na (Kationenbasen) an der Kationenaustauschkapazität. Abbildung 2-6 gibt einen Überblick über den prozentualen Anteil der Kationenbasen (KB) und Kationensäuren (KS), d. h. H-, Mn-, Fe- und Al-Ionen bezogen auf die AKe.

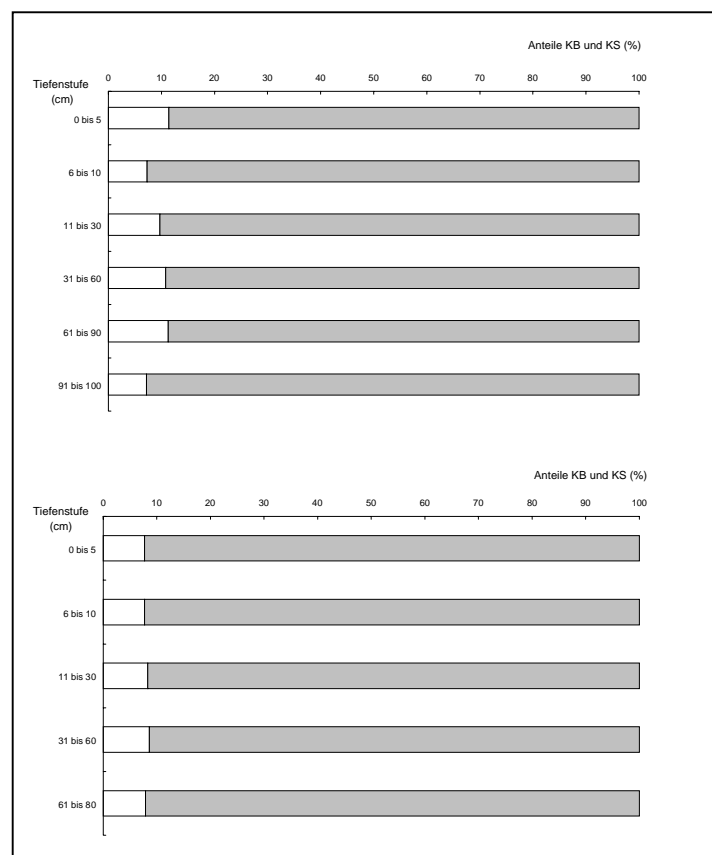


Abbildung 2-6: Analyseergebnisse zur Basensättigung in verschiedenen Tiefenstufen. (FoA Neuhaus, Abt. 145, Profil 304 (oben), Abt. 143, Profil 310 (unten)).

Mit Basensättigungswerten zwischen 8 % und max. 12 % sind die Standorte sowohl auf dem sm2-Standort in Abt. 143 als auch auf dem sm3-Standort in Abt. 145 bei gleichzeitig geringer AKe und niedrigen pH-Werten als vergleichsweise basenarm einzustufen. Vergleichbare Basensättigungswerte zwischen 10 % und 12 % beobachtet BÜTTNER (1994) im Rahmen der Niedersächsischen Bodenzustandserhebung (BZE). Bei sonst relativ guten bodenphysikalischen Eigenschaften kann demzufolge die Nährstoffversorgung als mäßig mit Tendenz zu noch ziemlich gut beurteilt werden. Überraschend ist die schwache Basenausstattung auf dem sm3-Standort, der durch tonige Grenzschichten charakterisiert ist. Sie ist zwar geringfügig höher als im Bereich der oberen Stufen der Buntsandsteinformation sm2, jedoch wäre bei den feldmäßig als günstig angesprochenen Bodeneigenschaften eine bessere Basenausstattung zu erwarten gewesen.

In einer Gesamtwertung bestätigen damit auch die repräsentativen chemischen Analysewerte, dass die Nährstoffversorgung im Bereich der Versuchsflächen als relativ homogen bewertet werden kann.

Humusauflage

Die Humusform als Ausdruck des biologischen Bodenzustandes lässt Rückschlüsse auf Art und Geschwindigkeit der Streuzersetzung und damit auf den Stickstoffumsatz zu. Die Umsatzbedingungen der organischen Substanz können mit Hilfe des C/N-Verhältnisses beurteilt werden. Je enger dieses Verhältnis ist, desto höher ist i. d. R. die Humusmineralisation und -umsetzung und damit die N-Versorgung der Bestände. Tabelle 2-6 sind die ermittelten C/N-Verhältnisse der zwei Bodenprofile sowie die in H₂O gemessenen pH-Werte in der OH-Auflage als Bezugshorizont zu entnehmen. Die morphologische Humusform wurde für beide Profile als humusarmer Moder bestimmt.

Tabelle 2-6: C/N-Verhältnisse, pH-(H₂O)Werte und morphologische Humusform für die analysierten Bodenprofile.

Profil/Abteilung	C/N	PH-H ₂ O	Humusform
Nr. 304/Abt.145	19	3,75	haMo – humusarmer Moder
Nr. 310/Abt.143	19	3,98	haMo – humusarmer Moder

Demnach decken sich in beiden Profilen die C/N-Verhältnisse und gemessenen pH-Werte mit der angesprochenen Humusform. Regenwürmer treten unter diesen Bedingungen stärker zurück, Arthropoden überwiegen. Die Streuzersetzung findet fast ausschließlich in der organischen Auflage statt und verläuft vergleichsweise langsam. Größere Mengen Stickstoff sind im Humus gebunden und stehen den Pflanzen nicht zur Verfügung.

Infolge anthropogener Einflüsse wie Streunutzung, Bodenbearbeitung, Immissionsbelastungen und Kalkungen sind Differenzen zwischen den morphologischen Merkmalen der Humusform und den analysierten chemischen Kennwerten häufig zu beobachten. So führen N-Einträge aus der Luft häufig zu engen C/N-Werten, während hingegen die morphologisch angesprochenen Humusformen eher weitere C/N-Werte erwarten lassen. Diese Erscheinung ist überraschenderweise bei keinem der beiden analysierten Profile zu beobachten.

2.5.3 Klimatische Verhältnisse

Das Klima des Wuchsbezirks „Unterer Solling“ wird von OTTO (1989) als ausgeprägtes Berglandklima charakterisiert. Kennzeichnend für das humide, kühle Klima sind hohe durchschnittliche Niederschlagssummen von 900 mm/Jahr, eine hohe relative Luftfeuchtigkeit von 82,5° C sowie geringe Jahresdurchschnittstemperaturen von 7,5° C bzw. 13,4° C in der forstlichen Vegetationszeit von Mai bis September. Die Jahresschwankung der Temperatur beträgt 16,5° C und weist damit gleichermaßen auf das vorherrschende Berglandklima hin. Tabelle 2-7 sind die wichtigsten durchschnittlichen Klimakenngrößen für den Wuchsbezirk „Unterer Solling“ zu entnehmen.

Tabelle 2-7: Wichtige Klimakenngrößen für den Wuchsbezirk „Unterer Solling“ sowie Vergleich mit modellierten Klimawerten (grau hinterlegt: Klimawerte nach OTTO (1989); gelb hinterlegt: Mittelwerte für Niederschlag und Temperatur auf den Versuchsfeldern nach JANSEN et al. (1999)).

Wuchsgebiet		Südniedersächsisches Bergland Unterer Solling	Modellierte Klimadaten mit Flächenbezug
Wuchsbezirk			
-Mittl. Niederschlagssumme im Jahr	(mm)	900	807
-Mittl. Niederschlagssumme in der forstlichen Vegetationszeit (V-IX)	(mm)	420	366
-Mittl. relative Luftfeuchtigkeit/Jahr	(%)	82,5	
-Mittl. Jahresschwankung der Lufttemperatur	(°C)	16,5	
-Mittl. Jahrestemperatur	(°C)	7,5	8,0
-Mittl. Temperatur in der forstlichen Vegetationszeit (V-IX)	(°C)	13,4	14,4
-Frostdauer	(Tage)	105	
-Mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke		63	

Um die klimatischen Verhältnisse der einzelnen Versuchsfelder noch besser zu beschreiben und auf ihre Vergleichbarkeit hin überprüfen zu können (siehe auch HOFFMANN 1990, MAYER u. SCHMIDT 1991), wurden mit Hilfe des Instituts für Forstliche Biometrie und Informatik, Universität Göttingen die durchschnittlichen Niederschlagssummen und Lufttemperaturen auf Grundlage des klimatischen Regionalisierungsmodells von JANSEN et al. (1999) berechnet. Das Modell, mit dessen Hilfe punkthaft vorliegende Klimainformationen auf die Fläche übertragen werden können, basiert auf den Eingangsdaten der verschiedenen Messnetze im Bereich Niedersachsens. Eingangsgrößen in das Regressionsmodell „Niedersächsisches Bergland“ sind sowohl Variablen der geographischen Lage als auch geomorphologische Variablen, wie bspw. Hangneigung und Exposition, die aus einem digitalen Höhenmodell abgeleitet werden. Für die 25 Einzelfelder sind die Ergebnisse der Berechnungen Tabelle 2-8 zu entnehmen. Demnach sind die prognostizierten Niederschläge im Jahresmittel um 107 mm, innerhalb der Vegetationszeit um 54 mm geringer als die durchschnittlichen Niederschlagswerte für den gesamten Wuchsbezirk. Umgekehrt liegt die prognostizierte mittlere Jahrestemperatur um 0,5° C, die mittlere Temperatur in der forstlichen Vegetationszeit sogar um 1,0° C über den Durchschnittstemperaturen für den gesamten Wuchsbezirk.

Fläche	HÖHE ü. NN (m)	NEIGUNG (%)	Mittl. Jahrestemperatur (° C)	Mittl. Temperatur in der forstlichen Vegetationszeit (° C)	Mittl. Niederschlags-summe im Jahr (mm)	Mittl. Niederschlagssumme in der forstlichen Vegetationszeit (mm)
101	271	19	8	14.4	883	384
102	263	19	8.1	14.5	888	385
103	312	13	7.8	14.2	837	375
104	388	10	7.3	13.7	807	361
105	341	11	7.6	14	796	358
106	378	12	7.4	13.7	833	368
107	273	10	7.9	14.3	880	390
108	319	30	7.7	14.1	823	364
109	290	17	7.9	14.3	778	353
110	274	17	8	14.4	767	349
111	260	15	8.1	14.5	767	348
112	338	15	7.6	14	825	364
301	242	10	8.2	14.6	785	363
302	288	8	7.9	14.3	802	370
303	292	7	7.9	14.3	804	371
304	326	2	7.7	14.1	818	377
305	323	2	7.7	14.1	817	376
306	254	23	8.1	14.5	797	367
307	152	21	8.7	15.2	752	349
308	234	3	8.3	14.7	782	362
309	216	11	8.3	14.7	781	360
310	228	10	8.3	14.7	782	361
311	310	5	7.8	14.2	812	374
BL 1.1	218	7	8.4	14.8	771	358
BL 1.2	221	6	8.3	14.7	776	359
Maximum			7.3	13.7	752	348
Minimum			8.7	15.2	888	390
Durchschnitt			8.0	14.4	807	366

Tabelle 2-8: Ergebnisse der prognostizierten Klimakennwerte auf Basis des klimatischen Regionalisierungsmodells von JANSEN et al. (1999).

Tabelle 2-8 zeigt, dass zwischen den einzelnen Versuchsflächen die Temperaturen innerhalb der forstlichen Vegetationszeit um 1,5° C zwischen 13,7° C und 15,2° C schwanken. Die Niederschläge innerhalb der forstlichen Vegetationszeit schwanken um 42 mm zwischen minimal 348 mm und maximal 390 mm.

Die modellierten Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse bestätigen demnach auch die „klimatische Homogenität“ der aufgenommenen Versuchsflächen. Darüber hinaus deuten sie darauf hin, dass die klimatischen Verhältnisse im Bereich der untersuchten Mischbestände treffender als „abgeschwächtes Berglandklima“ einzustufen sind.

3 Methodische Vorüberlegungen

3.1 Auswahl der Datengrundlage für das Wachstumsmodell

3.1.1 Standörtliche Vergleichbarkeit

In einer allen weiteren Auswertungen vorangestellten Gesamtbeurteilung lässt sich die standörtliche Vergleichbarkeit der einzelnen Versuchsflächen zusammenfassend wie folgt charakterisieren:

Nährstoffhaushalt

Ausgangssubstrat der Bodenbildung ist auf allen Flächen der mittlere Buntsandstein. Es handelt sich dabei um die beiden oberen Stufen dieser Buntsandsteinformation (sm2 und sm3). In beiden Stufen finden sich in kleinflächigem Wechsel sowohl sandige als auch tonige Verwitterungsprodukte. Tendenziell überwiegen jedoch beim sm2 die sandigen, beim sm3 die tonigen Ausgangssubstrate. Die Standorte beider Buntsandsteinformationen gleichen sich hinsichtlich ihrer Basenausstattung. So sind pH-Werte und Basensättigung im Bereich des sm3 nur geringfügig höher als im Bereich des Bausandsteins (sm2). Sie liegen jedoch auf vergleichsweise niedrigem Niveau. Auch die rein feldmäßige Bodenansprache lässt keine größeren Unterschiede in der Nährstoffausstattung erkennen.

Wasserhaushalt

Die den Buntsandstein überlagernde Lößdecke ist von relativ einheitlicher Mächtigkeit und schwankt zwischen 40/50-60/70 cm. Bei der Bodenart handelt es sich vorwiegend um sandig-lehmigen Schluff, die Lagerungsdichte wurde einheitlich als locker bis mäßig locker angesprochen. Verdichtungen wurden nur selten und dann nur auf wenigen cm am Übergang zum Cv-Horizont festgestellt, ohne dass jedoch Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und das Wurzelwachstum zu erwarten sind. I. d. R. lagern die Decken locker mit ausgeglichenem Porenverhältnis und guter Durchlüftung. Der Skelettgehalt liegt selten über 10 %. Die typische Wasserhaushaltsstufe ist frisch, teilweise mäßig frisch, d. h. es steht eine nutzbare Wasserkapazität von 130-160 mm zur Verfügung.

Geländelage

Vergleichsweise größere Unterschiede bestehen hinsichtlich Exposition und Hangneigung zwischen den einzelnen Versuchsflächen (siehe Tabelle 2-4). Die in die weiteren Untersuchungen einbezogenen Flächen werden jedoch bezüglich ihrer Geländelage als miteinander

vergleichbar beurteilt. Zwar liegen viele Versuchsflächen auf Standorten, die aus ihrer Umgebung leicht hervorragen, jedoch in nur geringer Höhenlage, so dass eine die Zuwachseleistung der Bäume beeinträchtigende erhöhte Evapotranspiration aufgrund stärkerer Windeinwirkung nicht zu erwarten ist. Extrem der Sonnenstrahlung ausgesetzte Standorte kommen nicht vor.

Alle Versuchsflächen können demnach sowohl hinsichtlich ihrer Nährstoff- und Wasserversorgung als auch ihrer Lage im Gelände als in sich homogen und miteinander vergleichbar angesehen werden.

3.1.2 Durchmesserentwicklung herrschender Bäume

Als weitere wichtige Voraussetzung für die Zusammenstellung und Auswertung der Versuchsflächen als unechte Zeitreihe wurde, in Anlehnung an die Untersuchungen von BIBER (1996), anhand der Durchmesserentwicklung herrschender Bäume überprüft, inwieweit die Bestandesentwicklung als homogen betrachtet werden kann. Dazu wurden die Durchmesser der jeweils fünf stärksten Buchen und Lärchen für die beiden Aufnahmezeitpunkte 1984 und 1994 ermittelt und über dem Alter aufgetragen. Abbildung 3-1 zeigt die Durchmesserentwicklung dieses Kollektivs getrennt nach Buche und Lärche. Für das Kollektiv der stärksten Buchen (Abbildung 3-1 oben und Mitte) lässt sich ein vergleichsweise schmales, homogenes und leicht konkav verlaufendes Band in der Durchmesserentwicklung erkennen. Es wird ersichtlich, dass abweichend von dieser Entwicklung auf sechs Flächen die Durchmesser der herrschenden Buchen zurückbleiben.

Als Ursache dafür können unterschiedliche Ausgangsdichten der aus Naturverjüngung entstandenen Flächen, ggf. auch unterschiedliche Durchforstungsintensitäten vermutet werden. Interessanterweise liegen alle Flächen mit abweichendem Durchmesserentwicklung im südlichen Block der aufgenommenen Versuchsflächen. Diese Beobachtung unterstützt die bereits unter Abschnitt 2.2 erhobene Grundforderung nach räumlicher Nähe der Versuchsflächen zueinander. Die Übergänge in den Durchmesserentwicklungen zwischen den übrigen Flächen erscheinen hingegen fließend und spiegeln damit einen plausiblen Durchmesserwuchsverlauf innerhalb der Wuchstreihenflächen wieder.

Im Gegensatz dazu ist die Durchmesserentwicklung der jeweils fünf stärksten Lärchen auf den vorausgewählten Buchenflächen (Abbildung 3-1 unten) deutlich heterogener. Der vergleichsweise breit streuende Verlauf der Durchmesserentwicklungen wird auf die unterschiedlichen Durchforstungsintensitäten zugunsten der Lärchen auf den Einzelflächen zurückgeführt. Es ist jedoch erkennbar, dass sowohl der obere als auch der untere Rahmen des Streubandes gut ineinander übergehen und damit den insgesamt heterogeneren Durchmesserverlauf der Lärchen gut repräsentieren. Der ineinander übergehende Verlauf der Durchmesserentwicklungen herrschender Buchen und Lärchen auf den selektierten Versuchsflächen erfüllt damit eine weitere wesentliche Voraussetzung, um die Daten als Zeitreihe analysieren zu können. Im Vergleich der Durchmesserwuchsverläufe zwischen Buche und Lärche lassen sich darüber hinaus anhand der Zuwachsverläufe (siehe Abbildung 3-1) bereits Unterschiede in der Wuchsdynamik zwischen den beiden Baumarten erkennen.

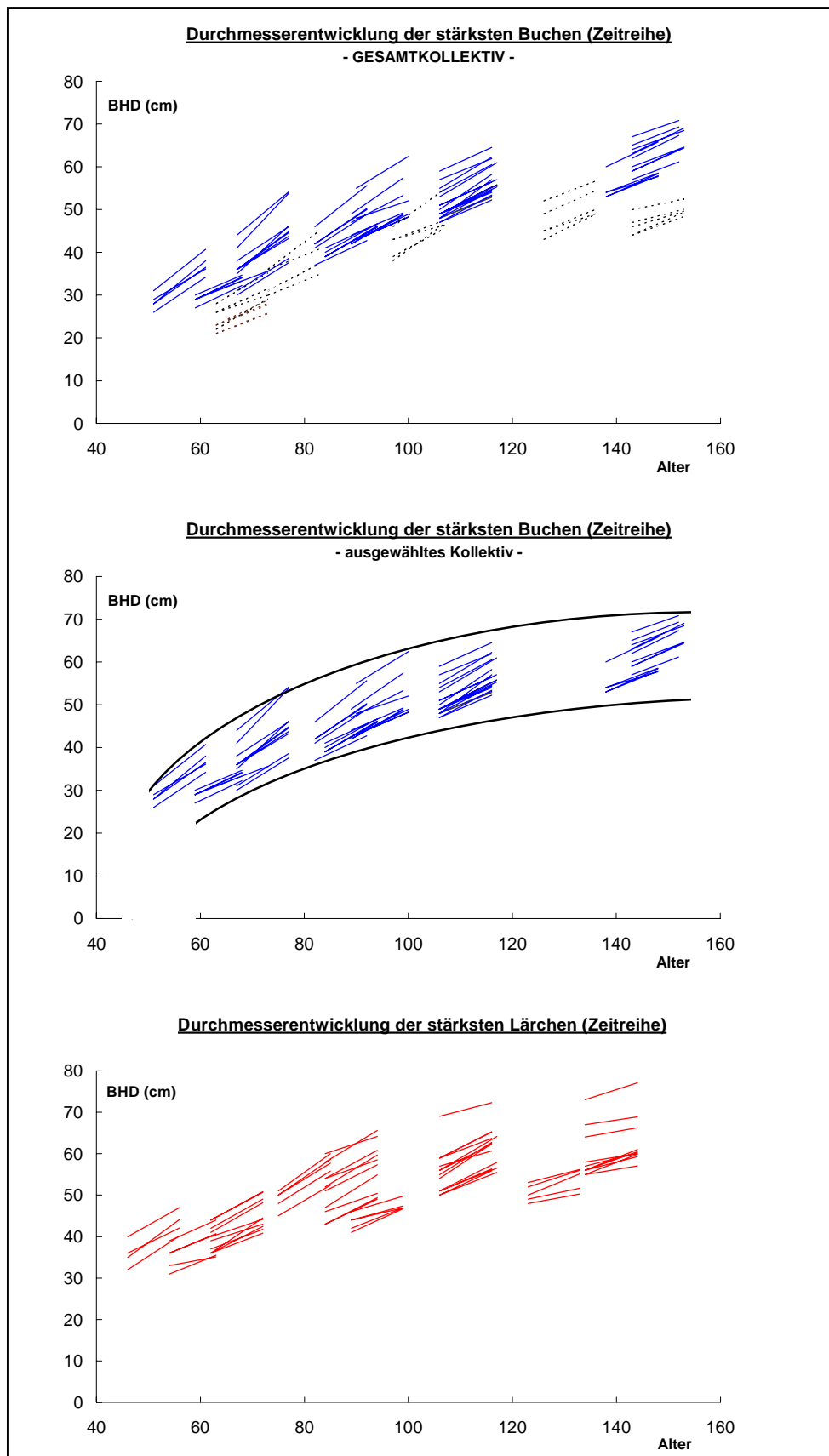


Abbildung 3-1: Durchmesserentwicklung herrschender Buchen (blau) und Lärchen (rot) als unechte Zeitreihe über dem Alter der Versuchsfächen. (Abbildung oben: Versuchsfächen mit abweichender Durchmesserentwicklung als gestrichelte Linien markiert).

So bleiben im Fall der Baumart Buche bei optimalem, nahezu konkurrenzfreiem Wachstum die Durchmesserzuwächse der herrschenden Bäume über dem beobachteten Altersbereich zwischen 50 und 150 Jahren nahezu konstant. Auch im Alter 150 ist noch keine Tendenz nachlassender Durchmesserzuwächse erkennbar. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen von BIBER (1996), der einen vergleichbaren Wachstumsverlauf herrschender Buchen in Buchen-Fichten-Mischbeständen im Alter zwischen 20 und 130 Jahren für die Buche beschreibt.

Im Gegensatz dazu zeichnet sich die Durchmesserentwicklung der Lärchen durch einen zunehmend konvexen Verlauf aus. Die maximalen Durchmesserzuwächse der herrschenden Lärchen werden auf den jüngsten beobachteten Flächen im Alter 40 erreicht, während umgekehrt mit zunehmendem Alter ein zunehmendes Abflachen der Durchmesserzuwächse erkennbar wird.

3.1.3 Datenbasis für die Modellparametrisierung

Basis für die Modellparametrisierung bildet ein Pool von insgesamt 25 Versuchsflächen. 23 dieser Versuchsflächen wurden im Abstand von 10 Jahren 1984 und 1994 ertragskundlich aufgenommen, während von den beiden jüngsten Flächen (Wuchsreihenflächen BL 11. und BL 12.) lediglich die Informationen der Erstaufnahme 1994 für weitere Analysen zur Verfügung stehen. Aufgrund der beschriebenen methodischen Vorüberlegungen sowie der vorausgehenden standörtlichen und bestandesgeschichtlichen Untersuchungen wurden weitere sieben Flächen als Datenbasis für die Modellparametrisierung ausgeschlossen. Im Einzelnen handelt es sich um:

- die Fläche 311, die aufgrund ihrer abweichenden Bestandesentstehung nicht vergleichbar ist. Auf der Versuchsfläche wurde die Buche nachträglich eingebracht, so dass zwischen Buche und Lärche eine Altersdifferenz von 60 Jahren besteht,
- die Flächen 306, 102, 103, 105, 107, 108 aufgrund der deutlich abweichenden Durchmesserentwicklungen herrschender Buchen, die auf abweichende Bestandesbehandlungen in der Vergangenheit hindeuten.

Alle übrigen Flächen können sowohl hinsichtlich ihrer standörtlichen Ausstattung, der klein-klimatischen Rahmenbedingungen sowie ihrer Bestandesentstehung und bisherigen waldbaulichen Pflege als vergleichbar eingestuft werden. Da jedoch nicht alle Versuchsflächen mit gleicher Intensität aufgenommen wurden, basieren die Untersuchungen zu den verschiedenen waldwachstumskundlichen Einzelaspekten bzw. für die Parametrisierung von Teilmodellen auf unterschiedlich umfangreichen Datensätzen. Tabelle 3-1 ist die Zuordnung der Einzelflächen für die unterschiedlichen Auswertungen zu entnehmen.

3.2 Transformation der Kronenmessungen

Ein bereits angesprochenes, mit dem Datenmaterial verbundenes spezielles methodisches Problem trat im Rahmen der Auswertung der wiederholten Kronenablotungen auf. Es besteht darin, dass bei den ersten Kronenablotungen 1984 mit variablen Richtungswinkeln gearbeitet wurde, während hingegen die Folgeinventur 1994 auf Grundlage eines festen Winkelsystems erhoben wurde.

Fläche	Wuchreihe seit 1994	Alter 1994		Verbale Stamm- und Kronenansprache	Ergänzung zum Kronenmodell	Parametrisierung Kronenbreiten- veränderungen	Parametrisierung Durchmessermodell	Parametrisierung Höhenmodell	Ertragskundliche Analyse
		Buche	Lärche						
BL11	BL11	40	34	X	X			X	X
BL12	BL12	47	40	X	X			X	X
301	BL13	61	56		X			X	X
101		69	64	X				X	X
302	BL14	77	72		X	X	X	X	X
303		77	72			X	X	X	X
304		92	85			X	X	X	X
305	BL15	94	94		X	X	X	X	X
106		99	99	X				X	X
104		100	94	X		X	X	X	X
307	BL16	116	116		X	X	X	X	X
308		116	116					X	X
309		116	116					X	X
310		116	116			X	X	X	X
109		148	133	X		X	X		X
110	BL17	153	144	X	X			X	X
111		153	144	X		X	X		X
112		158	158	X		X	X	X	X
18	7			9	7	10	10	16	18

Tabelle 3-1: Verwendung der Versuchsflächen für die verschiedenen waldwachstumskundlichen Auswertungen sowie für die Parametrisierung der unterschiedlichen Teilmodelle.

Nach der Beschreibung von DIPPEL (1988) wurden die Kronenablotungen 1984 an einem besonders markanten Ast begonnen, die weiteren Messungen, insgesamt acht je Baum, erfolgten von dort ausgehend im Uhrzeigersinn. Der nächste Radius wurde dann gemessen, wenn die theoretische Verbindung zum zuletzt gemessenen nicht mehr "gerade" oder eine Messung zu einem konkurrierenden Nachbarbaum sinnvoll erschien. Demgegenüber wurden im Rahmen der Zweitaufnahme 1994 die Kronenradien nach dem Standardverfahren der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt abgelotet. Das Verfahren arbeitet mit festen Richtungswinkeln in 50 Gon-Schritten. In Nordrichtung beginnend werden acht Radien je Baum abgelotet, wobei die Ablotungen mit einem kardanisch aufgehängten Kronenspiegel und Ultraschall-Entfernungsmessern durchgeführt werden.

Um die Ergebnisse der beiden Kronenablotungen dennoch miteinander vergleichen zu können und daraus Rückschlüsse zwischen den individuellen Nachbarschaftsverhältnissen und richtungsspezifischen Kronenbreitenveränderungen abzuleiten, mussten die Ergebnisse der Kronenablotungen 1984 auf das feste 50 Gon-Winkelsystem der Zweitaufnahme rechnerisch transformiert werden. Die Vorgehensweise ist in Abbildung 3-2 schematisch dargestellt.

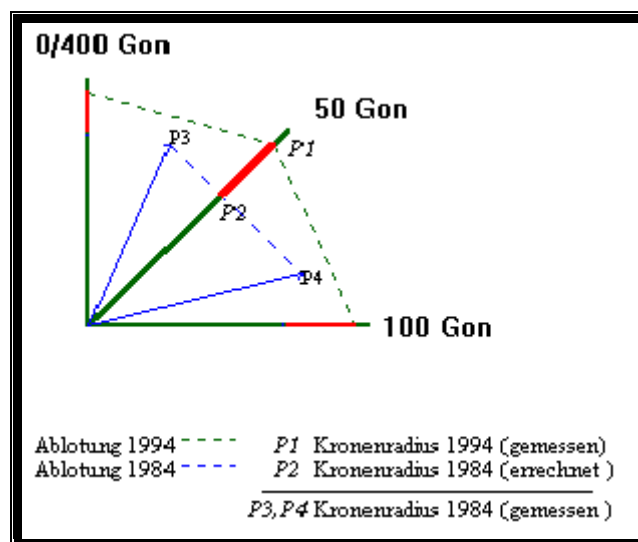


Abbildung 3-2: Rechnerische Transformation der Kronenablotungen 1984 auf das feste Winkelsystem der Zweitaufnahme 1994. Aus den 1984 gemessenen Kronenradien an den Punkten P3 und P4 wird auf rechnerischem Weg der "transformierte Kronenradius" am Punkt P2 (50 Gon) hergeleitet. Die Differenz der Kronenradien an den Punkten P1 (gemessener Kronenradius) und P2 (errechneter Kronenradius) wird im dargestellten Fall als positive horizontale Kronenbreitenveränderung interpretiert.

Die mathematische Herleitung der vorgenommenen Kronentransformationen basiert auf dem Sinus- und Kosinussatz und deren Gültigkeit im ebenen Dreieck. Abbildung 3-3 sind die erforderlichen Strecken- und Winkelberechnungen im Einzelnen zu entnehmen. Ausgehend von den 1984 gemessenen Radien werden in jedem als Dreieck aufgespannten Sektor die fehlende Strecke c sowie die fehlenden Winkel β und γ ergänzt (Abbildung 3-3, Schritt 1 bis 3). Im darauf konstruierten zweiten Dreieck berechnet sich der Winkel α^* aus der Differenz zwischen α und der fortgeschriebenen Winkelsumme des jeweiligen Sektors. Der fehlende Winkel β^* leitet sich in dem konstruierten Dreieck aus der Differenz zur Summe der Innenwinkel (180 Grad) ab, die gesuchte Strecke c^* durch Umstellung des Sinussatzes (Abbildung 3-3, Schritt 4 bis 6.). Die Berechnung wurde mit Hilfe des Programmbausteins "MAWI" automatisiert (NAGEL 1996a).

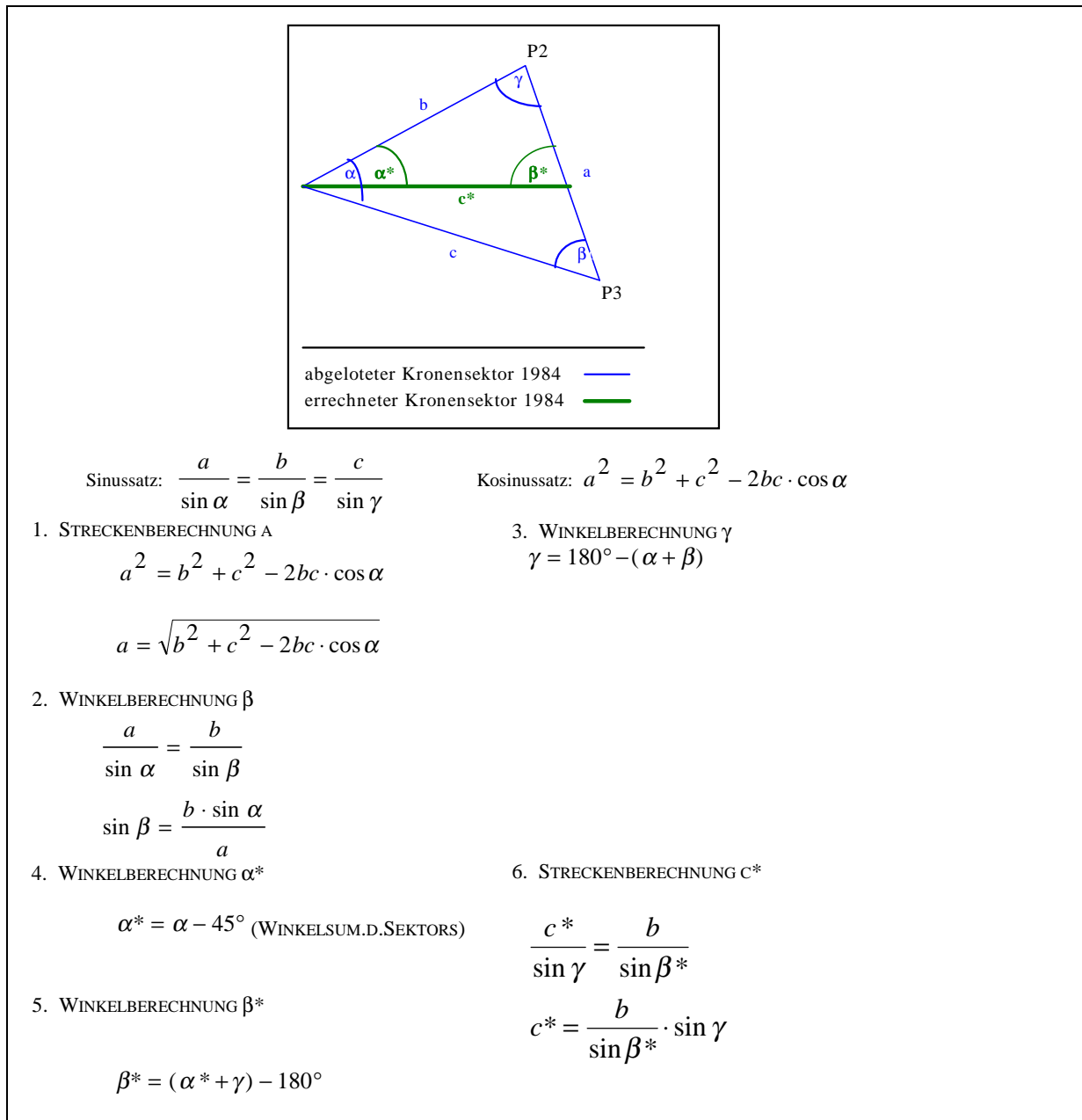


Abbildung 3-3: Winkel- und Streckenberechnungen auf Grundlage des Sinus- und Kosinussatzes zur rechnerischen Transformation der Kronenablotungen.

So hatte das 1984 gewählte Aufnahmeverfahren das vorrangige Ziel, mit Hilfe flexibler Winkel möglichst genau die maximale horizontale Kronenausformung zur Einschätzung der individuellen Konkurrenzkraft zu erfassen. Zudem waren die Ablotungen als einmalige Aufnahme geplant (DIPPEL 1988). Durch die Ablotungen in einem festen Winkelsystem, wie es der Aufnahme 1994 zugrunde liegt, bleibt es hingegen dem Zufall überlassen, ob im Einzelfall tatsächlich maximale Kronenradien oder nicht viel mehr als eine „mittlere“ Kronenausformung erfasst werden. Andererseits haben sich die Kronenablotungen auf Basis eines fest vorgegebenen Winkelsystems als rationelles Arbeitsverfahren bewährt, um möglichst rasch einen großen Datenpool für die Parametrisierung von Kronenbreitenfunktionen aufzubauen (NAGEL 1999).

Abbildung 3-4 ist das Ergebnis der rechnerischen Kronentransformation am Beispiel einer Einzelkrone zu entnehmen. Das Beispiel zeigt, dass je nach Aufnahmeverfahren eine mehr

oder minder starke systematische Unterschätzung der Einzelbaumschirmfläche verursacht wird und verdeutlicht damit zugleich eine grundsätzliche methodische Schwäche des standardisierten Aufnahmeverfahrens auf Grundlage eines festen Winkelsystems.

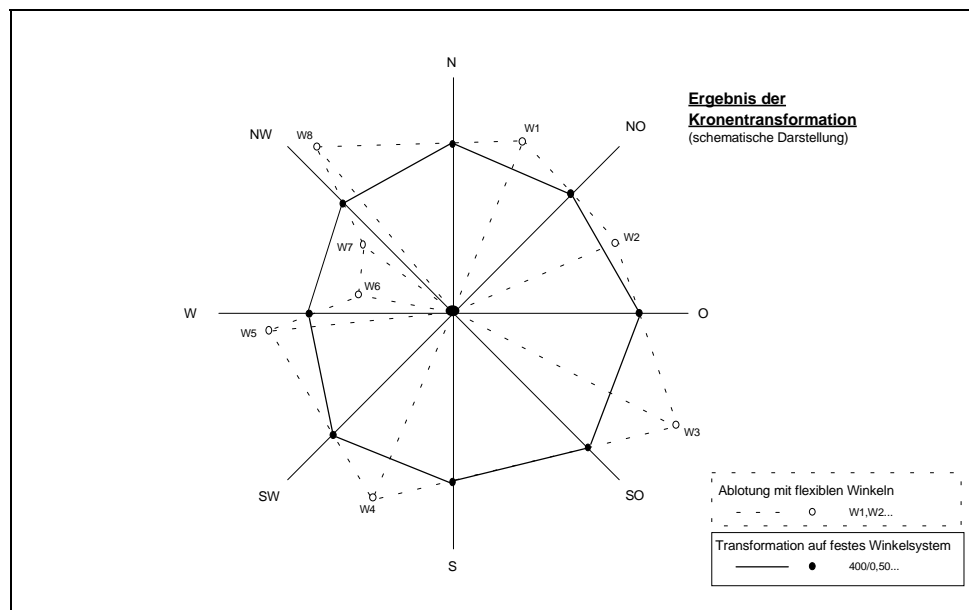


Abbildung 3-4: Schematische Darstellung der Kronentransformation am Beispiel einer Einzelkrone.

3.3 Zum Begriff der Kronenplastizität - Dynamisierung von Kronenmodellen

Die Veränderung von Kronendimensionen, speziell die horizontale Verschiebung der Kronenperipherie, wird in allen vier eingangs erwähnten Wachstumssimulatoren (siehe Kapitel 1.1) über den BHD angesteuert. Aufgrund der Modellansätze können die Kronenbreiten bzw. Kronendurchmesser mit steigendem BHD nur stetig zunehmen und beeinflussen ihrerseits über die Veränderung der Kronendimension/Kronenmantelfläche den laufenden Durchmesserzuwachs. Aufgrund dieser Kopplung von Durchmesserzuwachs und Kronenbreitenveränderungen sind diese Modellansätze biologisch unplausibel. Darüber hinaus verwenden alle gegenwärtigen Simulatoren kreisrunde, symmetrische Modellkronen.

Horizontale Kronenbreitenveränderungen in Form von Kronenexpansionen bzw. der Verkleinerung der Kronenperipherie als Reaktionsmuster von Einzelbäumen auf sich verändernde Nachbarschafts- und Konkurrenzverhältnisse bleiben hingegen unberücksichtigt. Je nach Baumart, Bestandesentwicklung und individueller Standraumsituation sind jedoch in realiter exzentrische Kronenausformungen weitaus häufiger zu beobachten als die Ausbildung symmetrischer, kreisrunder Kronen. Anhand zahlreicher waldbaulicher Einzelbeispiele ist bekannt, wie plastisch Kronen auf Standraumerweiterungen bzw. zunehmenden Dichtschluss mit Kronenregenerationen bzw. umgekehrt deutlichen Kronenverkleinerungen reagieren können (MITSCHERLICH et al. 1965/1966, MITSCHERLICH 1970, PETRI 1966, 1972, ROUVINEN et al. 1997). Die Krone spiegelt damit weithin sichtbar den aktuellen Pflegezustand des Einzelbaumes wieder.

Des Weiteren ist zu erwarten, dass durch die Verwendung kreisrunder, symmetrischer Kronenmodelle modellimmanente Bestandesstrukturen erzeugt werden, die die individuellen Konkurrenzsituationen im jeweiligen Einzelfall unter- bzw. überschätzen. Konkurrenz kann

demzufolge überschätzt bzw. unterschätzt werden und damit die Treffsicherheit von Zuwachsprognosen beeinflussen.

Auf allen neueren Versuchsflächen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt werden im Rahmen ertragskundlicher Aufnahmen standardmäßig Kronenansätze gemessen und Kronenablotungen durchgeführt. In Ergänzung dazu wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen an einer Serie von Buchen-Lärchen-Mischbeständen erstmals auch die Höhe der maximalen Kronenbreite als Übergang zwischen Licht- und Schattkrone gemessen.

Höhe der maximalen Kronenbreite

Die von BURGER (1939a) eingeführte Unterteilung der Krone in Licht- und Schattkrone basiert auf Untersuchungen über den Umfang, die Verteilung und die morphologischen Unterschiede der Benadelung von Fichtenkronen. Vergleichbare Untersuchungen wurden von BADOUX (1939) an der Baumart Buche durchgeführt. Die festgestellten Unterschiede in Art und Umfang der Belaubung/Benadelung zwischen Licht- und Schattkrone dürfen jedoch nicht als fixe Grenzlinien verstanden werden, sondern weisen vielmehr darauf hin, dass der Lichthabitus einer Krone im Bestandesgefüge mit Abnahme der Beleuchtungsstärke von oben nach unten und von außen nach innen fließend in einen Schattenhabitus übergeht (MITSCHERLICH 1970).

Der Wachstumssimulator „**BwinPro**“ (NAGEL 1999) unterstellt bei der Berechnung der Kronenmantelfläche für alle Baumarten ein apollonisches Paraboloid als vereinfachten Modellkörper. Weitaus differenzierter und dementsprechend komplexer sind hingegen die Kronenmodelle, die dem Wachstumssimulator „**Silva**“ zugrunde liegen (PRETZSCH 1992c). Je nach Baumart wird die Kronenmantelfläche mit Hilfe unterschiedlicher Modellkörper getrennt nach Licht- und Schattkrone hergeleitet. In Anlehnung an die Untersuchungen von BADOUX (1939) wird dabei bspw. für die Baumart Buche der Übergang zwischen Licht- und Schattkrone bei 40 % der Kronenlänge von der Baumspitze aus fixiert. Der Modellansatz unterstellt jedoch über die gesamte Bestandesentwicklung hinweg konstante Längenverhältnisse zwischen Licht- und Schattkrone. Ähnlich statisch wird in dem Wachstumssimulator „**BwinPro**“ die Schnittebene zur Berechnung des Kronenkonkurrenzindex C_{66} für den Einzelbaum in einer Höhe von 66 % der Kronenlänge von der Baumspitze aus festgelegt und damit die Höhe der maximalen Kronenbreite indirekt fixiert.

Horizontale Kronenbreite

Das niedersächsische Standardverfahren zur Ablotung von Kronen arbeitet mit festen Richtungswinkeln in 50-Gon-Schritten. In Nordrichtung beginnend werden acht Radien je Baum erfasst, wobei die Ablotungen mit einem kardanisch aufgehängten Kronenspiegel und Ultraschall-Entfernungsmessern durchgeführt werden. Kronenablotungen auf Basis eines fest vorgegebenen Winkelsystems haben sich in der Vergangenheit als rationelles Arbeitsverfahren bewährt, um möglichst rasch einen großen Datenpool an Kronenbreitenmessungen aufzubauen. Die erhobenen Daten finden in Form von Mittelwerten aus den jeweils acht Ablotungen je Baum Eingang in die Parametrisierung von Kronenbreitenfunktionen.

Es handelt sich dabei um lineare, logarithmische bzw. exponentielle Funktionstypen, die auf der straffen allometrischen Grundbeziehung zwischen BHD und Kronendurchmesser basieren (SPIECKER 1991, 1999). Abbildung 3-5 sind die derzeit verwendeten Kronenbreitenfunktionen zu entnehmen. Wie am Beispiel einer Einzelfläche für die Baumart Buche dargestellt ist, liegt

allen Modellansätzen zugrunde, dass mit zunehmendem BHD die Kronenbreite stetig zunimmt, negative horizontale Kronenbreitenveränderungen (Kronenverkleinerungen) jedoch nicht modelliert werden können.

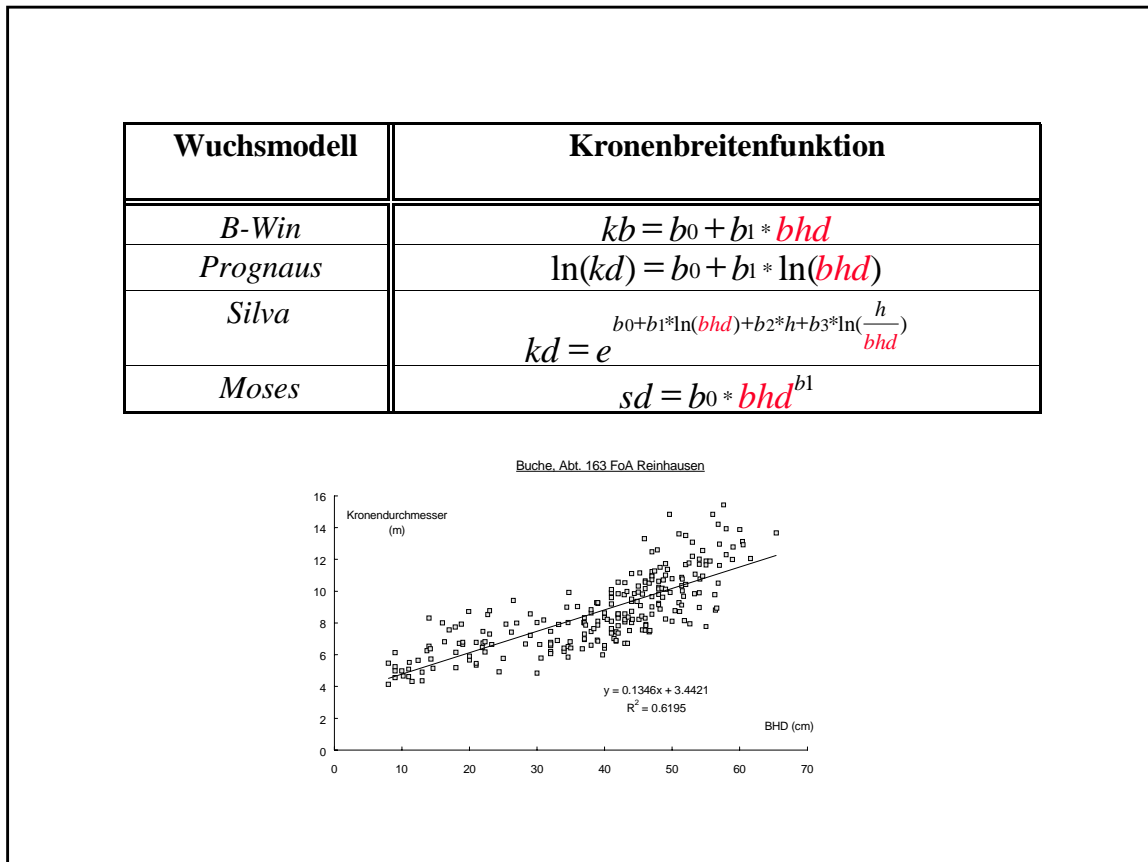


Abbildung 3-5: Übersicht verwendeter Kronenbreitenfunktionen basierend auf der allometrischen Grundbeziehung zwischen Durchmesser und Kronenbreite. (Variablenbezeichnungen: kb = Kronenbreite, kd = Kronendurchmesser, sd = Schirmdurchmesser, h = Baumhöhe, bhd = Brusthöhendurchmesser, b_0 , b_1 , b_2 , b_3 = baumartenspezifische Funktionsparameter. Unten: Beispiel einer linearen Kronenbreitenfunktion für einen 117-jährigen Buchenbestand im FoA Reinhausen).

Übereinstimmend werden in allen vier Wachstumssimulatoren die unterschiedlichen Kronenmodelle auf Grundlage kreisrunder Rotationskörper modelliert. Dieser Ansatz leitet sich aus dem Algorithmus, mit dem die Kronenbreiten und Kronenbreitenveränderungen berechnet werden, ab, vereinfacht jedoch die tatsächlichen Verhältnisse im dreidimensionalen Kronenraum. MITSCHERLICH (1970) betont, dass insbesondere die individuelle Kronenentwicklung stark durch die nachbarschaftliche Konkurrenz geprägt wird. Insbesondere die gering mitherrschenden und die zwischenständigen Bäume, die in starker nachbarschaftlicher Konkurrenz stehen, haben daher die vielfältigsten exzentrischen Kronenformen.

Um diese Aussage zu unterlegen, wurden am Beispiel der Baumart Buche die gemessenen Einzelradien mit dem gemittelten durchschnittlichen Radius des jeweiligen Bezugsbaumes in Relation gesetzt. Das Ergebnis ist in Abbildung 3-6 dargestellt. Der prozentuale Vergleich lässt erkennen, dass Abweichungen des tatsächlich gemessenen Radius in fixen 50-Gon Abständen vom mittleren Radius im Rahmen zwischen +/- 100 % streuen. Bei Messung der

extremen Kronenbreiten, d. h. Kronenablängen mit flexiblen Winkeln wären noch grössere Abweichungen zu erwarten.

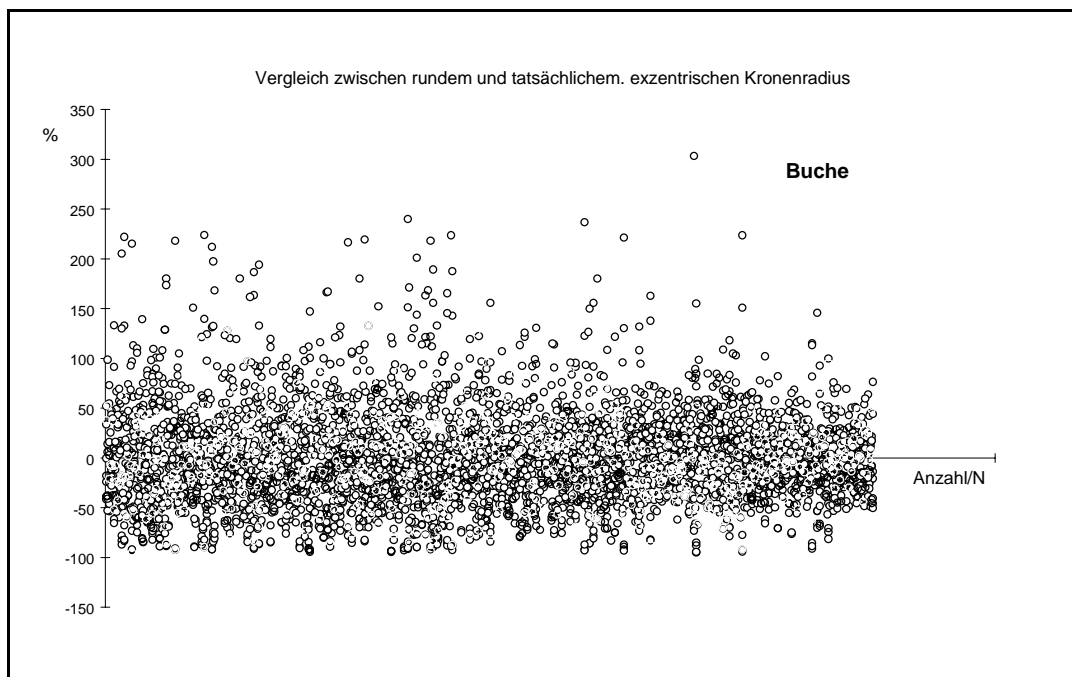


Abbildung 3-6: Relative Beziehung zwischen gemessenen tatsächlichen Radien und gemitteltem Durchschnittsradius am Beispiel der Baumart Buche.

Aufgrund der beschriebenen Schwächen der derzeit verwendeten Kronenmodelle sowie der Modellansätze zur Prognose von Kronenbreitenveränderungen sollten im Rahmen der Modellparametrisierung die erhobenen Einzelbauminformationen dazu genutzt werden, „dynamische“ Kronenmodelle für Buche und Lärche im Mischbestand zu entwickeln. Ziel dieser „Dynamisierung“ ist:

- (1) variable Anteile von Licht- und Schattkrone in Abhängigkeit von der individuellen Höhe des Einzelbaumes, dem Alter oder der sozialen Stellung innerhalb des Bestandes flexibel einzuschätzen, anstatt von unterstellten konstanten Längenverhältnissen auszugehen, sowie
- (2) richtungsspezifische Kronenbreitenveränderungen zu prognostizieren, die in Abhängigkeit von individuellen Nachbarschaftsverhältnissen geprägt werden und mehr oder minder starke Kronenexzentrizitäten zur Folge haben, anstatt vereinfachte, kreisrunde Modellkörper zu verwenden.

4 Ergebnisse

4.1 Voruntersuchungen zur Kronenausformung und Kronenbreitenveränderung von Buchen und Lärchen im Reinbestand

Als Ergänzung der zur Verfügung stehenden wiederholten Kronenablotungen aus Buchen-Lärchen-Mischbeständen wurden Voruntersuchungen sowohl zur Kronenausformung als auch zur horizontalen Kronenbreitenveränderung mit Hilfe von Datenmaterial aus Reinbeständen durchgeführt. Wenn auch die Aussagefähigkeit aufgrund der schmalen Datenbasis eingeschränkt ist, war es doch beabsichtigt, einerseits Einblick in die Dynamik horizontaler Kronenbreitenveränderungen zu bekommen und daraus das weitere methodische Vorgehen abzuleiten, andererseits sollte die Größenordnung der auf Grundlage der rechnerischen Kronentransformation hergeleiteten Radienzuwächse abgesichert werden.

4.1.1 Buchendurchforstungsversuch Dillenburg

4.1.1.1 Versuchsanlage

Der Buchendurchforstungsversuch Dillenburg wurde 1930 von Wiedemann angelegt. Seit 1952 wurden insgesamt 10 ertragskundliche Aufnahmen durchgeführt und ausgewertet. Die letzte Aufnahme, bei der auch Kronenablotungen durchgeführt wurden, stammt aus dem Jahr 1994.

Die **Versuchsanlage** befindet sich im Wuchsbezirk Westliches Lahn-Dill-Bergland, Wuchsgebiet Nördliches Hessisches Schiefergebirge. Der Jahresdurchschnittsniederschlag beträgt 900 mm, in der forstlichen Vegetationszeit von Mai bis September werden durchschnittlich 405 mm gemessen. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 6,7° C. Die Versuchsanlage selbst liegt in Mittelhanglage auf einer Höhe von ca. 550 m ü. NN und ist schwach nach Nordwesten exponiert. Ausgangsgestein ist Diabas-Hangschutt mit geringen Anteilen oberdevonischer Tonschiefer bzw. Sandstein sowie Lößresten. Bodentypologisch hat sich eine tiefgründige Braunerde entwickelt. Die Wasserversorgung ist aufgrund des Hangwasserzuzuges als günstig zu beurteilen, wobei der nördliche Teil der Versuchsanlage besser, der westliche Teil hingegen durch den nahen Wegeanschnitt etwas ungünstiger einzustufen ist.

Der Versuch umfasst insgesamt 6 Parzellen von jeweils 2500 m² Größe. In Anlehnung an die Anleitung zur Ausführung von Durchforstungs- und Lichtungs-Versuchen des Vereins Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten (ANONYMUS 1902) wurden mit Begründung und Etablierung des Versuches fünf Durchforstungsvarianten eingerichtet. Es handelt sich dabei um je eine Parzelle mit schwacher (Null-Fläche), mäßiger und starker Niederdurchforstung, zwei Parzellen mit schwacher Hochdurchforstung sowie eine Schnellwuchsfläche (Lichtung). Die Entwicklung der Stammzahl- und Grundflächenhaltung in dem knapp 70-jährigen Beobachtungszeitraum ist, getrennt nach Behandlungsvarianten, Abbildung 4-1 zu entnehmen.

Sowohl bei der Entwicklung der Stammzahlen als auch der Grundflächenhaltung fällt ein deutlicher Gradient zwischen den Flächen auf, der auf die unterschiedliche waldbauliche Behandlung in den vergangenen 42 Jahren zurückzuführen ist. Als Referenzfläche eingerichtet, hat die Null-Fläche im Alter 56 eine Stammzahl von knapp 2400 Buchen/ha, die sich bis 1994 aufgrund dichtebedingter Mortalität bis auf eine Stammzahl von rd. 850 Buchen/ha reduziert. Überproportionale Ausfälle, die sich vor allem auf den Buchenunterstand konzentrieren, sind besonders in der ersten Hälfte des Beobachtungszeitraumes zu verzeichnen. Das

zweite Extrem, die Schnellwuchsfläche (Lichtung), hat im Alter von 56 eine Stammzahlhaltung von knapp 700 Buchen/ha, die bis 1994 auf rd. 150 Buchen/ha kontinuierlich abgesenkt wurde. Die Stammzahlen der übrigen Behandlungsvarianten liegen zwischen den genannten Extremen.

Parallel dazu steigt in dem 42-jährigen Beobachtungszeitraum die Grundflächenhaltung auf der Null-Fläche von 35 m² auf 45 m²/ha. Im Gegensatz dazu liegt die Grundflächenhaltung auf der Schnellwuchsfläche (Lichtung) zum Zeitpunkt der Erstaufnahme bei rd. 17 m² und nimmt bis 1994 im Alter von 99 Jahren nur geringfügig auf knapp 20 m² zu.

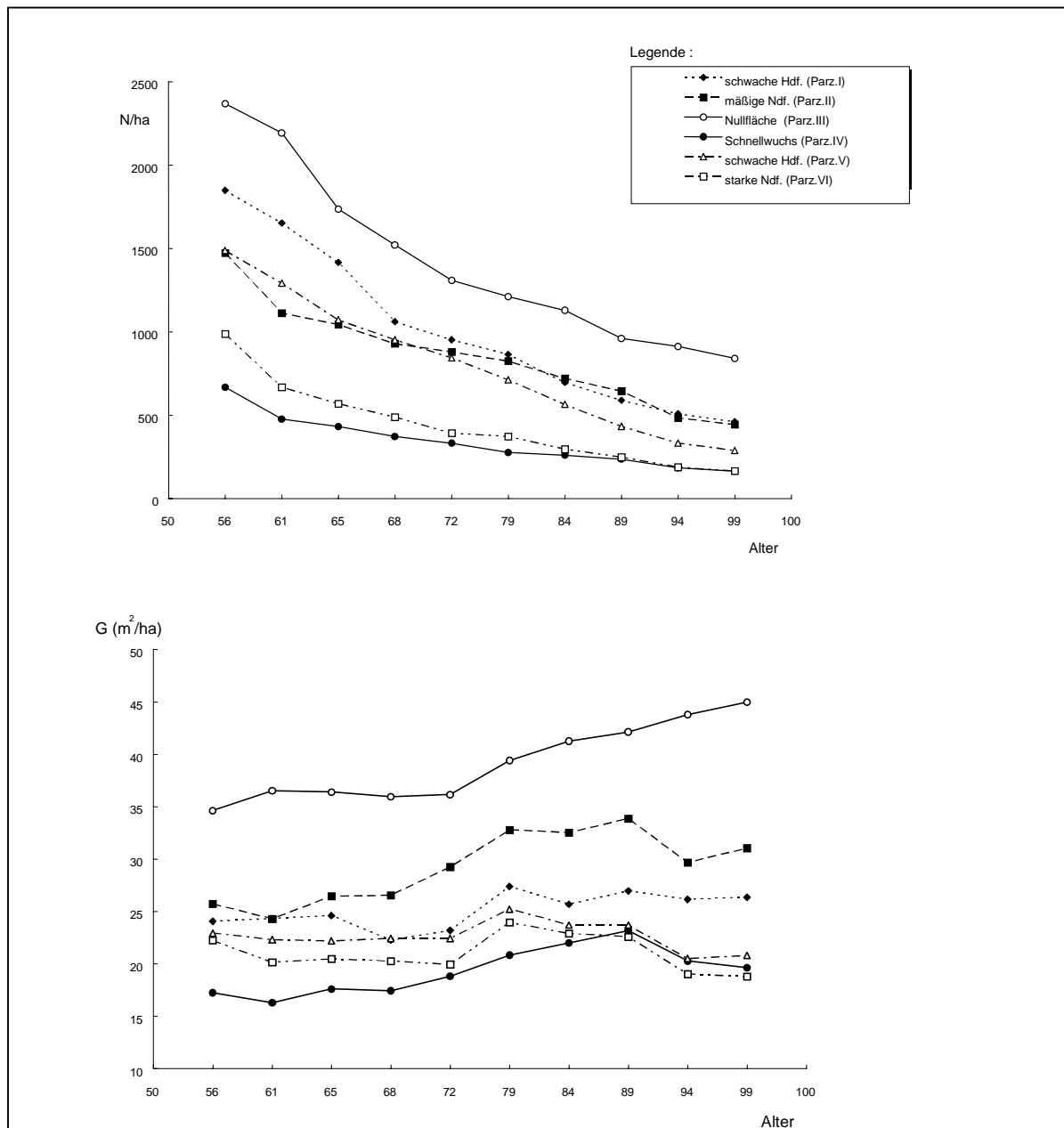


Abbildung 4-1: Entwicklung der Stammzahl- und Grundflächenhaltung im Buchendurchforstungsversuch Dillenburg, Abt. 33 vom Alter 56-99.

Vergleichbar mit der Stammzahlhaltung lässt sich auch bei der Grundflächenentwicklung der übrigen Parzellen ein Gradient beobachten, der sich auf die unterschiedlichen Behand-

lungsvarianten zurückführen lässt. Die sechs Versuchspartellen spiegeln damit deutlich den Einfluss der mit Versuchsbeginn festgelegten und konsequent ausgezeichneten unterschiedlichen Durchforstungsvarianten wieder. Aufgrund der Beobachtung, dass sich die unterschiedlichen Behandlungsvarianten auch in der Kronenausbildung und Kronendimension des Einzelbaumes widerspiegeln, wurden 1994 die Kronen des verbleibenden Bestandes abgelotet. Im Vordergrund stand dabei die Frage, ob sich ein Zusammenhang zwischen der Kronenausformung und den verschiedenen Behandlungsvarianten erkennen lässt. Darüber hinaus sollten die Datensätze dazu verwendet werden, die Überschirmungsverhältnisse zu analysieren.

4.1.1.2 Bestandesbehandlung und Kronenausformung

Der Einfluss der unterschiedlichen Durchforstungsvarianten auf die Kronenausformung ist Abbildung 4-2 zu entnehmen. Dargestellt ist die durchschnittliche Kronenexzentrizität (KR%) getrennt nach den acht Himmelsrichtungen, in denen die Kronen abgelotet wurden. Aus dem Vergleich mit der Kreisform (durchgezogene 100 %-Linie) lässt sich erkennen, ob und in welcher Größenordnung die Kronen der unterschiedlichen Behandlungsvarianten mehr oder weniger stark exzentrisch ausgeprägt sind.

Abbildung 4-2 lässt einen deutlichen Unterschied der mittleren Kronenausformung zwischen den beiden Extremvarianten Null-Fläche und Schnellwuchsfläche sowie den übrigen Nieder- und Hochdurchforstungsvarianten erkennen. So ist die mittlere Kronenexzentrizität der Buchen sowohl auf der Null-Fläche als auch auf der Schnellwuchsfläche vergleichsweise gering und schwankt in einem schmalen Wertebereich zwischen 90 % und 110 % im Vergleich zur Kreisform. Im Gegensatz dazu sind die Buchenkronen aller übrigen Behandlungsvarianten mehr oder minder stark exzentrisch ausgeprägt. Mit Werten zwischen 60 % und annähernd 150 % weicht die mittlere Kronenausformung in Parzelle II, mäßige Niederdurchforstung, am deutlichsten von der Kreisform ab. Für die übrigen Durchforstungsvarianten wurden Werte zwischen 80 % und 120 % ermittelt. Auffällig ist dabei der einheitliche Trend, wonach in nord- bis südöstlicher Richtung die Kronen im Vergleich zur idealisierten Kreisform geringer ausgeprägt sind, während in süd- bis nordwestlicher Himmelsrichtung die Kronen weitaus stärker ausgebildet sind. Die Buchenkronen der Lichtungsvariante zeigen lediglich eine schwache, jedoch ähnlich ausgeprägte, himmelsrichtungsabhängige Tendenz ihrer Kronenausformung.

4.1.1.3 Überschirmung

Neben den Bemühungen, mit Hilfe geometrischer Modellkörper Baumkronen hinreichend genau zu erfassen, um über die abgeleiteten Parameter Kronenmantelfläche und/oder Kronenvolumen den Zuwachs des Einzelbaumes prognostizieren zu können, sind realistische Vorstellungen vom individuellen räumlichen Ausmaß und der Entwicklung der Einzelkrone im Bestandesgefüge erforderlich, um den Einfluss der Überschirmung auf die Entwicklung der Verjüngung modellieren zu können. In allen lichtökologischen Verjüngungsmodellen sind daher die Erfassung und Abbildung des dreidimensionalen Kronenraumes sowie Vorstellungen über horizontale und vertikale Veränderungen von Einzelkronen im Bestandesgefüge von zentraler Bedeutung. So belegen die Untersuchungen von BRUNNER (1999) in Zusammenhang mit der Kalibrierung des Lichtmodells „tRAYci“, dass u. a. unrealistische Kronenmodelle in Form symmetrischer Rotationskörper zu deutlichen Abweichungen zwischen Modellvorhersage und gemessenem Strahlungsangebot in der Verjüngungsschicht führen.

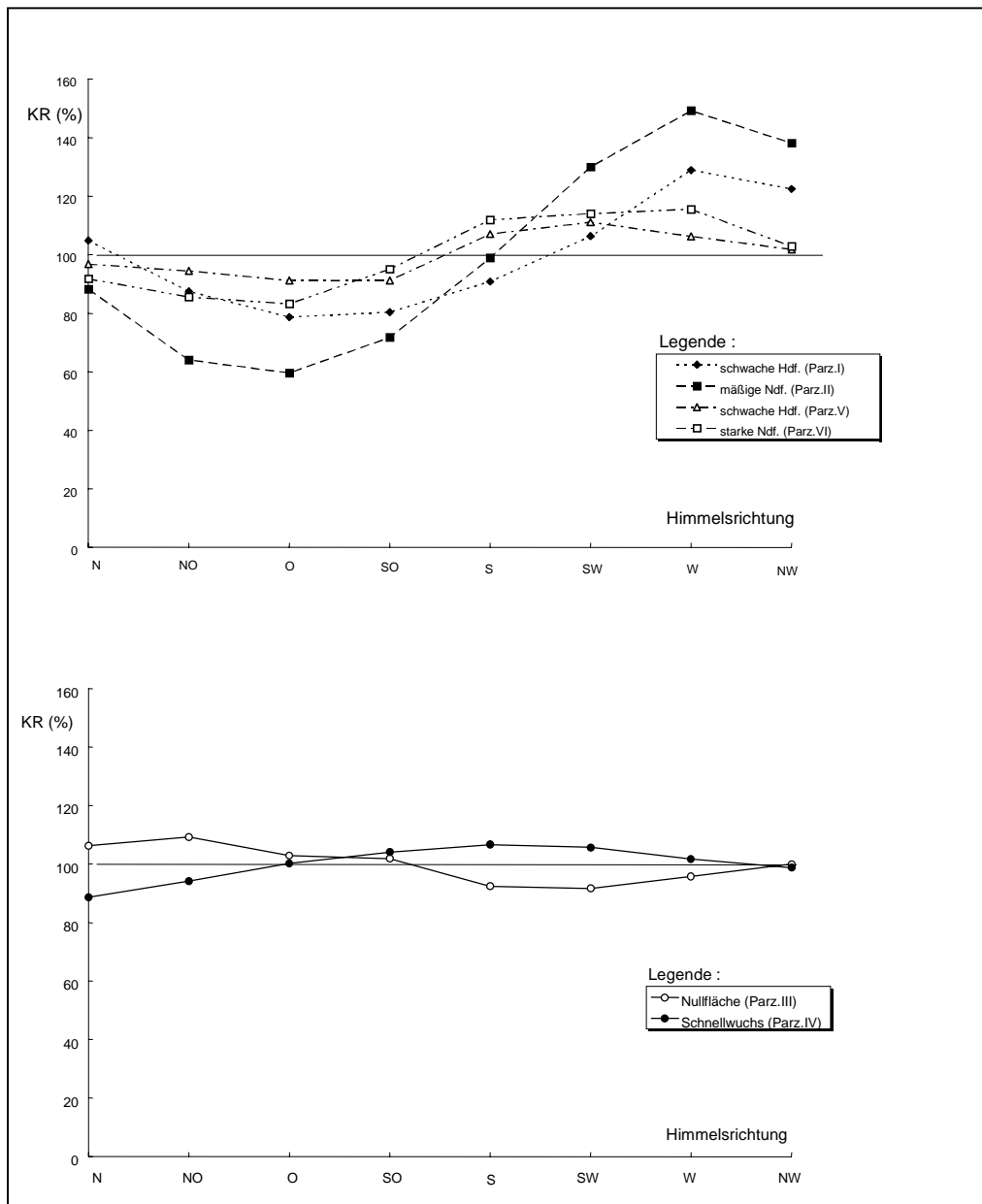


Abbildung 4-2: Kronenausformung in Abhängigkeit von der waldbaulichen Behandlung im Buchendurchforstungsversuch Dillenburg, Abt. 33. Die Abbildung zeigt getrennt nach den acht Himmelsrichtungen, in denen die Kronen abgelotet wurden die durchschnittliche Kronenexzentrizität (KR%). Aus dem Vergleich mit der Kreisform (durchgezogene 100 %-Linie) lässt sich erkennen, ob und in welcher Größenordnung die Kronen der unterschiedlichen Behandlungsvarianten mehr oder weniger stark exzentrisch ausgeprägt sind.

Übereinstimmend werden von den vier eingangs genannten Wachstumssimulatoren geometrische Kronenmodelle auf Grundlage kreisrunder Rotationskörper erzeugt. Dieser Ansatz resultiert aus dem Algorithmus, mit dem die Kronenbreiten und Kronenbreitenveränderungen berechnet werden, vereinfacht jedoch u. U., wie bereits zuvor dargestellt, die tatsächlichen Verhältnisse zu sehr. Im Rahmen eines methodischen Vergleiches wurden deshalb auf der Versuchsfläche Dillenburg die Kronenprojektionen auf Grundlage rechnerisch gemittelter, kreisförmiger Kronen mit den Projektionen, die auf Grundlage von Polygonzügen erstellt wurden, miteinander verglichen. Gesamt- und Mehrfachüberschirmung wurden mit Hilfe des

Programms „TREES“ (BEISCH 1998) für die fünf unterschiedlich behandelten Parzellen getrennt berechnet.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 4-1 zusammengefasst. Für einen optischen Vergleich sind die unterschiedlichen Kronenprojektionen (Kreisform versus Polygonzug) in Abbildung 4-3 am Beispiel einer Versuchsparzelle grafisch gegenübergestellt.

Tabelle 4-1: Vergleich der Überschirmung berechnet auf Grundlage asymmetrischer bzw. runder Kronenquerschnitte.

Polygonzug	N/ Parzelle	Gesamtüberschirmung							
		m ²	%	1fach	2fach	3fach			
0-Fläche	219	2027	81,5	82,6	16,4	0,89			
Schnellwuchs	46	1887	76,7	91,8	8,2	0,01			
mäßige NDF	120	1922	77,1	88,4	11,5	0,05			
schwache HDF	72	1542	62,4	82,2	16,3	1,43			
starke NDF	42	1520	60,7	97	2,9	0,01			
							% - Vergleich		
Kreisform							Gesamt	1fach	2fach
0-Fläche	219	1938	77,9	79,9	18,6	1,46	96	97	113
Schnellwuchs	46	1823	74,1	86,9	13	0,11	97	95	159
mäßige NDF	120	1697	68,1	81,8	17,6	0,59	88	93	153
schwache HDF	72	1512	61,1	82,1	16,5	1,32	98	100	101
starke NDF	42	1442	57,6	94,3	5,7	0,01	95	97	197

Es zeigt sich, dass die Gesamtüberschirmung durch die Verwendung kreisrunder Kronenmodellkörper systematisch unterschätzt wird. Im Fall der ausgewerteten Versuchsparzellen liegt diese Unterschätzung im Rahmen zwischen 2 % (schwache Hochdurchforstung) bis maximal 12 % (mäßige Niederdurchforstung). Die Analyse der Einfach- und Mehrfachüberschirmung lässt zwei weitere eindeutige Tendenzen erkennen. Analog zur Gesamtüberschirmung wird bei 1-fach-Überschirmung die Schirmfläche um bis zu 7 % unterschätzt. Umgekehrt wird die Schirmfläche bei 2-fach-Überschirmung durch die Verwendung kreisförmiger Modellkörper um bis zu 197 % systematisch überschätzt.

Beide Tendenzen, d. h. sowohl die Unterschätzung der Gesamtüberschirmung als auch das systematische Überschätzen von Mehrfachüberschirmungen durch die Verwendung runder Modellkörper im Vergleich zu asymmetrischen horizontalen Kronenausformungen, lassen sich auch aus dem visuellen Vergleich der gegenübergestellten Kronenprojektionen in Abbildung 4-3 erkennen. Dargestellt ist die schwache Hochdurchforstungsvariante in Parzelle I des Durchforstungsversuches.

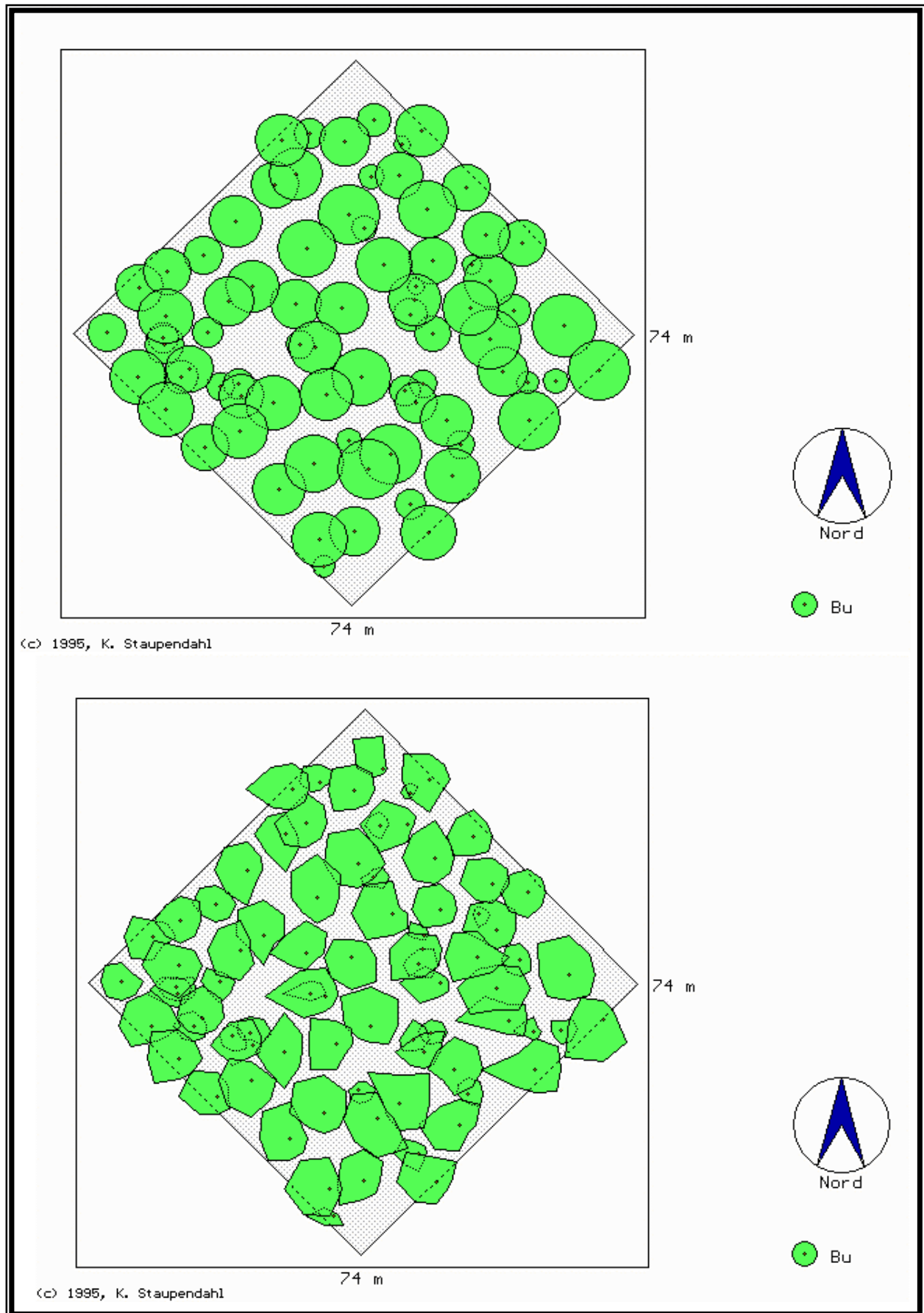


Abbildung 4-3: Vergleich der Kronenprojektionen auf Grundlage runder bzw. asymmetrischer, zweidimensionaler horizontaler Kronendarstellung. (Buchendurchforstungsversuch Dillenburg, Abt. 33, Parzelle I, schwache Hochdurchforstung).

4.1.2 Verjüngungsexperiment Reinhausen

4.1.2.1 Versuchsanlage

Um eine Größenvorstellung individueller Radienzuwächse sowie einen Einblick in die richtungsspezifische Dynamik horizontaler Kronenbreitenveränderungen zu bekommen, wurde 1997 an einem Kollektiv von 214 Buchen auf einer Versuchsfläche im FoA Reinhausen eine Folgeablotung durchgeführt.

Die Versuchsanlage befindet sich im Wuchsbezirk „Göttinger Wald“, Wuchsgebiet Südniedersächsisches Bergland. Der Jahresdurchschnittsniederschlag beträgt 680 mm, in der forstlichen Vegetationszeit von Mai bis September werden durchschnittlich 340 mm gemessen. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 7,8° C, die durchschnittliche Temperatur in der forstlichen Vegetationszeit wird mit 14° C angegeben (OTTO 1989). Die Versuchsanlage liegt auf einem Plateau in ca. 350 m ü. NN auf Muschelkalk. Die Wasserversorgung wird als frisch bis nachhaltig frisch, die Nährstoffversorgung als gut eingestuft. Bodentypologisch hat sich auf dem Kalksteinverwitterungslehmboden mit unterschiedlicher, bis zu 70/80 cm mächtiger Lößbeimischung eine Braunerde entwickelt.

Die 1987 als Verjüngungsexperiment in einem 107-jährigen Buchen-Edellaubholz-Mischbestand angelegte Versuchsfläche besteht aus sechs Lochhieben mit einem Durchmesser zwischen 28 m und 32 m (WAGNER 1994). Die Kronen der Buchen wurden 1987 in Anlehnung an das Verfahren von DIPPEL (1988) nach einem flexiblen Winkelsystem in jeweils acht Himmelsrichtungen abgelotet. Um die gewählte Aufnahmemethodik beizubehalten, wurde im Rahmen der Folgeablotung 1997 das festgelegte Winkelsystem der Erstaufnahme übernommen.

4.1.2.2 Horizontale Kronenbreitenveränderungen

Abbildung 4-4 sind die individuellen jährlichen Kronenbreitenveränderungen (cm) zu entnehmen. Die positiven wie negativen maximalen Veränderungsrate streuen über einen großen Wertebereich zwischen – 30 cm und + 30 cm Zuwachs je Jahr. Der mittlere positive Kronenbreitenzuwachs (\bar{ir}) liegt bei + 10 cm je Jahr.

Während sich die positiven Veränderungsrate als horizontale Kronenradienzuwächse interpretieren lassen, werden die negativen Veränderungsrate (Kronenverkleinerungen) auf die Einwirkung mechanischer Belastungen wie Reibung, Wind und Schlagen zurückgeführt, die mehr oder minder lange Astabbrüche zur Folge haben. Darüber hinaus ist auch der Messfehler bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Nach DIPPEL (1988) bewegt sich dieser Messfehler bei Kronenablotungen mit Hilfe des Kronenspiegels im Rahmen von +/- 5 cm. Die sich daraus ergebende Problematik, d. h. einerseits ausreichend lange Beobachtungszeiträume zwischen den wiederholten Kronenablotungen zu wählen, um dadurch den Einfluss des Messfehlers zu nivellieren, und andererseits den Beobachtungszeitraum so festzulegen, dass die sich kontinuierlich wandelnden Nachbarschaftsverhältnisse im Kronenraum für eine sinnvolle Interpretation verwendet werden können, wird abschließend in Kapitel 5.4.2 diskutiert.

Den gemessenen Radienzuwächsen sind darüber hinaus in Abbildung 4-4 auf der linken Seite rechnerische Radienzuwächse gegenübergestellt, die über eine an das Datenmaterial angepasste lineare Kronenbreitenfunktion berechnet wurden. Der zugrunde liegende funktionale Ausgleich ist Abbildung 3-5 unten zu entnehmen. Die modellierten mittleren Radienzuwächse

basieren dabei auf den gemessenen Durchmesserzuwächsen der abgeloteten Buchen und errechnen sich aus der Differenz der über den BHD abgeleiteten Kronenbreiten.

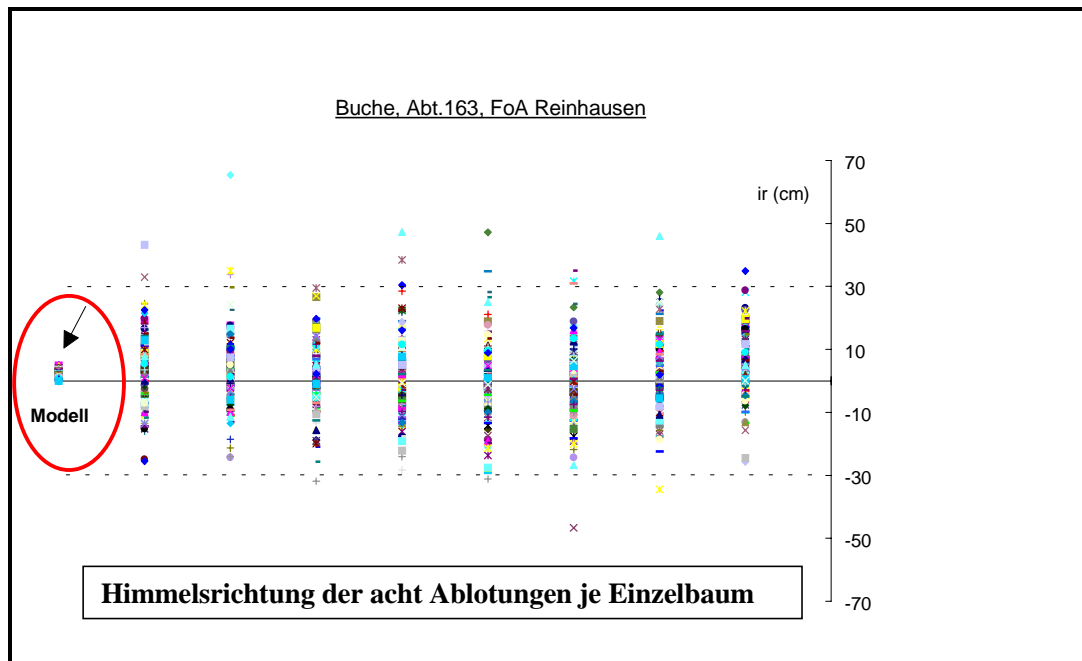


Abbildung 4-4: Jährliche horizontale Kronenbreitenveränderungen (cm) im Vergleich zu prognostizierten Radienzuwächsen mit Hilfe einer linearen Kronenbreitenfunktion (NAGEL 1999). (Lochhiebsexperiment Forstamt Reinhausen, Abt. 163, Stichprobenumfang 214 Buchen).

Der Vergleich verdeutlicht zwei methodische Mängel, die bei der Prognose von Kronenbreitenveränderungen mit Hilfe von Kronenbreitenfunktionen und dem Durchmesserzuwachs als Eingangsvariable auftreten. Zum einen beinhalten die Modelle einen gekoppelten Regelkreis zwischen Durchmesser- und Kronenbreitenzuwachs, der dazu führt, dass ausschließlich Kronenverbreiterungen prognostiziert werden können. Nur in dem Fall, dass ein Baum keinen Durchmesserzuwachs hat, verändert sich auch der Kronenradius nicht. Zum anderen zeigen die gemessenen Radienzuwächse im Vergleich zum Ergebnis der Simulation eine deutlich ausgeprägtere Dynamik. Zurückzuführen ist dieser Umstand auf die geringe Steigung des funktionalen Ausgleichs zwischen BHD und Kronenbreite. Die Dynamik individueller richtungsbezogener Kronenbreitenveränderungen, sei es in Form von Kronenverkleinerungen oder sektoralen Kronenvergrößerungen aufgrund einseitiger Standraumerweiterungen, lässt sich demnach mit den gegenwärtigen Modellansätzen nur näherungsweise simulieren.

Die Kronenprojektionen der Randbuchen zweier Lochhiebe (siehe Abbildung 4-5) verdeutlichen die ausgeprägte Dynamik richtungsbezogener Kronenbreitenveränderungen. Im Vergleich zum Ergebnis der ersten Ablotung 1987 zeigen fast alle Randbuchen eine deutliche Tendenz, ihre horizontale Kronenperipherie in Richtung Lochhiebsmitte zu vergrößern und damit auf einseitige Standraumerweiterungen zu reagieren. Die Beispiele, wenn auch zweidimensional vereinfacht, lassen erkennen, dass eine biologisch plausible Modellierung richtungsbezogener Kronenbreitenveränderungen Kenntnisse über die individuellen nachbarschaftlichen Konkurrenzverhältnisse im dreidimensionalen Kronenraum voraussetzt. Es muss sich dabei um richtungsbezogene Informationen handeln, die sowohl den horizontalen

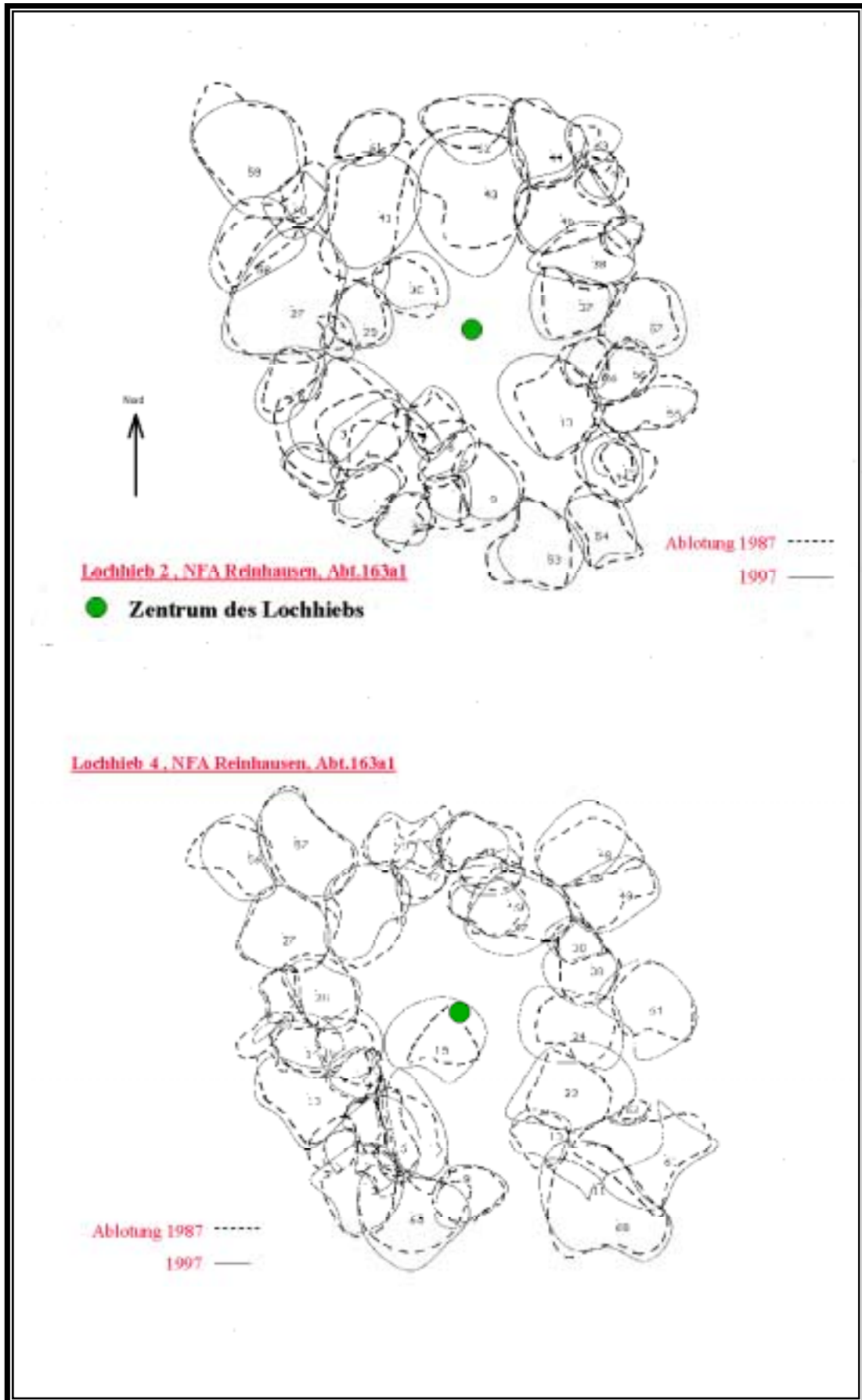


Abbildung 4-5: Vergleichende Kronenprojektionen nach 10-jähriger Folgeablotung im Lochhiebsexperiment FoA Reinhausen, Abt. 163.

Abstand benachbarter Bäume als auch die vertikale Stellung benachbarter Kronen im Bestandesgefüge zueinander beinhalten.

4.1.3 Japanlärchenversuch Bederkesa

4.1.3.1 Versuchsanlage

1984 wurde im Forstamt Bederkesa ein Anbauversuch mit Sachalintannen unter dem Schirm von Japanlärchen angelegt. Die Versuchsanlage besteht aus zwei Parzellen mit jeweils 2000 m² Größe, die unter einem lockeren Lärchenschirm sowie vereinzelt beigemischten Kiefern im Alter von 54 Jahren eingerichtet wurden. Der Voranbau erfolgte mit zweijährigen Sachalintannen (1+1) im Verband von 2 x 2 m.

Die **Versuchsfläche** befindet sich im Wuchbezirk Wesermünder Geest, Wuchsgebiet Niedersächsischer Küstenraum. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 8,5° C, die Durchschnittstemperaturen in der forstlichen Vegetationszeit von Mai bis September werden mit 14° C angegeben (OTTO 1989). Die Jahresniederschläge betragen durchschnittlich 760 mm, auf die Vegetationszeit entfallen davon 370 mm. Die beiden Parzellen der Versuchsanlage liegen in 6,5 m ü. NN auf drenthetatalem Ausgangssubstrat. Es handelt sich um einen unverlehnten Sand mit schluffig-lehmigen Einlagerungen im Unterboden. Bodentypologisch wird der Standort als Braunerde klassifiziert. Die Nährstoffausstattung ist befriedigend, die Wasserversorgung wird als mäßig frisch eingestuft.

Ertragskundlich wurde der Lärchenschirm bislang zweimal in den Jahren 1991 und 1996 erfasst. Zum Stichtag 1996 hatte der Japanlärchenschirm ein Alter von 66 Jahren. Die Stammzahl wurde mit rd. 180 Lärchen/ha ermittelt, der Vorrat des Hauptbestandes mit rd. 214 fm/ha errechnet, wobei dem Hauptbestand ein geringer, 10 %-iger Anteil Kiefern beigemischt ist.

Die Höhe des Grundflächenmittelstammes (h_g) wurde mit 24,6 m ermittelt. Dies entspricht einer II,3 Bonität (SCHÖBER 1995, starke Durchforstung). Im Rahmen der Erstaufnahme 1991 erfolgten erstmalig Kronenablotungen, die sich allerdings auf das Kollektiv der Höhenmessbäume beschränkten. Die Ablotungen sollten dazu verwendet werden, die bislang wenigen Informationen über Kronenbreiten von Japanlärchen zu ergänzen und eine neue Kronenbreitenfunktion zu parametrisieren (WOLF 1991). Sowohl die Erstablotung als auch die Folgeablotung 1996 erfolgten in einem festen 50-Gon-Winkelsystem.

Im Rahmen der Voruntersuchungen sollte der Frage nachgegangen werden, ob sich nach einer Aufnahmeperiode von nur 5 Jahren Kronenbreitenveränderungen messtechnisch mit Hilfe des beschriebenen Verfahrens erfassen lassen. Darüber hinaus sollte untersucht werden, ob sich in Abhängigkeit von der unterschiedlichen Stellung des Einzelbaumes im Bestand und demzufolge seiner individuellen strukturellen Ausgangs- und Konkurrenzsituation richtungsspezifische Kronenbreitenveränderungen feststellen lassen.

4.1.3.2 Kronenausformung

Abbildung 4-6 sind die 1991 gemessenen Kronenradien, getrennt nach den acht festen Himmelsrichtungen der Kronenablotungen, zu entnehmen. Im Mittel liegen die gemessenen Radien zwischen 2 m bis 4 m, im Einzelfall streuen die Radien zwischen 0 m und maximal 7 m Länge. Die in Abbildung 4-6 miteinander verbundenen Mittelwerte lassen hinsichtlich der Kronenausformung eine schwach ausgeprägte Exzentrizität erkennen. Demnach weisen die Kronen der Japanlärchen eine stärkere Ausprägung der Kronenperipherie in nördlicher bis südöstlicher Richtung auf und eine vergleichsweise geringere in süd- bis nordwestlicher

Richtung. Die auffallend breite Streuung der einzelnen Kronenradien in den verschiedenen Himmelsrichtungen wird auf die individuellen, unterschiedlichen Konkurrenzsituationen der jeweiligen Einzelbäume innerhalb des Bestandeskollektivs zurückgeführt. Die vergleichsweise geringen Kronenradien in süd- bis nordwestlicher Himmelsrichtung werden hingegen mit der exponierten Lage des Japanlärchenbestandes in unmittelbarer Nähe des Wald-Feldrandes erklärt. Der Bestand ist dadurch dem vorherrschenden Westwindeinfluss besonders stark ausgesetzt.

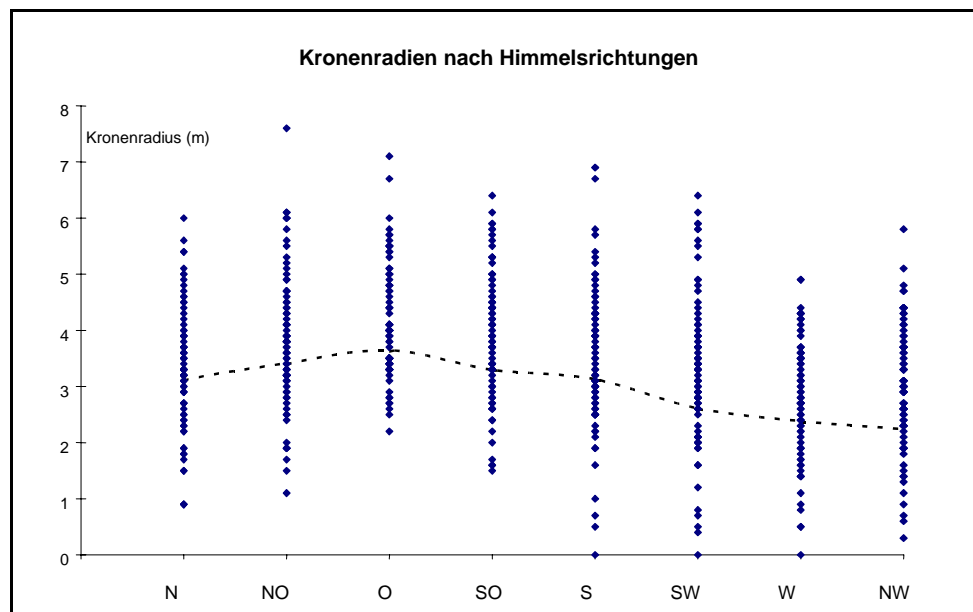


Abbildung 4-6: Gemessene Kronenradien im Vergleich zwischen den Himmelsrichtungen der Kronenablotung. (Japanlärchenversuch Bederkesa, Abt. 99. Die Mittelwerte in den acht abgeloteten Himmelsrichtungen sind durch die gestrichelte Linie miteinander verbunden).

4.1.3.3 Horizontale Kronenbreitenveränderungen

Abbildung 4-7 zeigt den Japanlärchenbestand auf der Versuchsfläche in Abteilung 99, FoA Bederkesa sowohl als Bestandesaufriss als auch in Form von zwei Kronenprojektionen. Die Entwicklung der horizontalen Kronenbreitenveränderungen im Zeitraum zwischen den beiden Aufnahmen 1991 und 1996 ist der untersten Darstellung zu entnehmen.

Für die graphische Darstellung horizontaler Kronenbreitenveränderungen wurde das Programm „TOPGROW“ entwickelt (STAUPENDAHL 1997). Das Programm ermöglicht es, sowohl den positiven als auch den negativen Kronenradienzuwachs in den einzelnen acht Sektoren grafisch unterschiedlich darzustellen. So ist der positive Kronenradienzuwachs blau, der negative rot unterlegt. Darüber hinaus gestattet es die Programmroutine, die Entwicklung der Kronenschirmfläche für die acht Kronensektoren in tabellarischer Form auszuwerten. Zweidimensional vereinfacht vermittelt die Abbildung einen Eindruck vom Ausmaß horizontaler Kronenbreitenveränderungen. Weitergehende Interpretationen der dargestellten Veränderungen sind hingegen nur eingeschränkt möglich, da sich die individuellen Konkurrenzverhältnisse zwischen den Kronen aus ihrer Stellung im dreidimensionalen Raum ableiten (SMITH 1990).

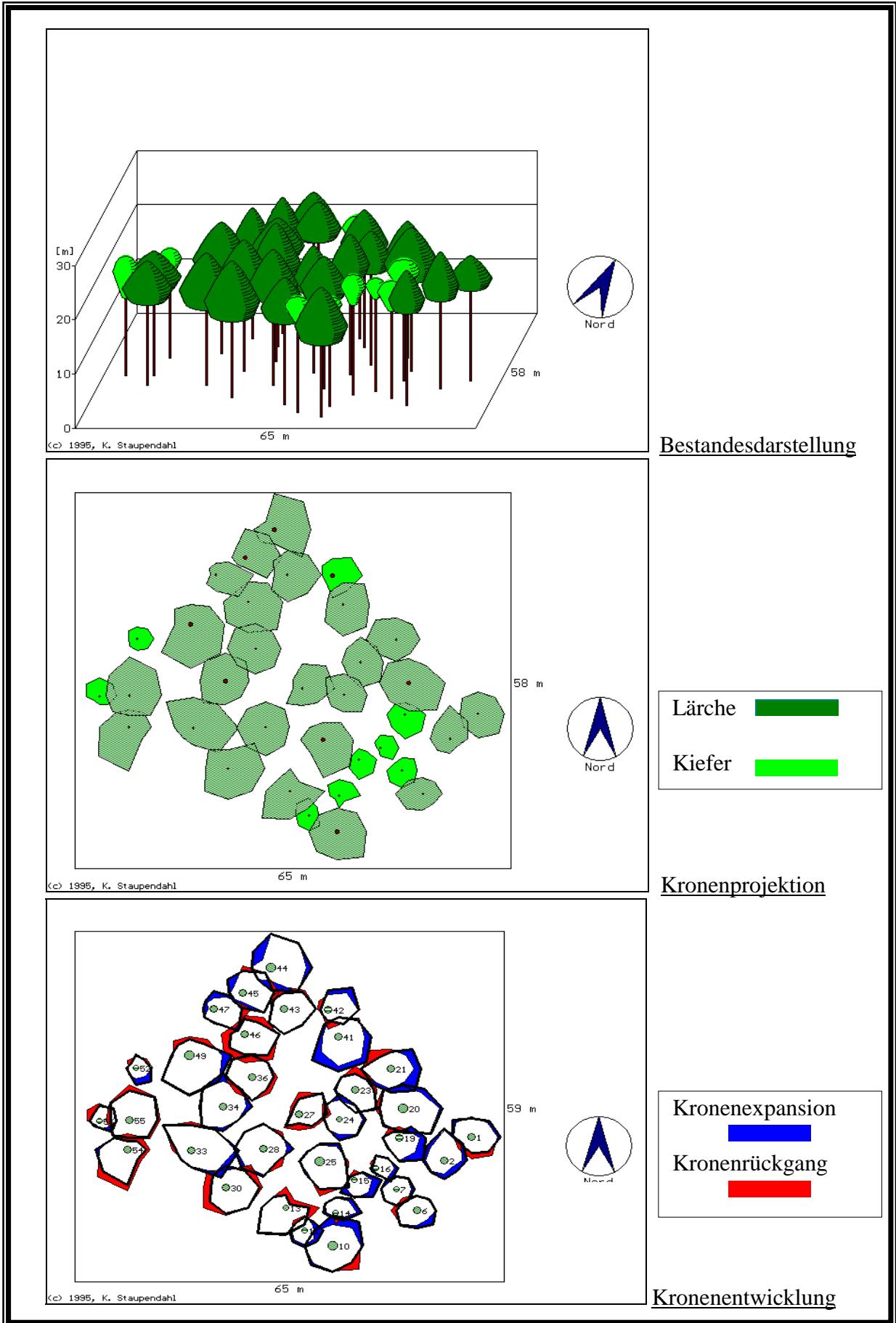


Abbildung 4-7: Bestandesdarstellung und Kronenprojektionen zur Darstellung horizontaler Kronenbreitenveränderungen. (Japanlärchenversuch Bederkesa, Abt. 99).

Dennoch soll an dieser Stelle auf zwei besonders markante Einzelfälle hingewiesen werden, die in Verbindung mit der Darstellung der Kronenprojektionen offensichtliche Reaktionsmuster erkennen lassen. So hat sich im nördlichen Teil der Versuchsfläche die Krone von Baum Nr. 46 im Zeitraum zwischen den beiden Kronenablotungen verkleinert. Diese negative Kronenveränderung wird auf die enge Nachbarschaft mit offensichtlich dominanteren Lärchen zurückgeführt, deren Kronen sich verbreitert haben.

Ein zweites besonders markantes Beispiel stellt Baum Nr. 41 dar, der sich am nordöstlichen Rand einer Bestandeslücke befindet. Seine Kronenentwicklung lässt eine deutliche Tendenz zum Einwachsen in die vorhandene Bestandeslücke erkennen. Umgekehrt deutet die negative Kronenentwicklung (Kronenverkleinerung) von Baum Nr. 27, der sich am südöstlichen Rand der Bestandeslücke befindet, auf einen Messfehler hin, da die Krone dieser Lärche keinem unmittelbaren Seitendruck ausgesetzt ist.

In Abbildung 4-8 sind die jährlichen Kronenradienzuwächse der Messperiode 1991 bis 1996 über dem Ausgangsradius aufgetragen. Sowohl die positiven Radienzuwächse, d. h. horizontale Kronenbreitenzuwächse, als auch die negativen Zuwächse, d. h. Kronenverkleinerungen, streuen über einen großen Wertebereich zwischen + 50 cm bis – 50 cm/Jahr. Dabei wird deutlich, dass bis zu einem Ausgangsradius von ca. 3 m positive Radienzuwächse überwiegen, während hingegen mit weiter steigendem Ausgangsradius immer häufiger negative Kronenbreitenveränderungen gemessen werden. Die dargestellte lineare Trendlinie verdeutlicht diese Tendenz.

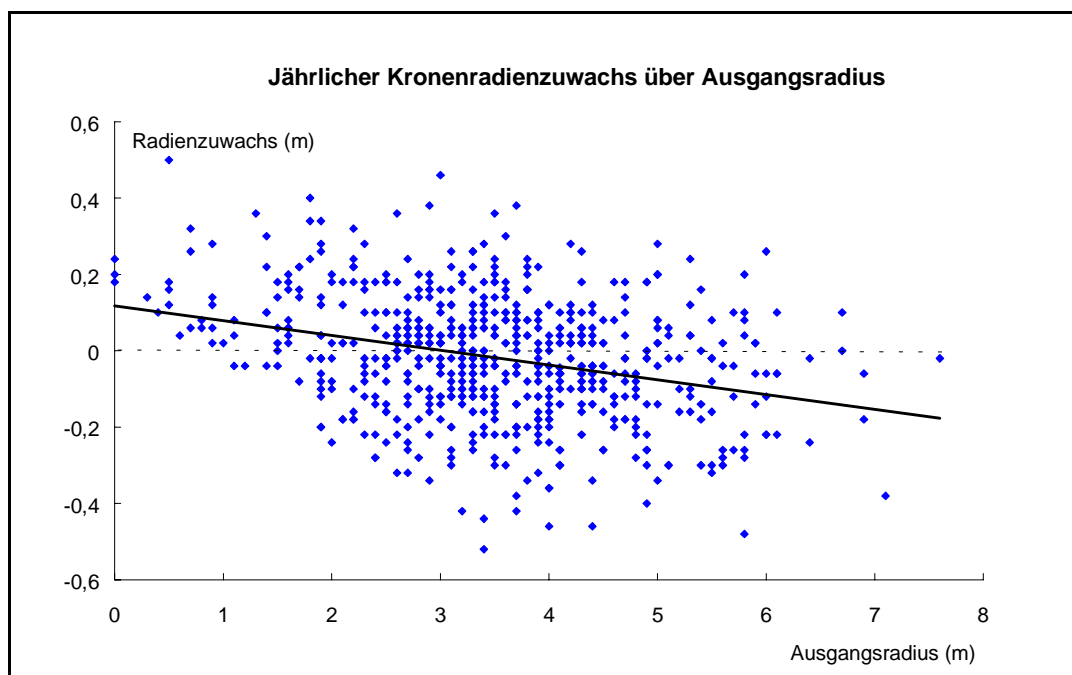


Abbildung 4-8: Jährlicher horizontaler Kronenradienzuwachs über dem Ausgangsradius. (Japanlärchenversuch Bederkesa, Abt. 99).

4.1.3.4 Beziehung zwischen Kronendurchmesser und BHD

Den funktionalen Ausgleich des Kronendurchmessers über dem BHD zeigt Abbildung 4-9. Zum Vergleich ist die von WOLFF (1991) parametrisierte Ausgleichsfunktion dargestellt, deren Datengrundlage auf Kronenablotungen in einem 28-jährigen Japanlärchen-Birken-Mischbestand basiert.

Die Funktionen verdeutlichen, dass unterschiedliche Bestandssituationen einen mehr oder minder starken Einfluss auf die individuellen Kronenbreiten ausüben können. So kann es von Bedeutung sein, ob Kronenbreiten im Rein- oder Mischbestand gemessen werden, da die Kronenentwicklung, wie das Beispiel zeigt, von der Wuchsdynamik und Konkurrenzkraft der beteiligten Baumarten offensichtlich beeinflusst wird. Für die Repräsentativität des verwendeten Datenmaterials spielt darüber hinaus der individuelle Pflegezustand des Bestandes eine wichtige Rolle. Die genannten Einflüsse sind bei der Parametrisierung bzw. der Anwendung von Kronenbreitenfunktionen zu berücksichtigen, indem entweder auf eine ausreichend umfangreiche und repräsentative Datenbasis im Rahmen der Parametrisierung geachtet wird oder aber die Anwendung der Funktionen auf bestimmte Ausgangssituationen eingeschränkt wird.

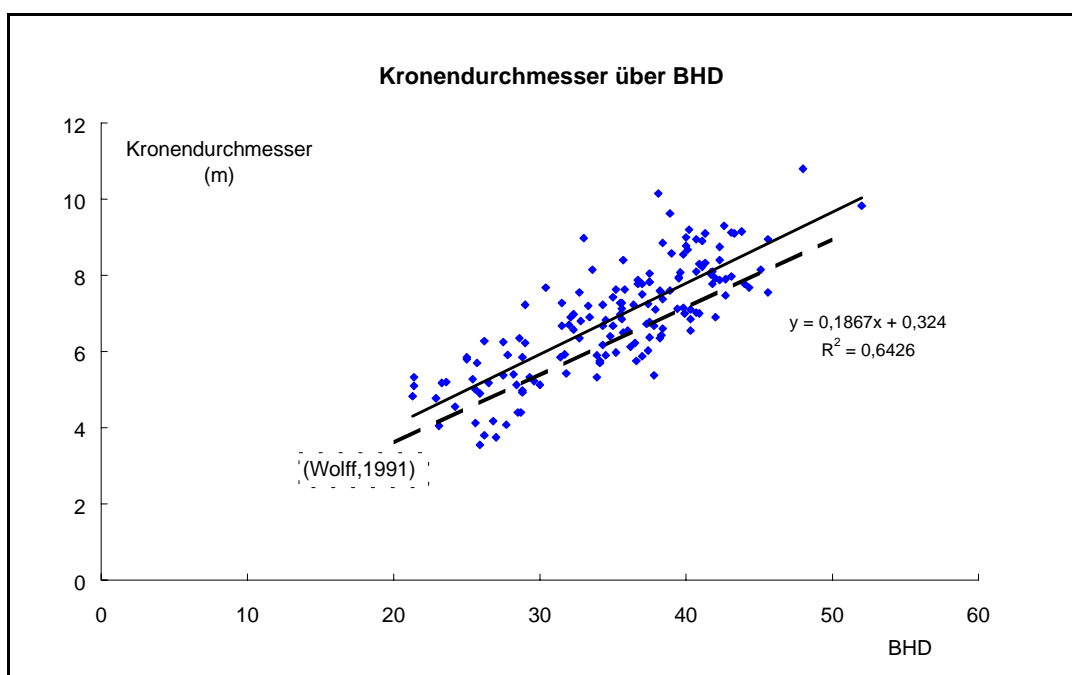


Abbildung 4-9: Beziehung zwischen BHD und Kronendurchmesser (Japanlärchenversuch Bederkesa, Abt. 99, Vergleich zur Funktion von WOLFF 1991).

4.1.4 Zusammenfassende Wertung der Voruntersuchungen

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen einmalige Kronenablotungen zahlreicher ertragskundlicher Versuchsbestände der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt vor. Der aufgebaute Datenpool, mit dessen Hilfe Kronenbreitenfunktionen parametrisiert wurden, verteilt sich auf alle Hauptbaumarten und Altersstufen, beschränkt sich jedoch zum gegenwärtigen Zeitpunkt überwiegend auf Reinbestände. Sowohl im Wachstumssimulator „**BwinPro**“ (NAGEL 1999) als auch in anderen eingangs erwähnten Einzelbaumsimulatoren basieren die Kronenbreitenfunktionen auf Mittelwerten, die sich im Regelfall aus acht Ablotungen je Einzelbaum errechnen (PRETZSCH 1997, HASENAUER 1994a, STERBA 1995). Die Bestimmung von Kronenbreiten bzw. Kronenbreitenveränderungen basiert dabei auf der straffen Beziehung zwischen BHD und Kronendurchmesser (SPIECKER 1991, 1999). Neben dem Informationsverlust, der durch die Verwendung von Mittelwerten entsteht, lässt der Modellaufbau der gegenwärtigen Wachstumssimulatoren weder negative (Kronenverkleinerungen) noch rich-

tungsspezifische Kronenbreitenveränderungen zu. Die biologische Plausibilität der Modelle ist dadurch eingeschränkt.

Aus den Voruntersuchungen lassen sich die folgenden Schlussfolgerungen und weiteren Arbeitshypothesen ableiten:

Buchendurchforstungsversuch FoA Dillenburg

- Die in der horizontalen Kronenprojektion von der Kreisform abweichende Ausdehnung der Baumkrone in bestimmte Himmelsrichtungen lässt sich mit dem Parameter „Kronenexzentrizität“ beschreiben. Der Parameter eignet sich u. a. auch für den Vergleich unterschiedlicher Behandlungsvarianten.
- Gleichbleibend starke bzw. fehlende Konkurrenz führt zur Ausprägung eher runder Kronenausformungen, wobei im Vergleich der absoluten Dimensionen die Kronendurchmesser der Schnellwuchsfläche den mittleren Kronendurchmesser der Null-Fläche um 240 % überlegen sind.
- Jede Bestandesbehandlung, die zu unterschiedlichen Standraumerweiterungen für den Einzelbaum führt, fördert die Entwicklung mehr oder minder starker Kronenexzentrizitäten. Wie MITSCHERLICH (1970) betont bilden aufgrund ihrer sozialen Bestandesstellung insbesondere die gering mitherrschenden und zwischenständigen Bäume die vielfältigsten exzentrischen Kronenformen aus. Dies deckt sich mit der Beobachtung, dass die mäßig niederdurchforstungsartig behandelten Buchen die markanteste mittlere Kronenexzentrizität erkennen lassen.
- Die einheitliche Tendenz der Kronenausprägung in süd- bis nordwestlicher Himmelsrichtung deutet auf einen ausgeprägten Phototropismus hin, der unter Berücksichtigung der individuellen Konkurrenzverhältnisse zu einer mehr oder minder stark ausgeprägten Kronenexzentrizität führt.
- Hinsichtlich der Überschirmungsverhältnisse lässt der zweidimensionale Vergleich zwischen runden mittleren Kronenmodellen und exzentrischen Kronenformen eine systematische Unterschätzung der Gesamt- sowie 1-fach-Überschirmung erkennen. Umgekehrt wird die Zwei- und Mehrfach-Überschirmung durch die Anwendung runder Modellkörper systematisch überschätzt. Die Anwendung kreisförmiger Kronenmodelle in lichtökologischen Verjüngungsmodellen ist daher kritisch zu beurteilen.

Verjüngungsexperiment FoA Reinhausen

- Die ermittelten absoluten Kronenbreitenveränderungen (ir+) in einer Größenordnung von 10-30 cm/Jahr decken sich mit Ergebnissen von BARTSCH (1999), KAHLE et al. (1997) und MEYER (1998).
- Die gemessenen Kronenbreitenveränderungen lassen im Vergleich zu den auf Grundlage von Kronenbreitenfunktionen abgeleiteten Radienzuwächsen eine ausgeprägtere Dynamik erkennen, mit der Buchen auf einseitige Standraumerweiterungen reagieren können.
- Der Modellaufbau der gegenwärtigen Wachstumssimulatoren erfasst weder diese ausgeprägte Dynamik richtungsspezifischer Kronenbreitenveränderungen noch den Umstand, dass sich Kronen aufgrund mechanischer Einwirkungen in nahezu gleichem Umfang verkleinern können. Die biologische Plausibilität vergleichbarer Modellansätze ist dadurch eingeschränkt.

Japanlärchenschirm FoA Bederkesa

- Die Analyse der Kronenbreitenveränderungen lässt auch im Fall der 66-jährigen Japanlärchen nach nur 5-jähriger Wiederholungsaufnahme sowohl positive als auch negative horizontale Kronenbreitenveränderungen erkennen, die bis zu +/- 50 cm/Jahr betragen können.
- Erkennbare Reaktionsmuster hinsichtlich der Kronendynamik können jedoch mit Hilfe zweidimensionaler vereinfachter Darstellungen der tatsächlich dreidimensionalen räumlichen Strukturen im Kronenraum nicht eindeutig interpretiert werden.
- Um sämtliche konkurrenzbestimmenden Einflüsse erfassen und kausal in Verbindung bringen zu können, ist es im Rahmen vergleichbarer Untersuchungen zwingend erforderlich, alle Bäume abzuloten.
- Die Interpretationsansätze machen deutlich, dass eine biologisch plausible Modellierung richtungsbezogener Kronenbreitenveränderungen Kenntnisse über die individuellen nachbarschaftlichen Konkurrenzverhältnisse im dreidimensionalen Kronenraum voraussetzt. Es muss sich dabei um richtungsbezogene Informationen handeln, die sowohl den horizontalen Abstand benachbarter Bäume als auch die vertikale Stellung benachbarter Kronen im Bestandesgefüge zueinander beinhalten.
- Umgekehrt lässt sich erkennen, dass der Durchmesser als akkumulierende Größe im Gegensatz zur Kronenausprägung keinesfalls die aktuelle Konkurrenzsituation wieder spiegelt.
- Die Repräsentativität von Kronenbreitenfunktionen kann aufgrund der verwendeten Datengrundlage unter Umständen stark eingeschränkt sein. Bei der Auswahl von Datenmaterial für die Parametrisierung entsprechender Funktionen ist daher sowohl auf den individuellen Pflegezustand als auch auf den Anteil und Einfluss von Mischbaumarten als Ausschlussgrößen zu achten.

4.2 Waldwachstumskundliche Analyse der untersuchten Mischbestände

Im ersten Ergebnisteil wird die waldwachstumskundliche Entwicklung des Mischbestandstyps Buche-Lärche über einen Zeithorizont von annähernd 100 Jahren analysiert und dokumentiert. Inhaltlich wird damit an die Dissertation von DIPPEL (1988) angeknüpft, der im Rahmen der Erstaufnahme vorrangig Bestandesparameter als Eingangsgrößen für ein Bestandesmodell berechnet und interpretiert hat. In Ergänzung zu den klassischen ertragskundlichen Parametern, wie Stammzahlhaltung, Grundflächen- und Vorratsentwicklung, wird die Untersuchung um die Analyse verschiedener Strukturparameter erweitert. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse der verbalen Stammansprache ausgewertet.

Zur besseren Übersicht sind in **Anlage 3** die wichtigsten **Bestandes- und Strukturdaten** für die einzelnen Versuchsflächen tabellarisch zusammengefasst. Um die Bestandessituationen in den unterschiedlich zusammengesetzten Mischbestandspartellen zu veranschaulichen, wurden Kronenkarten zum Stichtag der Aufnahme 1994 erstellt. Darüber hinaus wurden für beide Aufnahmezeitpunkte Durchmesser- und Höhenverteilungen hergeleitet.

Bestandesinformationen

Die Bestandesdaten beziehen sich auf den **verbleibenden Bestand**. Geringfügige Differenzen im Vergleich zu den Ergebnissen der Massenberechnungen von DIPPEL (1988) sind methodisch begründet. Die Massenberechnungen der Erstaufnahme 1984 wurden mit geschätzten Höhen aus einer abgeleiteten Höhenkurvenschar durchgeführt, während im Rahmen dieser Arbeit die Massenberechnungen auf gemessenen Einzelbaumhöhen basieren. Die angegebenen Mischungsverhältnisse wurden über den Grundflächenanteil der beiden Baumarten

hergeleitet. In Ergänzung zu diesen Angaben sind den Tabellen Durchmesser (d_g) und Höhe (h_g) des Grundflächenmittelstammes sowie Durchmesser und Höhe des Spitzenkollektivs (d_{100} , h_{100}) zu entnehmen. Für den **ausscheidenden Bestand** finden sich Angaben über die Stammzahl sowie die entnommene Grundfläche, die näherungsweise über die 1984 erhobenen Durchmesser berechnet wurden. Die Bonitierung erfolgte mit Hilfe der Ertragstafelsammlung von SCHOBER (1995) für Buche und Europäische Lärche, wobei beide Baumarten in Anhalt an die Tafeln zur mäßigen Durchforstung bonitiert wurden.

4.2.1 Altersstruktur

Alter und Altersdifferenz zwischen Buchen und Lärchen auf den 18 Versuchsflächen im Wuchsbezirk „Unterer Solling“ sind Abbildung 4-10 zu entnehmen. Das Altersspektrum der Buchen reicht vom Alter 40 bis zum Alter 158. In allen untersuchten Mischbeständen ist die Lärchenbeimischung entweder gleich alt oder geringfügig jünger als der Buchengrundbestand. Die maximale Altersdifferenz zwischen beiden Baumarten beträgt 15 Jahre auf der Fläche 109, im Mittel liegt sie zwischen 5 und 7 Jahren. Die Altersstruktur erklärt sich aus der Entstehung der Bestände, die ohne Ausnahme aus Buchennaturverjüngungen hervorgegangen sind (DIPPEL 1988). Die Auspflanzung freigebliebener Stellen erfolgte in mehr oder minder zeitlich geringem Abstand auf kleinen Teilflächen mit Lärchen-Lohden im 3 x 3 m-Verband oder in Form von Einzelpflanzen.

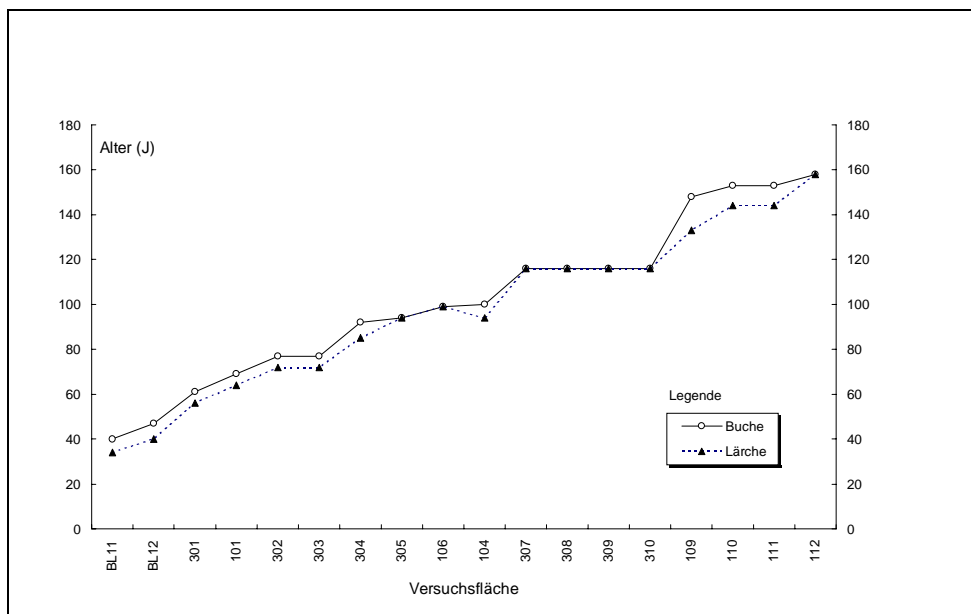


Abbildung 4-10: Alter und Altersdifferenz zwischen Buchen und Lärchen auf den 18 Versuchsflächen im Wuchsbezirk „Unterer Solling“. Die Altersangaben beziehen sich auf den Stichtag der Aufnahme 1994.

Im Zusammenhang mit der Frage der Herkunft der Lärchen in den untersuchten Beständen kommt DIPPEL (1988) auf Grundlage umfangreicher Literaturrecherchen zu dem Schluss, dass die meisten Lärchen aus beernteten Altbeständen im Solling selbst oder aus Tiroler Saatgut stammen. Es handelt sich demzufolge um angepasste Ökotypen, die sich im Praxisanbau seit nunmehr rd. 250 Jahren im Solling bewährt haben.

4.2.2 Ertragskundliche Bestandeskennwerte

4.2.2.1 Bonitäten

Um die Wuchsleistung der ausgewählten Versuchsflächen zu charakterisieren, wurden alle Bestände mit Hilfe der Ertragstafelsammlung von SCHÖBER (1995) bonitiert. Abbildung 4-11 zeigt die Bonitätsentwicklung über dem Alter getrennt nach Buche (oben) und Lärche (unten).

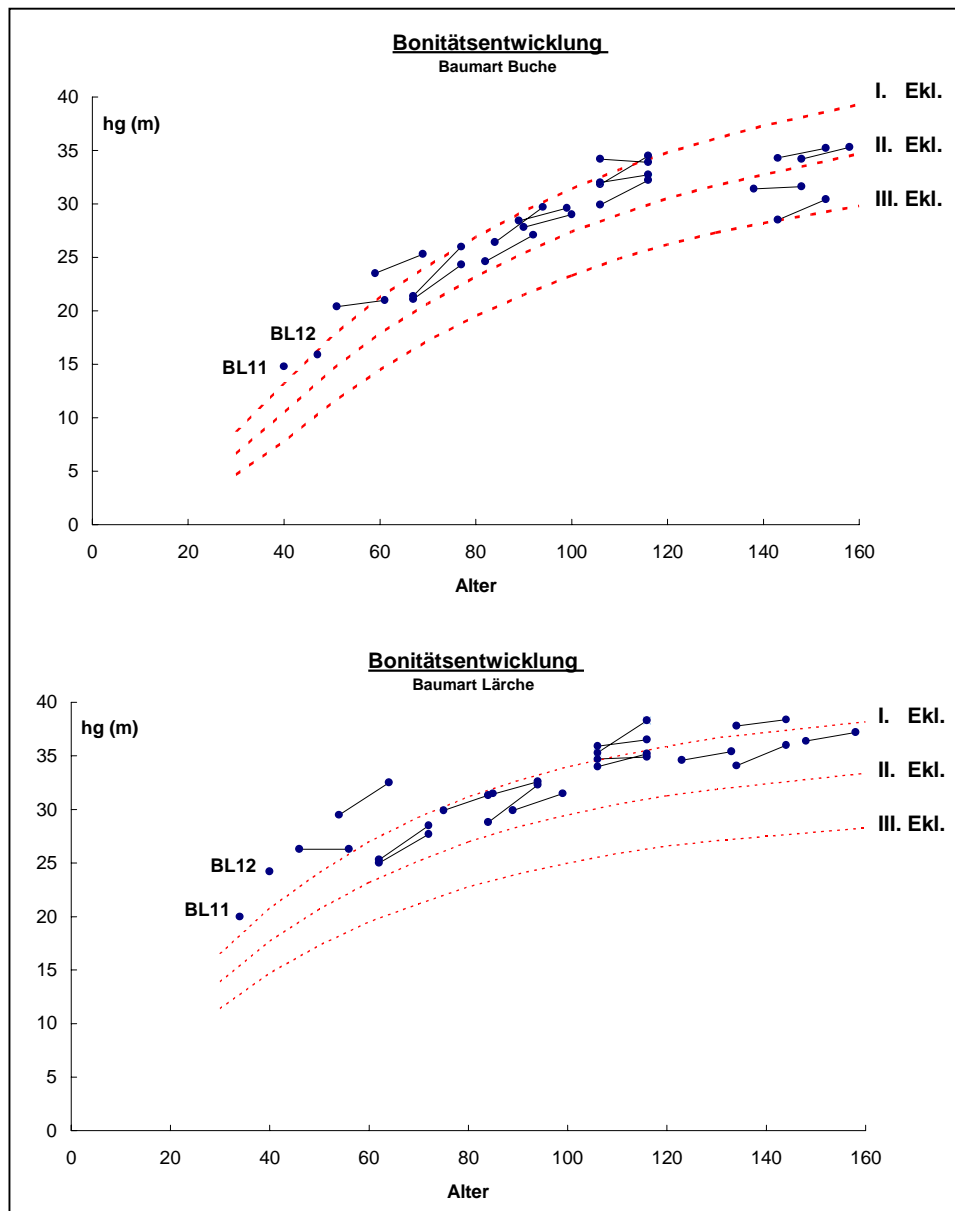


Abbildung 4-11: Bonitätsentwicklung über dem Alter getrennt nach Buche (oben) und Lärche (unten). Die ermittelten Höhenwerte sind je Einzelfläche durch eine Linie miteinander verbunden. (Referenz: Ertragstafelsammlung SCHÖBER 1995).

Die Bonitäten wurden mit Hilfe der Höhe des Grundflächenmittelstammes (h_g) ermittelt. Aufgrund des Bestandaufbaus, insbesondere der Vertikalstruktur, ist die Bonität der Lärche als Spitzenbonität zu interpretieren, während für die Buche die Höhe des Grundflächenmittelstammes der Alters-Mittelhöhenentwicklung entspricht.

Die Problematik der Oberhöhendefinition wie auch die eingeschränkte Aussagekraft der Bonitierung in Mischbeständen wurden in jüngster Zeit durch ZINGG (1994) und KELLER (1995)

erneut kontrovers diskutiert. KELLER (1995) kritisiert in diesem Zusammenhang, dass an feste Baumzahlen gebundene Oberhöhen (h_{100}) in Mischbeständen nach wie vor nicht eindeutig definiert sind. Umgekehrt verliert die Höhe des Grundflächenmittelstammes (h_g) mit zunehmender Ungleichaltrigkeit und Mischungintensität als Maßstab für die Standortsgüte zunehmend an Aussagekraft (WIEDEMANN 1951).

Für die Baumart Buche lässt sich erkennen, dass sich mit wenigen Ausnahmen alle Flächen zwischen der I. und II. Bonität befinden. Mit zunehmendem Alter lässt sich jedoch ein genereller Bonitätsabfall erkennen. So liegen bis zum Alter 70 einige Versuchsflächen noch über der I. Bonität, im Alter von 70 bis 120 Jahren zwischen I. und II. Bonität, während alle älteren Flächen nur noch geringfügig besser als die II. Bonität sind bzw. sogar unter der II. Bonität liegen. Im Vergleich der Aufnahmen 1984 und 1994 lassen sich jedoch keine gerichteten signifikanten Bonitätsverschiebungen in dem 10-jährigen Beobachtungszeitraum erkennen.

Die Bonitäten der beigemischten Lärchen sind hingegen als vergleichsweise heterogen zu beurteilen. Sie streuen über das gesamte erfasste Altersspektrum zwischen 40 und 160 Jahren ohne erkennbaren Trend um die I. Bonität. Die größten positiven Abweichungen weit über die I. Bonität lassen sich jedoch wiederum bis zum Alter 70 erkennen. Wie zuvor bei der Baumart Buche lässt sich auch für die Baumart Lärche keine gerichtete Bonitätsveränderung aus dem Vergleich der Bonitäten zu den beiden Aufnahmezeitpunkten 1984 und 1994 erkennen.

4.2.2.2 Stammzahlentwicklung

Abbildung 4-12 zeigt die Stammzahlentwicklung der aufgenommenen Mischbestände vom Alter 40 bis zum Alter 158 getrennt nach Buche und Lärche sowie nach der ermittelten Gesamtstammzahl. Demnach sinkt die Gesamtstammzahl kontinuierlich von rd. 2200 N/ha im Alter 40 bis auf 100 N/ha im Alter 158.

Parallel dazu verschieben sich die stammzahlbezogenen Mischungsanteile der Lärche von rd. 10 % auf maximal 30 %-40 % im starken Baumholzalter. Im Vergleich zur Ertragstafel wird erkennbar, dass die Stammzahlhaltung des Mischbestandes bis zum Alter 100 nahezu der eines Buchenreinbestandes I. Ertragsklasse entspricht. Erst ab dem Alter 100 ist der Trend zu beobachten, dass die Stammzahlen der untersuchten Mischbestände allmählich über das Ertragstafelniveau ansteigen. Die absoluten Stammzahlen der beigemischten Lärche schwanken innerhalb des Beobachtungszeitraumes zwischen 256 Lärchen/ha im Alter 54 und 24 Lärchen/ha im Alter von 158 Jahren. Relativ betrachtet steigt der Anteil der Lärchen an der Gesamtstammzahl von unter 10 % im Alter 40 auf über 30 % (maximal 40 %) im Alter von 158 Jahren.

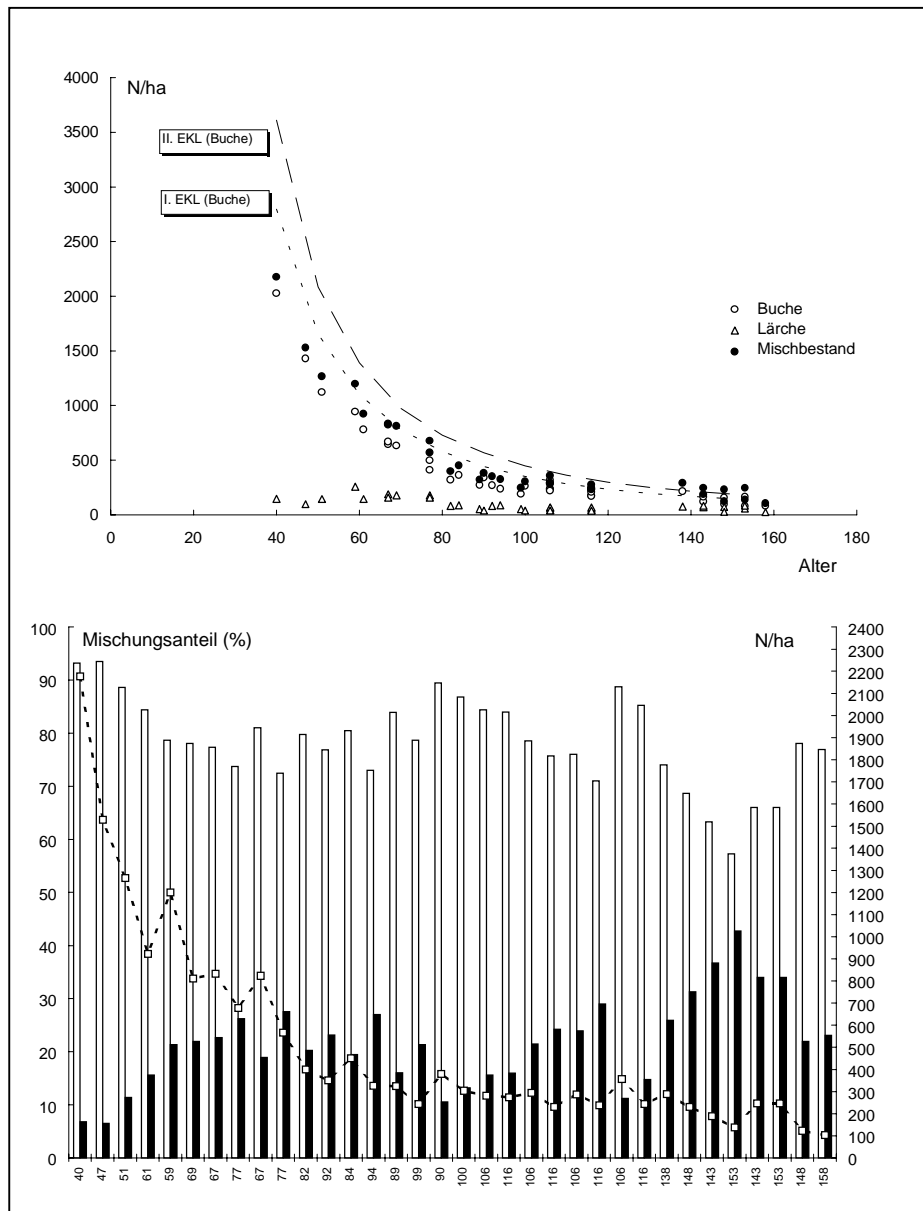


Abbildung 4-12: Entwicklung der Stammzahlen und stammzahlbezogenen Mischungsverhältnisse getrennt nach Buche und Lärche für den Beobachtungszeitraum zwischen 40 und 158 Jahren. (Referenz: Ertragstafelsammlung SCHOBER 1995; untere Grafik: prozentuale stammzahlbezogene Mischungsanteile der Buche als weiße Säulen, die der Lärche als schwarze Säulen dargestellt. Gesamtstammzahl als gestrichelte Linie über dem Alter aufgetragen).

4.2.2.3 Grundflächen- und Volumenentwicklung

Die Entwicklung der Grundflächenhaltung ist Abbildung 4-13 zu entnehmen. Es wird erkennbar, dass über den beobachteten Zeitraum hinweg die Grundflächen des Mischbestandes zwischen $32 \text{ m}^2/\text{ha}$ und maximal $45 \text{ m}^2/\text{ha}$ im Alter von 158 Jahren schwanken. Im Vergleich zur Ertragstafelentwicklung lässt sich erkennen, dass die Grundflächenhaltung des Mischbestandes bis zum Alter 140 weit über der des Buchenreinbestandes I. EKL liegt. Erst mit einsetzender Zielstärkennutzung auf der ältesten Fläche der Wuchsreihe sinkt die

Grundflächenhaltung auf 27 m² ab. Zugleich verschieben sich die Mischungsverhältnisse deutlich zugunsten der Buche. Über die gesamte beobachtete Bestandesentwicklung hinweg hält die Baumart Buche durchgängig Grundflächenanteile zwischen minimal 55 % und maximal 80 %.

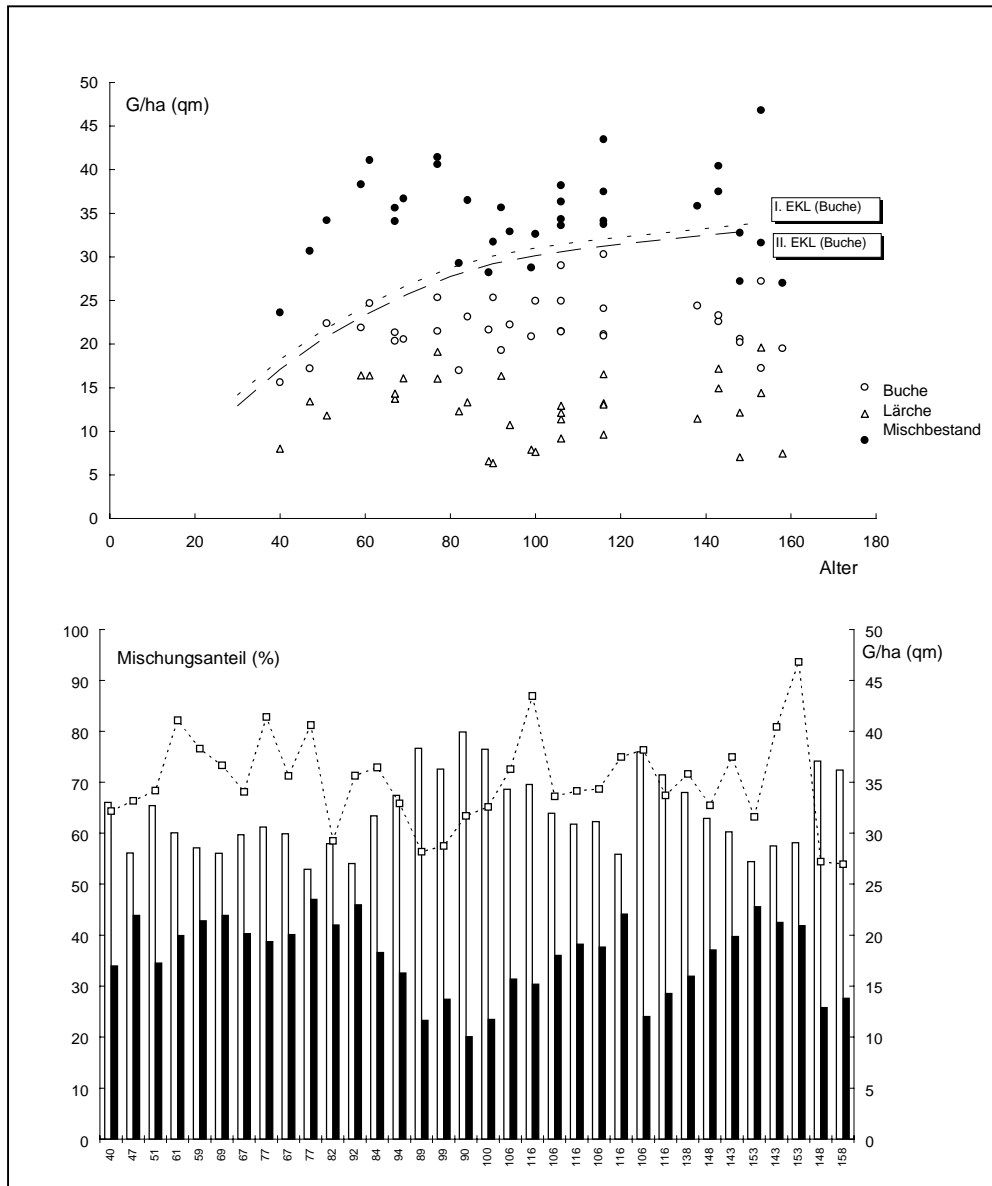


Abbildung 4-13: Entwicklung der Grundflächenhaltung und grundflächenbezogenen Mischungsverhältnisse getrennt nach Buche und Lärche für den Beobachtungszeitraum zwischen 40 und 158 Jahren. (Referenz: Ertragstafel-sammlung SCHOBER 1995; untere Grafik: prozentuale grundflächenbezogene Mischungsanteile der Buche als weiße Säulen, die der Lärche als schwarze Säulen dargestellt. Gesamtgrundfläche als gestrichelte Linie über dem Alter aufgetragen).

Die Entwicklung der Bestandesvorräte ist Abbildung 4-14 zu entnehmen. Für den unmittelbaren Vergleich mit den Vorräten des Ertragstafelmodells wurden die Vorräte getrennt für beide Baumarten Buche und Lärche mit Hilfe einer Anteilflächenberechnung (KRAMER U. AKÇA 1995) um Mischungsanteil und Bestockungsgrad bereinigt.

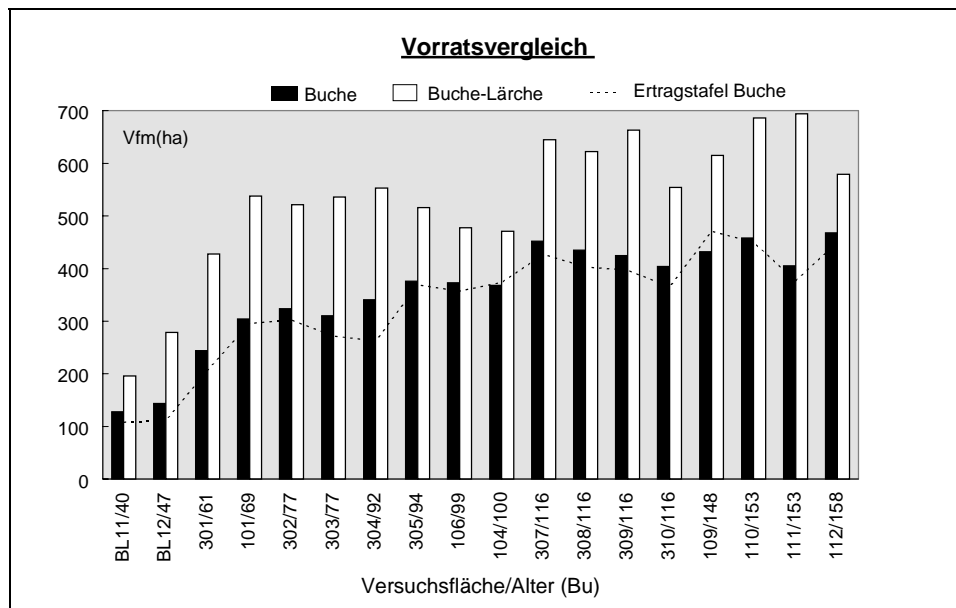


Abbildung 4-14: Entwicklung der Gesamtvorräte getrennt nach Buche und Buche-Lärche im Vergleich zum Ertragstafelmodell. (Referenz: Ertragstafel-sammlung SCHOBER 1995, Buche, starke Hochdurchforstung).

Vom Alter 40 bis zum Alter 158 lässt sich für die Baumart Buche (schwarze Säulen) ein kontinuierlicher Vorratsaufbau von 120 Vfm/ha bis auf annähernd 450 Vfm/ha beobachten. Als Referenz wurden die Ertragstafelvorräte für Buche (SCHOBER 1995, starke Df.) in die Abbildung mit aufgenommen. Es wird deutlich, dass in allen Buchen-Lärchen-Mischbeständen vom Alter 40 bis zum Alter 160 der Vorrat der Buche für sich genommen dem Ertragstafelniveau entspricht bzw. knapp darüber liegt. In Ergänzung dazu wurde der Vorrat der Mischbaumart Lärche ermittelt und aufaddiert (weiße Säulen). Demnach weisen die Versuchsflächen bereits im Alter 40 einen Bestandesvorrat von rd. 200 Vfm/ha auf. Bis zum Alter 153 akkumulieren sich die Bestandesvorräte in der Größenordnung von annähernd 700 Vfm/ha und verdeutlichen damit die enorme Leistungsfähigkeit von Buchen-Lärchen-Mischbeständen.

4.2.3 Strukturanalyse

Die wichtigsten Parameter zur Beschreibung der Bestandesstrukturen auf den 18 Versuchsflächen sind in tabellarischer Form **Anlage 3** zu entnehmen. In Anlehnung an die Definition von ASSMANN (1953) wurden die Anteile von Buche und Lärche an der Stammzahl, Grundfläche und am Bestandesvorrat getrennt nach Ober-, Mittel- und Unterschicht ausgewiesen. Zur Beschreibung der unterschiedlichen Artendominanz wurde die Evenness sowohl über die baumartenspezifischen Stammzahl- als auch über die Grundflächenanteile hergeleitet. Die Horizontalstruktur auf den Versuchsflächen wurde mit Hilfe des Aggregationsindex von CLARK u. EVANS (1954), die räumliche Artendurchmischung und ihre Entwicklung in dem 10-jährigen Zeitraum zwischen den beiden Aufnahmen mit Hilfe des Segregationsindex von PIELOU (1977) analysiert. Die Entwicklung der Vertikalstruktur wurde mit Hilfe des Artprofilindex (A) von PRETZSCH (1992f) untersucht.

Ergänzend wurden im Rahmen der Strukturanalyse Durchmesser- und Höhenverteilungen für alle 18 Versuchsflächen zum Stichtag 1984 und 1994 erstellt (siehe Anlage 3). In den

Verteilungen ist die Baumart Lärche schwarz markiert, die helle Signatur bezieht sich auf die Baumart Buche. Aus darstellungstechnischen Gründen mussten die Abszissen- bzw. Ordinatenwerte zwischen den Versuchsflächen unterschiedlich skaliert werden. Die Beschriftung der Durchmesser bzw. Höhenstufen gibt die Stufenobergrenze an. Die Stufenbreite beträgt 5 cm für die Durchmesserstufe bzw. 3 m für die Höhenstufe.

4.2.3.1 Entwicklung der Durchmesserverteilungen

Die Entwicklung der Durchmesserverteilung in den aufgenommenen Buchen-Lärchen-Mischbeständen vom Alter 34 bis zum Alter 158 ist Abbildung 4-15 zu entnehmen. Die Entwicklung ist in Form von Box-Plot Grafiken über dem Alter von Buche und Lärche zum Zeitpunkt der jeweiligen Aufnahme dargestellt. Jedem einzelnen Box-Plot ist der Median sowie die Quartil- und Extremwerte der altersbezogenen Durchmesserverteilung zu entnehmen.

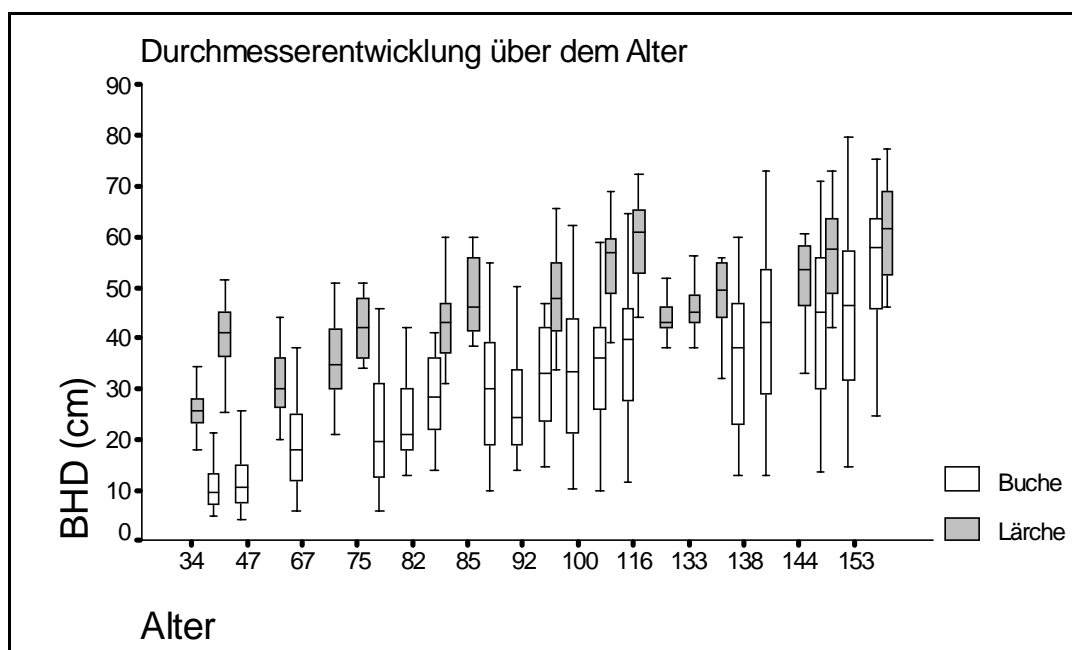


Abbildung 4-15: Entwicklung der Durchmesserverteilungen über dem Alter getrennt nach Buche und Lärche.

Im Vergleich zwischen Buche und Lärche zeigt sich, dass die Durchmesserverteilungen der Lärchen über die gesamte Bestandesentwicklung hinweg eine geringere Spreitung als die der Buchen aufweisen. Die zunehmende Differenzierung der Buche spiegelt sich einerseits in den größer werdenden Kästen (Boxes) wieder, die 50 % der Werte enthalten, die zwischen dem 25. und 75. Perzentil der Durchmesserverteilungen liegen. Andererseits deuten die ausgewiesenen Extremwerte, die sich von den einzelnen Kästen zum höchsten und niedrigsten Durchmesser erstrecken, darauf hin, in welchem Umfang die Durchmesserverteilungen der Buche zunehmend breiter werden. Ein markanter Durchmesservorsprung der Lärche lässt sich nur in der ersten Phase der Bestandesentwicklung erkennen. Bereits ab dem Alter 70 sind vereinzelte Buchen in ihrer Durchmesserentwicklung mit der Lärche vergleichbar. Im Laufe der weiteren Bestandesentwicklung ist aufgrund der anhaltenden Vitalität der Buche bis zum Alter 160 eine weitere zunehmende Nivellierung des anfänglichen Durchmesser Vorsprungs der Lärchen gegenüber der Buche zu beobachten.

4.2.3.2 Entwicklung der Höhenverteilungen

Die Entwicklung der Höhenverteilungen über dem Alter ist in Abbildung 4-16 dargestellt. Wie zuvor wurden die Ergebnisse der insgesamt 34 Aufnahmen als Box-Plot Darstellungen aufbereitet.

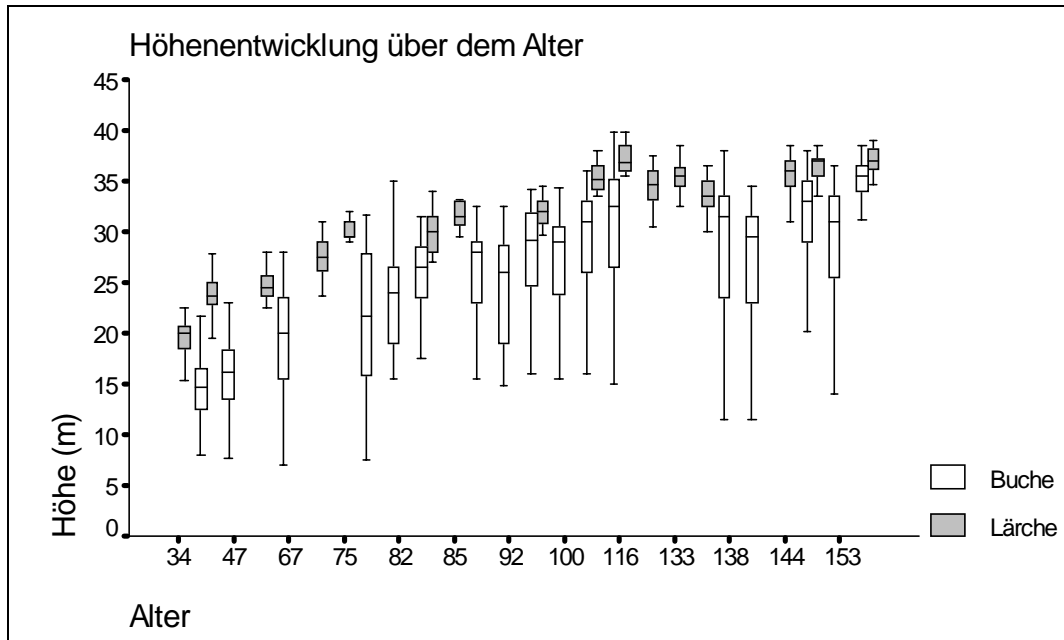


Abbildung 4-16: Entwicklung der Höhenverteilungen über dem Alter getrennt nach Buche und Lärche.

Noch deutlicher als bei den Durchmesserverteilungen fällt beim Vergleich der beiden Baumarten die geringe Spreitung der einzelnen Höhenverteilungen der Lärche über die gesamte Bestandesentwicklung hinweg auf. Darüber hinaus wird ersichtlich, dass sich das Lärchenkollektiv in der Vertikalstruktur von der Buche deutlich absetzt und sich in allen Phasen der Bestandesentwicklung nahezu ausschließlich im Herrschenden befindet. Die Buche zeigt hingegen bereits mit der ersten Aufnahme im Alter 37 eine ausgeprägte vertikale Differenzierung, die sich im Laufe der weiteren Bestandesentwicklung zunehmend vergrößert.

Die frühzeitig einsetzende Konkurrenz der Buche im herrschenden Kronenraum lässt sich indirekt aus den über den einzelnen Box-Plot Darstellungen ausgewiesenen Maximalwerten erkennen. So haben bereits im Alter 37 einzelne Buchen die mittlere Höhe herrschender Lärchen erreicht. Im Laufe der weiteren Bestandesentwicklung spiegelt die Entwicklung der Höhenverteilungen die anhaltende Dynamik der Buche wieder. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass auf vergleichbaren Standorten die Buche aufgrund ihrer Wuchsdynamik frühzeitig und anhaltend in Konkurrenz zur Lärche tritt.

4.2.3.3 Evenness

Die Entwicklung der Evenness zeigt Abbildung 4-17. Die Darstellung ist als Zeitreihe aufgebaut, wobei die Stammzahl von links nach rechts mit zunehmendem Alter von annähernd 2200 Bäumen/ha im Alter 40 bis auf 100 Bäume/ha im Alter von 158 Jahren abnimmt.

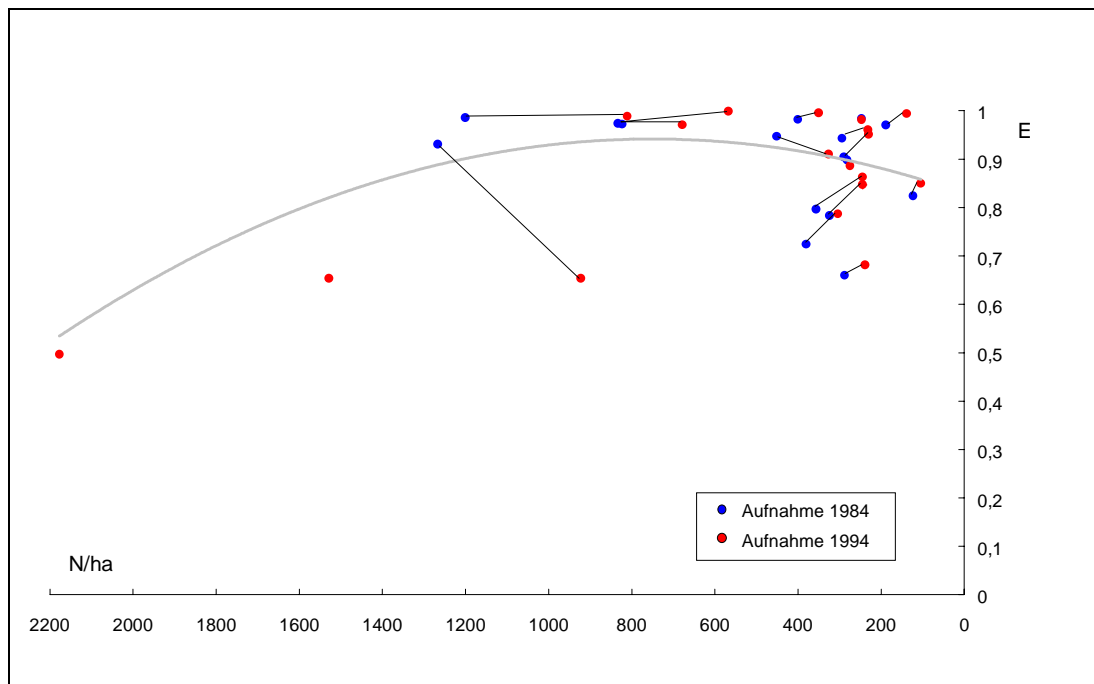


Abbildung 4-17: Entwicklung der Evenness über der Stammzahl für die beiden Aufnahmezeitpunkte 1984 und 1994.

Es wird erkennbar, dass sowohl die jüngeren Mischbestände mit Werten um 0,5 als auch der überwiegende Teil der älteren Bestände mit Werten um 0,8 größere Abundanzunterschiede aufweisen als der Großteil der mittelalten Mischbestände. Mit Werten um annähernd 1 zeichnen sich insbesondere die mittelalten Bestände durch eine ausgeprägtere Gleichverteilung der Baumartenanteile aus. Die in Abbildung 4-17 mit aufgenommene Trendlinie verdeutlicht die beschriebene Entwicklung und lässt erkennen, dass bis zu einer Stammzahl von 800 Bäumen/ha die Evenness zunächst kontinuierlich steigt, dann jedoch mit weiter zunehmendem Alter auf Werte um 0,8 abfällt.

Der Vergleich der Evenness zwischen den beiden Aufnahmezeitpunkten 1984 und 1994 lässt erkennen, dass sich die ermittelten Abundanzen in den mittelalten Beständen kaum verändern, hingegen auf den älteren, stammzahlärmeren Versuchsflächen kontinuierlich ansteigen. Dieser Trend wird darauf zurückgeführt, dass im Rahmen der Durchforstungseingriffe auf allen Flächen zu Gunsten der Lärche in die Buche eingegriffen wurde.

4.2.3.4 Analyse der Horizontalstruktur

Die Horizontalstruktur wurde mit Hilfe des Aggregationsindex „R“ (CLARK u. EVANS 1954) und dem Segregationsindex „S“ (PIELOU 1977) analysiert. Die Einzelergebnisse sind den Abbildungen 4-18 und 4-19 zu entnehmen. Wie zuvor sind alle Darstellungen als Zeitreihe aufgebaut, wobei die Stammzahlen von links nach rechts mit zunehmendem Alter von annähernd 2200 Bäumen/ha im Alter 40 bis auf 100 Bäume/ha im Alter von 158 Jahren abnehmen.

Aggregationsindex

Die Entwicklung des Aggregationsindex für das Gesamtkollektiv ist Abbildung 4-18 zu entnehmen. Demnach wird das horizontale Verteilungsmuster im Laufe der Bestandesentwicklung zunehmend regelmäßiger. Der Index R steigt linear von 0,8 im Alter 40 auf 1,3 im Alter von 158 Jahren an. Diese Tendenz wird auf die Durchforstungseingriffe in der Vergangenheit zurückgeführt, die langfristig abstandsregulierenden Charakter hatten.

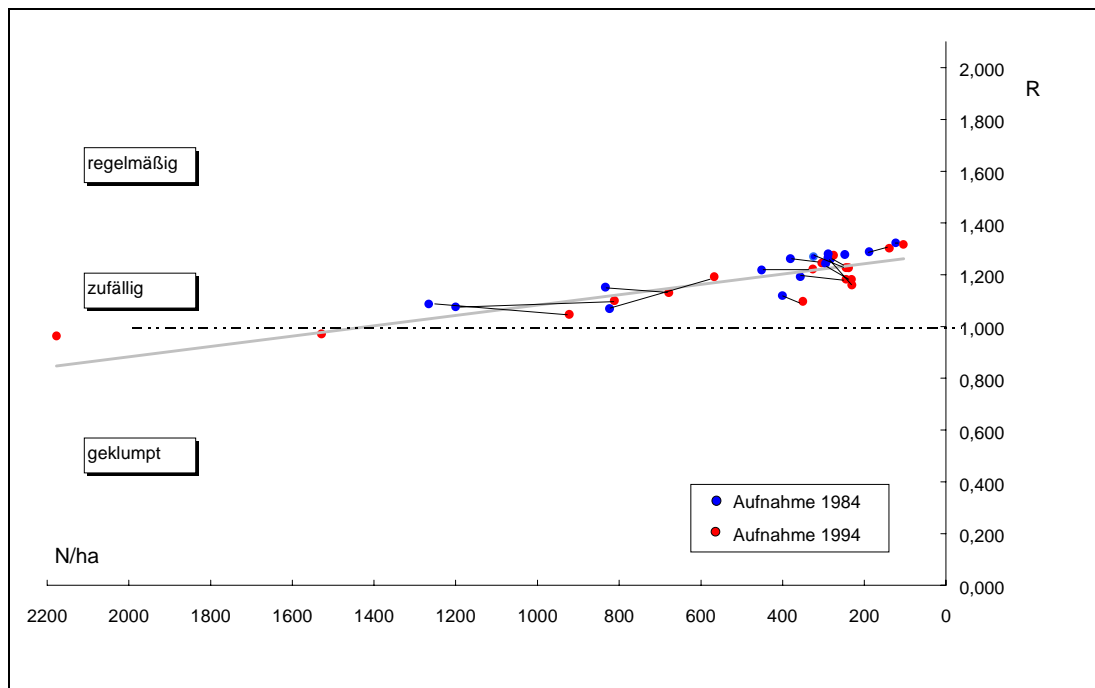


Abbildung 4-18: Entwicklung des Aggregationsindex für das Gesamtkollektiv für die beiden Aufnahmezeitpunkte 1984 und 1994.

Im Gegensatz zu diesem allgemeinen Trend lassen sich aufgrund der Durchforstungseingriffe auf den einzelnen Versuchsfeldern zwischen den beiden Aufnahmezeitpunkten 1984 (blaue Punkte) und 1994 (rote Punkte) keine einheitlichen Tendenzen hinsichtlich der Entwicklung des horizontalen Baumverteilungsmusters erkennen.

Die Baumart Lärche zeigt über ihre gesamte Altersentwicklung hinweg keine einheitliche Tendenz zur Klumpung bzw. Regelmäßigkeit (siehe dazu Abbildung 4-19). Vielmehr zeichnet sich das Lärchenkollektiv durch ein überwiegend zufälliges Baumverteilungsmuster aus, dass auch im Vergleich der Dynamik zwischen den beiden Aufnahmezeitpunkten keine einheitliche Tendenz erkennen lässt.

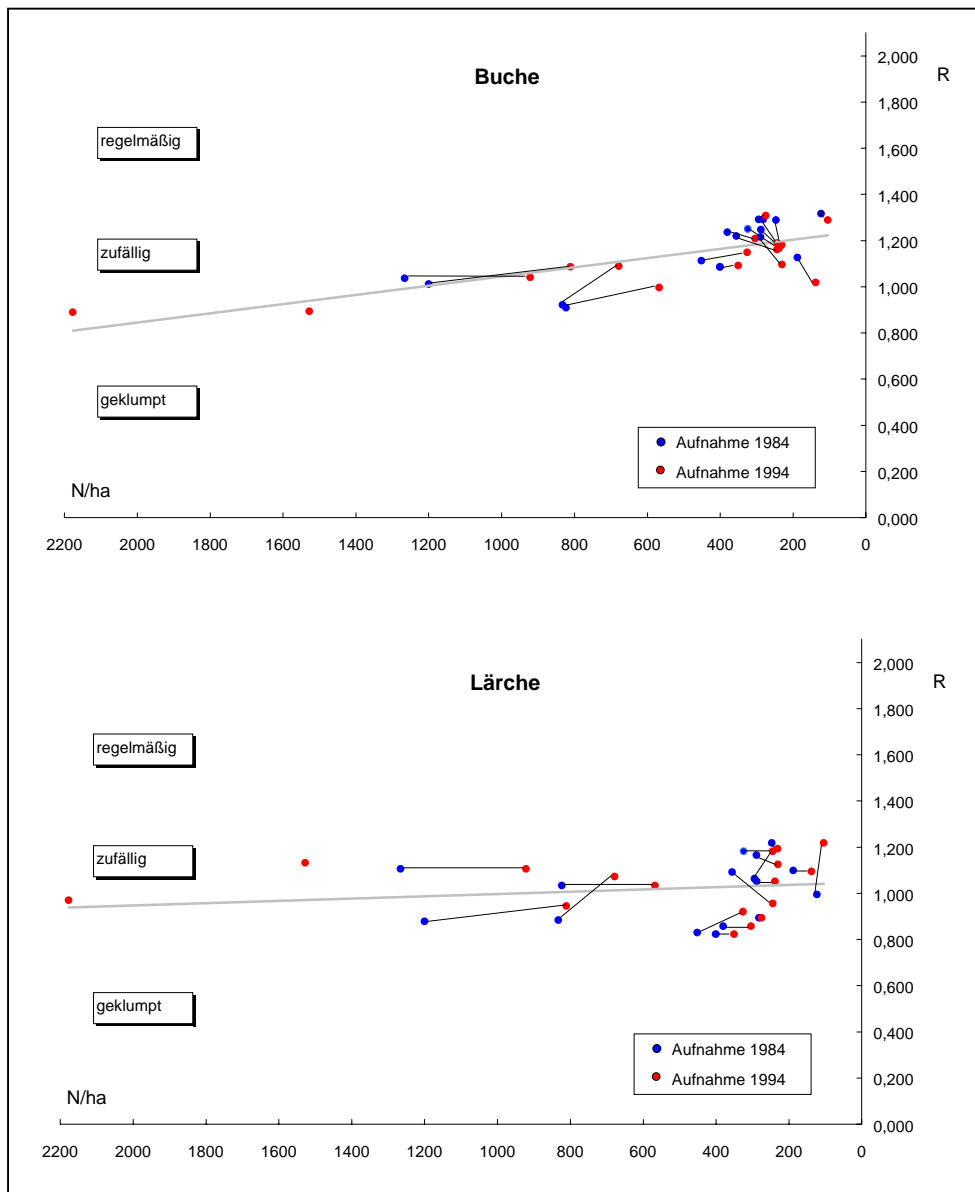


Abbildung 4-19: Entwicklung des Aggregationsindex getrennt nach Buche und Lärche für die beiden Aufnahmezeitpunkte 1984 und 1994.

Das Kollektiv der Buchen lässt hingegen mit zunehmendem Alter eine schwache Tendenz zu einem stärker regelmäßigen Baumverteilungsmuster erkennen (siehe Abbildung 4-19).

Segregationsindex

In Abbildung 4-20 ist die Entwicklung des Segregationsindex S über dem Alter dargestellt. Es zeigt sich, dass Buche und Lärche auf dem überwiegenden Teil der Versuchsflächen die Tendenz zur Assoziation aufweisen. Auch mit zunehmendem Alter kommt es zu keiner deutlichen Entmischung zwischen den beiden Baumarten. Dieser Umstand wird auf die enge Umfütterung der Lärchen durch Buche im Zwischen- und Unterstand zurückgeführt.

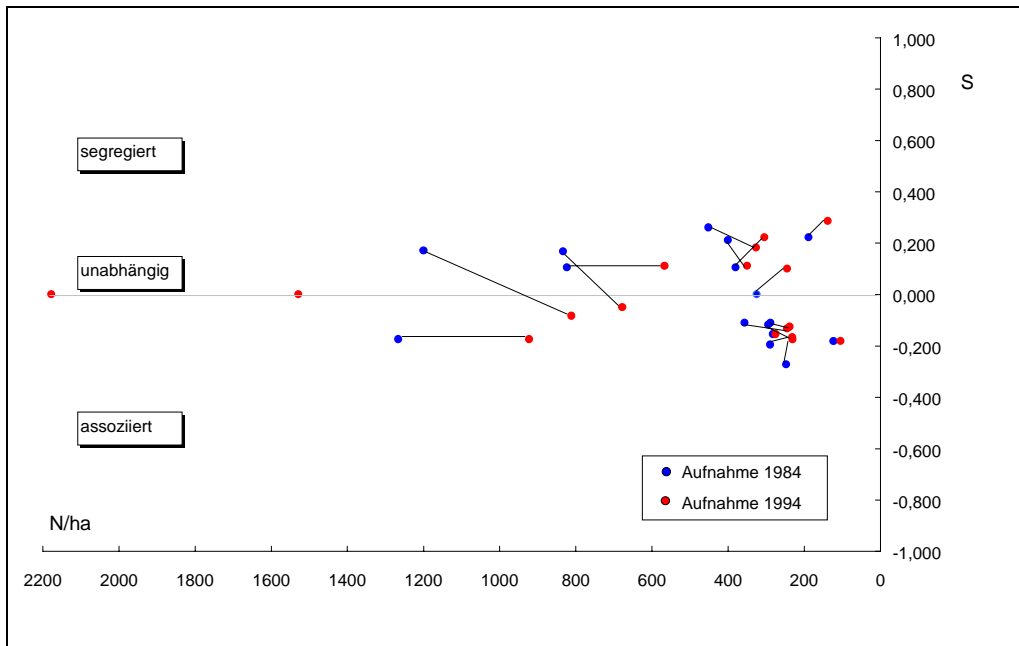


Abbildung 4-20: Entwicklung des Segregationsindex für die beiden Aufnahmezeitpunkte 1984 und 1994.

4.2.3.5 Analyse der Vertikalstruktur

Zur Beschreibung der Vertikalstruktur wurde der *Artprofilindex A* (PRETZSCH 1992f) berechnet. Der Index beschreibt die vertikale Durchmischung von zwei oder mehr Baumarten in definierten relativen Höenschichten. Dazu wurden die Buchen-Lärchen-Mischbestände in Anlehnung an die Definition von ASSMANN (1953) in drei Höenschichten eingeteilt.

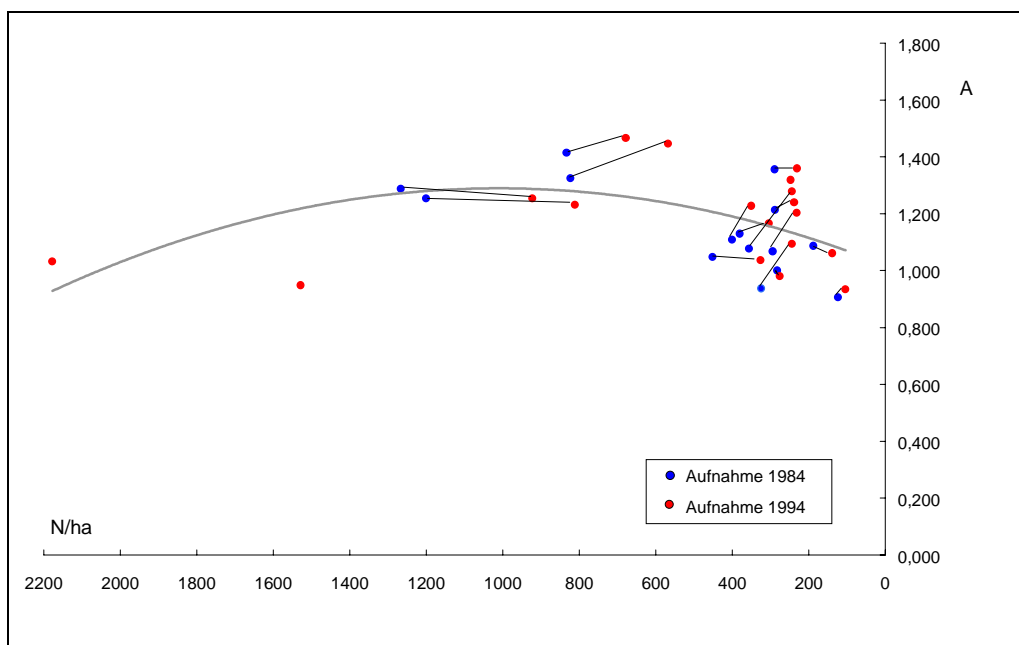


Abbildung 4-21: Entwicklung des Artprofilindex für die beiden Aufnahmezeitpunkte 1984 und 1994. (Die eingezeichnete Trendlinie verdeutlicht, dass bis zu einer Stammzahl von annähernd 1000 Bäumen/ha der Index ansteigt und mit weiter abnehmender Stammzahl wieder absinkt).

Bei zwei untersuchten Baumarten und einer Untergliederung des Bestandes in drei Höhen-schichten liegt der theoretische Wertebereich des Artprofilindex zwischen 0, d. h. nur eine der Baumarten konzentriert sich auf eine der Höhenzonen, und 1,79. In diesem Fall verteilen sich die beiden Baumarten völlig gleichmäßig auf die drei ausgeschiedenen Höhenzonen. Die Zeit-reihe (siehe Abbildung 4-21) lässt erkennen, dass bis zu einer Stammzahlhaltung von 1000 Bäumen/ha der Artprofilindex bis auf annähernd 1,3 ansteigt. Diese Entwicklung wird auf die unterschiedliche Wuchsdynamik der beiden Baumarten zurückgeführt. In der frühen Phase der Bestandesentwicklung dominiert die Lärche in der Oberschicht, während die Buche über-wiegend in der Mittel- und Unterschicht vertreten ist. In der weiteren Bestandesentwicklung steigt der Artprofilindex zunächst noch weiter an. Dieser Umstand wird auf die zunehmende Gleichverteilung von Buche und Lärche in der Oberschicht zurückgeführt. Erst in der zweiten Hälfte der Bestandesentwicklung kommt es schließlich zu einer deutlichen Abnahme auf Werte um 1. Die stetige Abnahme des Artprofilindex wird in diesem Zusammenhang auf zwei Entwicklungstendenzen zurückgeführt. Zum einen nimmt die Buche aufgrund ihrer anhalten- den Wuchsdynamik in der Oberschicht laufend größere Anteile ein. Zum anderen nimmt der Anteil der unter- und zwischenständigen Buche laufend ab, so dass es zu einer rechnerischen Verschiebung des Artprofilindex kommt.

4.2.4 Soziale Stellung, Schaftqualität und Kronenausformung - Analyse der verbalen Stamman-sprache

In Ergänzung zu den Auswertungen der numerisch erfassten Bestandesparameter wurde das Ergebnis der verbalen Stamman-sprache analysiert. Für die Auswertungen wurde wie zuvor unterstellt, dass die als unechte Zeitreihe aufgenommenen Mischbestände sowohl hinsichtlich ihrer Bestandesentwicklung als auch hinsichtlich ihrer waldbaulichen Pflege in der Vergangenheit als homogen betrachtet werden können.

Datenumfang und Stratifizierung

Die Ansprache der sozialen Stellung sowie der Schaft- und Kronenform erfolgte auf 9 der 18 aufgenommenen Buchen-Lärchen-Mischbestände im Solling. Angesprochen wurden insgesamt 1023 Buchen sowie weitere 163 Lärchen. Die 1994 durchgeführten Stamman-sprachen erfassen damit ein breites Altersspektrum von 40 bis zu 160 Jahren.

Tabelle 4-2: Datenumfang und Stratifizierung für die Analyse der verbalen Stamman-sprache

Altersphase	Stangenholz	geringes Baumholz	mittleres Baumholz	starkes Baumholz	Gesamt
Versuchsflächen	2	3	2	2	9
D _g (Buche)	10 - 12	19 - 33	38 - 43	52 - 57	
Buche (N)	708	172	90	53	1023
E. Lärche (N)	57	39	43	24	163
Probanden-zahl					1186

Für die weiteren Analysen wurden die Flächen in Anhalt an die Anweisung zur Forstein-richtung (NFP 1987) den vier Altersphasen vom Stangenholz bis zum starken Baumholz zugeordnet. Dabei wurde der BHD des Grundflächenmittelstammes (d_g) der Baumart Buche als Ordnungsvariable zugrunde gelegt. Der Stangenholzphase (7-14 cm BHD) schließen sich

die geringe (15-37 cm BHD), mittlere (38-50 cm BHD) und starke Baumholzphase mit einem mittleren BHD von > 50 cm an. Die Zuordnung der einzelnen Versuchsflächen auf die gebildeten Straten sowie die Verteilung des Stichprobenumfangs sind Tabelle 4-2 zu entnehmen. Darüber hinaus wurden für die waldbauliche Interpretation der Ergebnisse die teilweise sehr differenzierten Merkmalsansprachen zusammengefasst.

4.2.4.1 Soziale Stellung

Das Ergebnis der Ansprache der sozialen Stellung ist Tabelle 4-3 zu entnehmen. Demnach erhöht sich der Anteil herrschender Buchen von 26 % im Stangenholzalter auf 83 % im starken Baumholzalter. Parallel dazu sinkt sowohl der Anteil zurückbleibender, aber noch schirmfreier Buchen von 19 % auf 6 % als auch der Anteil unterdrückter und absterbender Buchen von 55 % auf 11 %. Die Lärche ist im Gegensatz dazu von der Stangenholzphase bis zum starken Baumholz nahezu ausschließlich in der herrschenden Bestandesschicht vertreten.

Tabelle 4-3: Ergebnis der Ansprache der sozialen Stellung

Altersstufe	herrschend		zurückbleibend aber schirmfrei		unterdrückt, absterbend		Gesamtzahl
	absolut	%	absolut	%	absolut	%	
Buche							
Stangenholz	183	26	132	19	392	55	707
ger. Baumholz	98	58	13	8	58	34	169
mittl. Baumholz	49	55	7	8	33	37	89
st. Baumholz	44	83	3	6	6	11	53
Gesamtumfang							1018
Lärche							
Stangenholz	55	96	2	4	-	-	57
ger. Baumholz	37	95	2	5	-	-	39
mittl. Baumholz	43	100	-	-	-	-	43
st. Baumholz	24	100	-	-	-	-	24
Gesamtumfang							163

4.2.4.2 Analyse der Schaftqualitäten

Das Ergebnis der Schaftansprachen ist in Tabelle 4-4 zusammengestellt. Für die Auswertung wurden im Fall der Baumart Buche die Merkmale „schwach“ bis „normal bogig“ als geringe Schaftfehler, hingegen die Merkmale „stark bogig“ und „Zwieselbildungen unter 10 m“ als starke Schaftfehler zusammengefasst. Im Fall der Baumart Lärche wurden hingegen „schwache“ bis „geringe Säbelwüchsigkeit“ als geringe Schaftfehler zusammengefasst. Als starker Schaftfehler wurde ausschließlich das Merkmal „starke Säbelwüchsigkeit“ erfasst.

Die Ergebnisse weisen für beide Baumarten auffallend gegenläufige und waldbaulich unplausible Tendenzen hinsichtlich der Entwicklung der Schaftqualitäten aus. So nimmt der Anteil fehlerfreier Schaftqualitäten in der Buche von 44 % in der Stangenholzphase zunächst auf 22 % bis 25 % im geringen und mittleren Baumholz ab. Im starken Baumholz wird hingegen der Anteil fehlerfreier Buchenschäfte auf 32 % eingeschätzt. Bei der Baumart Lärche nimmt

der Anteil fehlerfreier Schäfte von 37 % in der Stangenholzphase auf 42 % im starken Baumholz zu, während umgekehrt der Anteil von Lärchen mit geringen Schaftfehlern von 63 % im Stangenholz auf 50 % im starken Baumholzalter abnimmt. Auf eine weitergehende Interpretation der Ergebnisse wurde daher verzichtet. Vielmehr verdeutlichen die uneinheitlichen Tendenzen, dass im Fall der aufgenommenen Buchen-Lärchen-Zeitreihe offensichtlich nicht von einer vergleichbaren qualitativen Ausgangshomogenität der Einzelbestände ausgegangen werden kann.

Tabelle 4-4: Ergebnis der Ansprache der Schaftqualitäten

Altersstufe	ohne Schaftfehler		geringe Schaftfehler		starke Schaftfehler		Gesamtzahl
	absolut	%	absolut	%	absolut	%	
Buche							
Stangenholz	137	44	138	44	39	12	314
ger. Baumholz	25	22	55	49	32	29	112
mittl. Baumholz	14	25	40	71	2	4	56
st. Baumholz	15	32	24	51	8	17	47
Gesamtumfang							529
Lärche							
Stangenholz	21	37	36	63	-	-	57
ger. Baumholz	19	49	19	49	1	2	39
mittl. Baumholz	18	42	24	56	1	2	43
st. Baumholz	10	42	12	50	2	8	24
Gesamtumfang							163

4.2.4.3 Analyse der Kronenausformung

Tabelle 4-5 ist das Ergebnis der verbalen Ansprache der Kronenausformung zu entnehmen. Für beide Baumarten lässt sich eine gleichgerichtete Tendenz erkennen, wonach mit Eintritt in das geringe Baumholzalter der Anteil einseitig entwickelter Kronen überproportional ansteigt. Für die Baumart Buche liegt der Anteil einseitig entwickelter Kronen ab dem geringen Baumholzalter konstant zwischen 50 % und 60 %. Für die Baumart Lärche lässt sich hingegen bis in das starke Baumholzalter eine Zunahme einseitig entwickelter Kronen auf über 70 % des erfassten Gesamtkollektiv beobachten. Parallel dazu nimmt der Anteil gut ausgeprägter, symmetrischer Lärchenkronen von 78 % im Stangenholzalter bis auf 25 % im starken Baumholzalter ab. Hingegen verringert sich der Anteil gut ausgeprägter Buchenkronen vergleichsweise geringfügig von 43 % auf 30 %. Der Anteil eingeklemmter Buchenkronen wird über die gesamte Bestandesentwicklung hinweg mit rund 20 % eingeschätzt. Als offensichtliche Kronenschäden wurden im Gesamtkollektiv drei Kronenbrüche in der Lärche sowie ein Kronenbruch in der Buche beobachtet.

Tabelle 4-5: Ergebnis der Ansprache der Kronenausformung

Altersstufe	runde, symmetrische Krone		einseitige, gering runde Krone		geklemmte Krone		Gesamtzahl
	absolut	%	absolut	%	absolut	%	
Buche							
Stangenholz	135	43	111	35	69	22	315
ger. Baumholz	31	28	64	58	16	14	111
mittl. Baumholz	20	36	29	52	7	12	56
st. Baumholz	14	30	25	53	8	17	47
Gesamtumfang							529
Lärche							
Stangenholz	43	78	9	17	3	5	55
ger. Baumholz	18	44	20	51	2	5	40
mittl. Baumholz	19	42	24	56	1	2	44
st. Baumholz	6	25	18	75	-	-	24
Gesamtumfang							163

4.2.4.4 Anzahl und Verteilung potentieller Ausleseebäume

Um einen Überblick über den absoluten Umfang und die Verteilung der qualitativ guten und waldbaulich besonders förderungswürdigen Bestandesglieder zu erhalten, wurden auf Grundlage der Stammansprachen „potentielle Ausleseebäume“ definiert. Der Begriff „potentieller Auslesebaum“ wurde in Anlehnung an NÜBLEIN (1995) gewählt. Es handelt sich dabei um das Kollektiv qualitativ besonders guter und damit förderungswürdiger Bäume, wobei jedoch nicht berücksichtigt wird, ob der jeweilige Baum tatsächlich herausgepflegt wurde.

Für das Kollektiv der Buchen wurden als potentielle Ausleseebäume herrschende Stämme mit guter bis höchstens **schwach** bogig ausgeprägter Schaftform ausgewiesen. Für die Baumart Lärche wurde hingegen das Kriterium Schaftform noch enger ausgelegt und nur Lärchen mit ausschließlich guter Schaftform als potentielle Ausleseebäume definiert. Hinsichtlich der Kronenausformung wurden für beide Baumarten alle Ausprägungen außer der **stark** geklemmten bzw. **stark** einseitig entwickelten Krone toleriert. Die Ergebnisse der Analyse sind Tabelle 4-6 zu entnehmen.

Tabelle 4-6: Stammzahl und Mischungsanteile potentieller Ausleseebäume in den verschiedenen natürlichen Altersstufen

	<i>Potentielle Ausleseebäume</i>				
	Buche (N/ha)	Lärche (N/ha)	Gesamt (N/ha)	Buche %	Lärche %
Stangenholz	418	45	463	90	10
ger. Baumholz	211	42	253	83	17
mittl. Baumholz	52	29	81	64	36
st. Baumholz	29	20	49	59	41

Demnach sinkt vom Stangenholz im Alter 40 bis zum starken Baumholz im Alter 160 die

Anzahl potentieller waldbaulich förderungswürdiger Ausleseebäume absolut betrachtet von 463 Stämme/ha auf 49 Stämme/ha. Relativ zur Stammzahlhaltung können über die gesamte Bestandesentwicklung hinweg zwischen 34 % und maximal 55 % aller herrschenden Bestandesglieder als potentielle Ausleseebäume eingestuft werden. Innerhalb dieses Kollektivs nimmt der Mischungsanteil der Lärche von 10 % im Stangenholz kontinuierlich bis auf 41 % im starken Baumholzalter zu, während umgekehrt der Anteil der Buche von 90 % auf 59 % abnimmt.

4.2.4.5 Astfreie Schaftlängen der potentiellen Ausleseebäume

In Ergänzung zu der verbalen Ansprache der Schaftqualitäten wurden die astfreien Schaftlängen ermittelt. Abbildung 4-22 zeigt den einfachen logarithmischen Ausgleich über dem BHD.

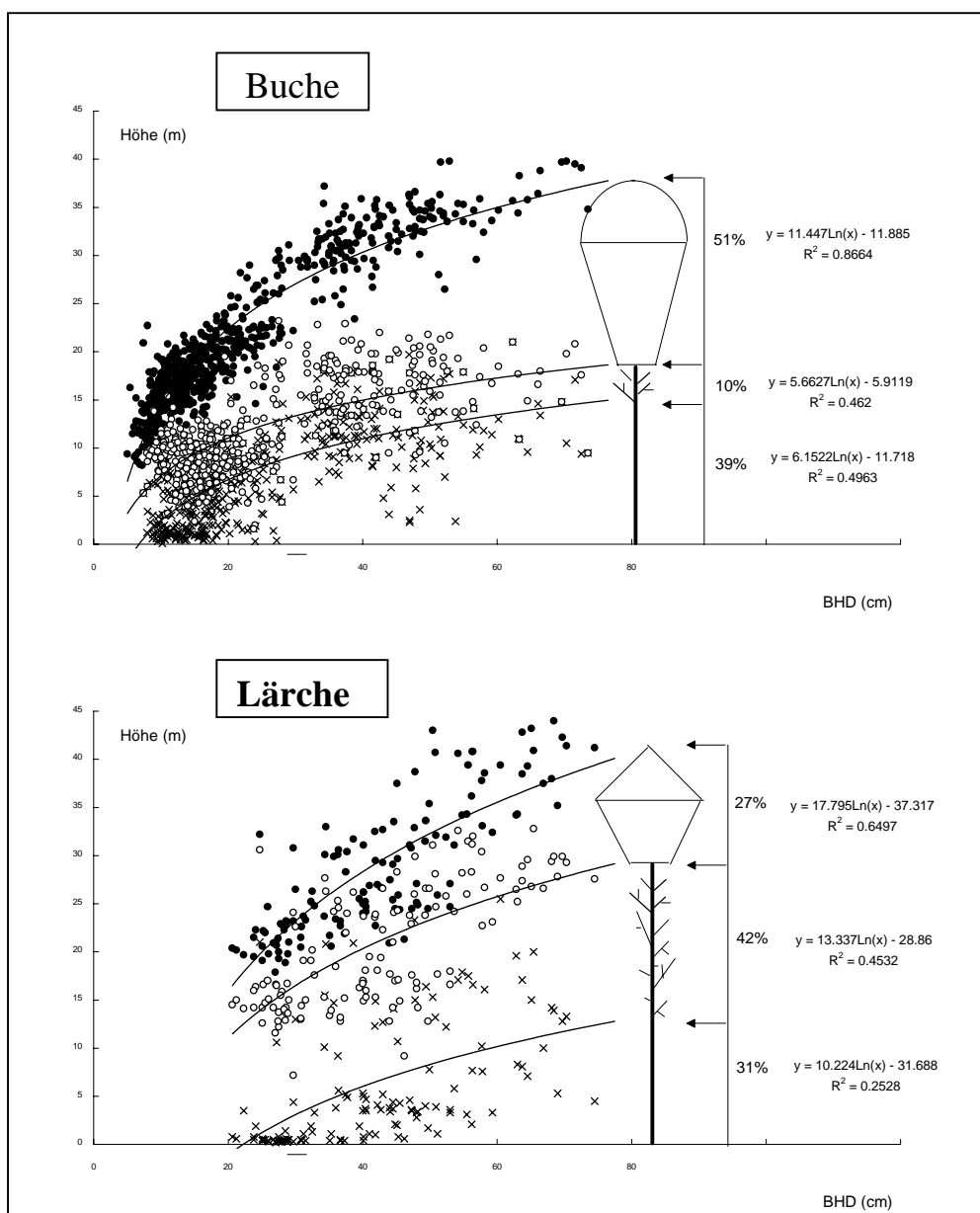


Abbildung 4-22: Entwicklung von Kronenansatz und astreinen Schaftlängen hergeleitet für das Kollektiv „potentieller Ausleseebäume“.

Für beide Baumarten wurden darüber hinaus sowohl die baumartenspezifischen Höhenkurven als auch die Funktionen zur Beschreibung des Kronenansatzes mit aufgenommen. Alle drei Funktionen wurden ausschließlich für das Kollektiv der „potentiellen Ausleseebäume“ parametrisiert.

Im unterstellten Modellfall einer zielstarken Buche mit 65 cm BHD teilt sich die Gesamtlänge der annähernd 36 m hohen Buche auf 14 m astreine Schaftlänge (39 %), weitere ca. 4 m astige Schaftlänge (10 %) sowie rund 18 m Krone (51 %) auf. Während die Kronenlänge mit zunehmendem BHD im Verhältnis zur astreinen Schaftlänge überproportional ansteigt, verschiebt sich der Kronenansatz nahezu proportional zur astreinen Schaftlänge.

Für den unterstellten Modellfall einer Lärche mit einer angestrebten Zieldimension von 70 cm BHD errechnet sich bei einer Ausgangshöhe von 38 m eine astreine Schaftlänge von 12 m Länge (31 %). Weitere 16 m des Schaftes (42 %) werden als Trockenastzone angesprochen, während die eigentliche Krone nur 10 m (27 %) der Gesamthöhe des Baumes umfasst. Im Vergleich der sechs Funktionen fällt das geringe Bestimmtheitsmaß der Funktion auf, mit der die astreine Schaftlänge für die Baumart Lärche über dem BHD ausgeglichen werden konnte. Dieser Umstand wird darauf zurückgeführt, dass zwar nicht alle, aber ein großer Teil der als qualitativ besser eingestuften Lärchen unterschiedlich hoch geästet wurden. Im Gegensatz zur Buche fällt der deutliche Anstieg des Kronenansatzes der Lärche mit zunehmendem Alter auf. Dies deutet auf die Konkurrenzkraft der nachschiebenden Buche hin, die im Laufe der Bestandesentwicklung die Kronen der Lärchen „aufarbeitet“ und damit die kontinuierliche Abnahme des Kronenprozentes verursacht.

4.3 Kronenparameter von Buchen und Lärchen im Mischbestand

4.3.1 Überschilderung

Die Überschilderungssituation auf den einzelnen Versuchsflächen wurde mit Hilfe der Programmroutine „Trees“ (BEISCH 1995) analysiert. Vergleichbar mit dem Vorgehen beim Planimeterraster ermittelt das Programm die Überschilderung mit Hilfe einer Rasterabfrage. Die eingelesenen Kronenkarten werden dabei standardmäßig mit einer Rasterweite von 1 m analysiert. Für die Untersuchungen in den Buchen-Lärchen-Mischbeständen wurden ausschließlich die auf Grundlage der Kronenablotungen von 1994 erstellten Kronenkarten verwendet. Für die Analyse wurden die gemessenen Kronenablotungen als asymmetrische Polygonzüge eingelesen. Abbildung 4-23 zeigt den Anteil der überschilderten Fläche auf den 18 analysierten Mischbestandsversuchsflächen.

Die Abbildung ist als Zeitreihe vom Alter 40 (Fläche BL11) bis zum Alter 158 (Fläche 112) aufgebaut. Für einen okularen Vergleich können die Kronenprojektionskarten (Anlage 3) herangezogen werden. Im Durchschnitt des gesamten Beobachtungszeitraumes sind die Flächen zu 76 % überschildert. Tendenziell lässt sich erkennen, dass die Überschilderungssituation mit zunehmendem Alter geringfügig ansteigt, wobei die Überschilderungsprozente nur geringfügig zwischen 70 % und 85 % streuen. Auffällig ist das vergleichsweise geringe Überschilderungsprozent von weniger als 60 % auf der Versuchsfläche 110. Ursächlich ist dies auf einen starken Durchforstungseingriff (Zielstärkennutzung) in dem 143-jährigen Buchenbaumholz zurückzuführen.

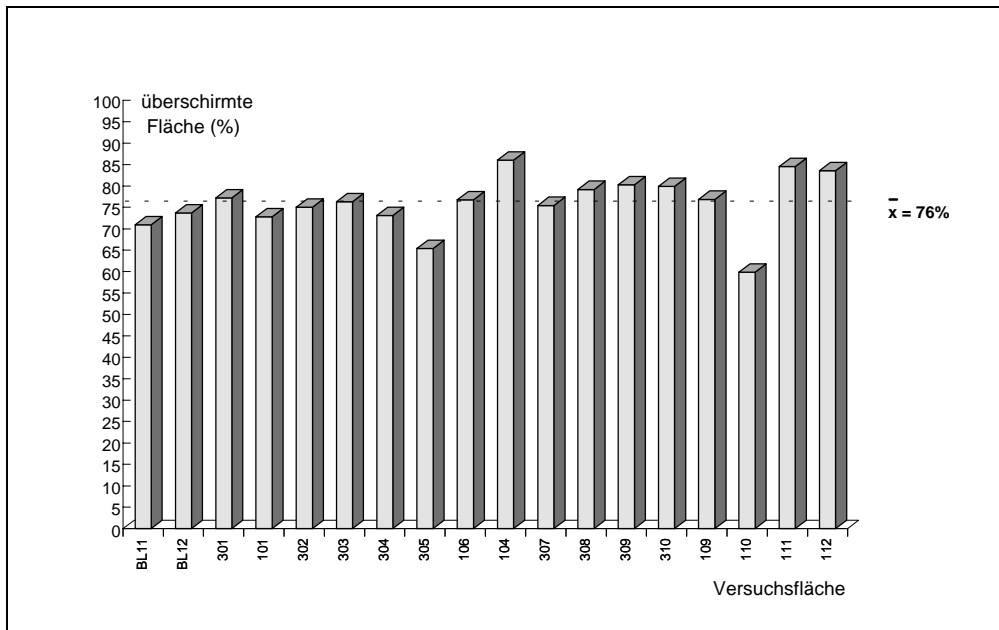


Abbildung 4-23: Entwicklung der Gesamtüberschirmung in den Buchen-Lärchen-Mischbeständen vom Alter 40 bis zum Alter 158.

Die Entwicklung der Überschirmungsverhältnisse getrennt nach Einfach- und Mehrfachüberschirmung ist Abbildung 4-24 zu entnehmen. Wie zuvor ist die Abbildung als Zeitreihe aufgebaut.

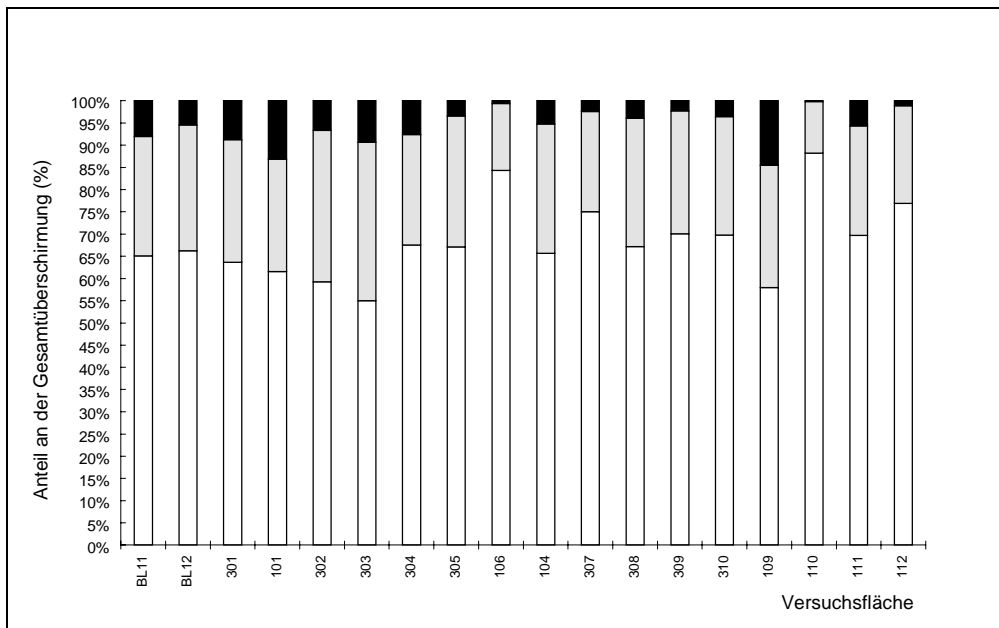


Abbildung 4-24: Entwicklung der Überschirmungssituation getrennt nach Einfach- und Mehrfachüberschirmung vom Alter 40 bis zum Alter 158. (Hell: einfach überschirmt, grau: zweifach überschirmt, schwarz: drei- und mehrfach überschirmt).

Im Durchschnitt der beobachteten Mischbestände ist die Überschirmung der Fläche durch den Altbestand zu 68 % als „einfach“ überschirmt zu charakterisieren. Weitere 26 % sind im Durchschnitt „zweifach“ überschirmt und nur 6 % der Gesamtüberschirmung setzt sich aus mehr als zweifacher Überschirmung zusammen. Die Zeitreihe lässt erkennen, dass im Laufe

der Bestandesentwicklung vom Stangenholz bis zum starken Baumholz die relativen Anteile zwischen „einfacher“ und „zweifacher“ Überschirmung an der Gesamtüberschirmung ohne erkennbaren signifikanten Trend zwischen 15 % und 35 % schwanken. Parallel dazu nimmt der Anteil „drei und mehrfach“ überschirmter Fläche im Laufe der Bestandesentwicklung kontinuierlich ab.

4.3.2 Kronenausformung

Die richtungsspezifische Kronenausformung wurde mit Hilfe des Parameters „Exzentrizität“ analysiert. Dabei sollte untersucht werden, ob sich in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung und/oder der sozialen Stellung des Einzelbaumes Entwicklungstendenzen hinsichtlich der Kronenausformung beobachten lassen. Die Einstufung der sozialen Stellung erfolgte in Anlehnung an die Höhenklassendefinitionen von ASSMANN (1953). Die Ergebnisse wurden als Box-Plot-Darstellungen aufbereitet. Getrennt nach den acht Himmelsrichtungen der Aufnahme 1994 ist den einzelnen Darstellungen der Median, das 25. und 75. Perzentil sowie der größte und kleinste beobachtete Wert, der kein Ausreißer ist, zu entnehmen. Abbildung 4-25 zeigt die Ergebnisse für die Baumart Buche.

Demnach lässt die Baumart Buche in der Oberschicht eine stärker ausgeprägte Kronenexzentrizität erkennen. Im Vergleich zum mittleren Kronenradius (= 100 %) schwankt der Median der richtungsspezifischen Kronenausformung zwischen 90 % und 110 %. Tendenziell sind die Buchenkronen der Oberschicht in süd-, südwest- bis westlicher Richtung stärker ausgeformt, während umgekehrt in nordöstlicher bis östlicher Richtung die Kronen vergleichsweise schwächer ausgeprägt sind.

Mit Hilfe eines statistischen Mittelwertvergleiches (Signifikanztest nach Bonfferoni) wurden die beobachteten Unterschiede auf Signifikanz (5 % Niveau) überprüft (siehe Tabelle 4-7).

Tabelle 4-7: Statistischer Mittelwertvergleich der Kronenausformung der Buche in der Oberschicht (Signifikanztest nach Bonfferoni; signifikante Unterschiede auf 5 % Niveau sind mit einem * markiert).

Richtung	Mittelwert (%)	Nord-ost	Ost	Nord	Süd-ost	Nord-west	Süd	West	Süd-west
Nordost	89,1034	-							
Ost	91,0953		-						
Nord	92,5506			-					
Südost	99,4075	*	*		-				
Nordwest	101,7422	*	*	*		-			
Süd	107,3684	*	*	*	*		-		
West	108,7760	*	*	*	*			-	
Südwest	109,9566	*	*	*	*	*			-

Dem Ergebnis nach lässt sich die ausgeprägte Kronenform der Buchen in der Oberschicht in süd- bis westlicher Richtung gegenüber der geringeren Ausprägung in östlicher bis nördlicher Richtung statistisch signifikant absichern.

Vergleichbare himmelsrichtungsspezifische Tendenzen konnten weder für das Buchenkollektiv der Mittelschicht noch für das Kollektiv der Unterschicht statistisch abgesichert werden. Die Box-Plot Darstellungen (siehe Abbildung 4-25) zeigen vielmehr, dass die Extremwerte der Kronenexzentrizität in der Mittelschicht des Buchenkollektivs unabhängig

von der Himmelsrichtung zwischen 10 % und annähernd 180 % schwanken. Weitaus homogener ist hingegen die Kronenausformung der Buchen in der Unterschicht zu beurteilen.

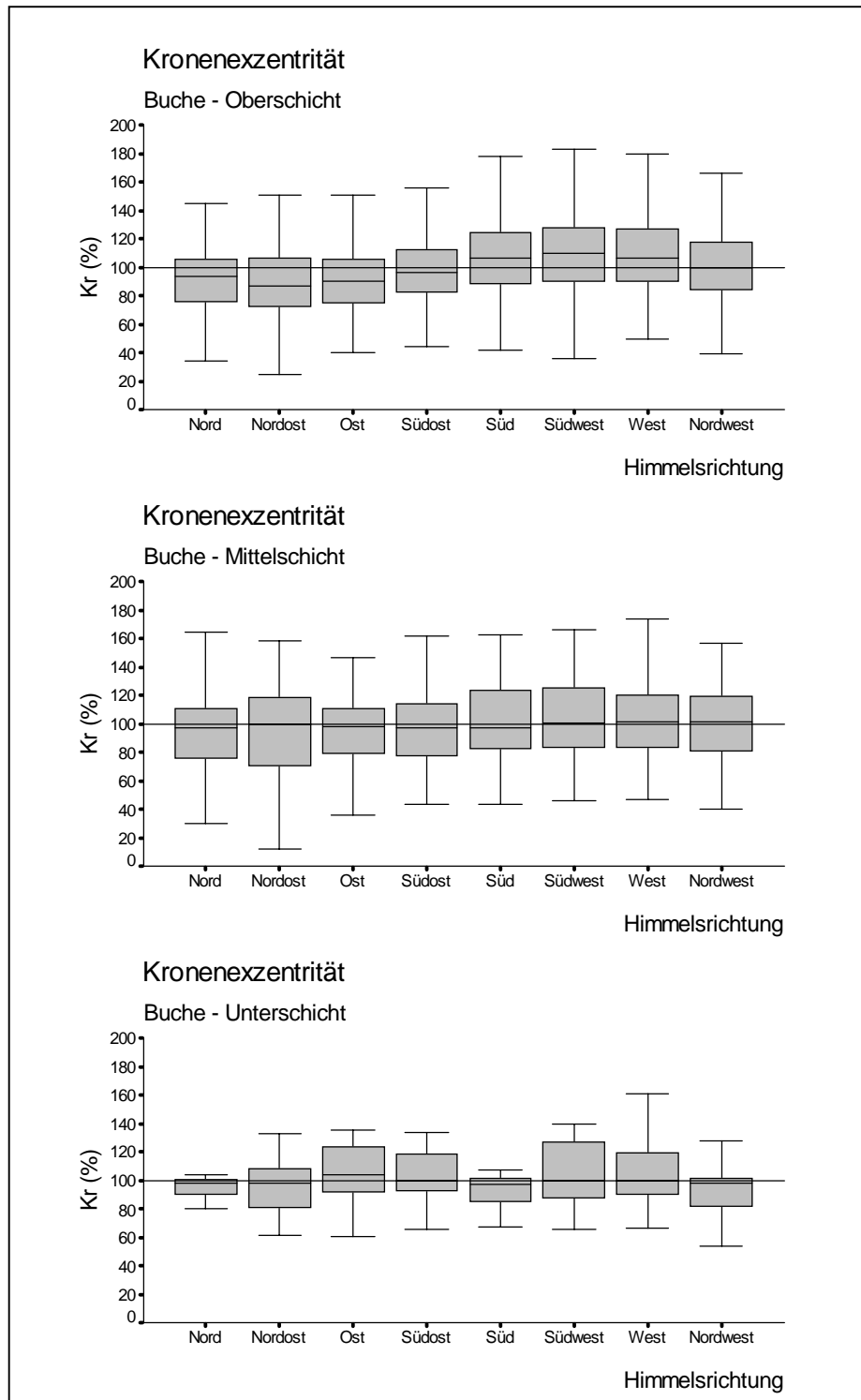


Abbildung 4-25: Analyse der Kronenausformung für die Baumart Buche getrennt nach Ober-, Mittel- und Unterschicht.

Aufgrund ihrer artspezifischen Wuchsdynamik ist die Baumart Lärche nur in der Oberschicht vertreten. Abbildung 4-26 zeigt die Kronenausformung des herrschenden Lärchenkollektivs in der Oberschicht getrennt nach den acht Himmelsrichtungen der Kronenablotungen. Es wird

erkennbar, dass die Lärchenkronen in süd- bis südwestlicher Richtung stärker ausgeformt, hingegen in östlicher bis nördlicher Richtung vergleichsweise geringer ausgeprägt sind. Damit zeigen die Lärchenkronen eine ähnliche Entwicklungstendenz wie die Buchenkronen innerhalb der Oberschicht.

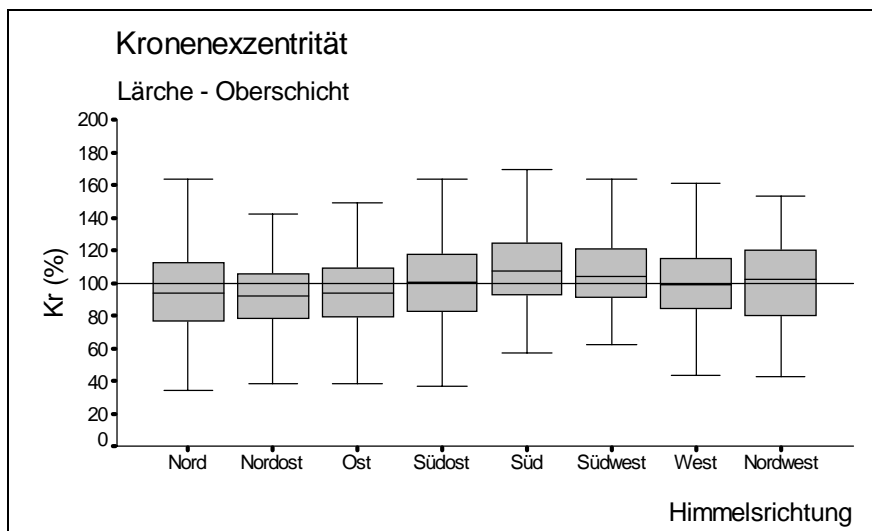


Abbildung 4-26: Analyse der Kronenausformung für die Baumart Lärche (Oberschicht).

Das Ergebnis des statistischen Mittelwertvergleiches ist Tabelle 4-8 zu entnehmen. Danach lässt sich die stärkere Kronenausformung der Lärchen in süd- bis südwestlicher Richtung gegenüber der geringeren Ausprägung in östlicher bis nördlicher Richtung auch statistisch signifikant absichern.

Tabelle 4-8: Statistischer Mittelwertvergleich der Kronenausformung der Lärche in der Oberschicht (Signifikanztest nach Bonfferoni; signifikante Unterschiede auf 5 % Niveau sind mit einem * markiert).

Richtung	Mittelwert (%)	Nord-ost	Ost	Nord	Nord-west	West	Süd-ost	Süd-west	Süd
Nordost	92,0860	-							
Ost	94,3331		-						
Nord	94,7062			-					
Nordwest	100,4511				-				
West	101,0602					-			
Südost	101,1159						-		
Südwest	105,2439	*	*					-	
Süd	111,0050	*	*	*					-

4.3.3 Kronendurchmesser und Kronenbreitenveränderungen

Abbildung 4-27 zeigt die allometrische Grundbeziehung zwischen BHD und Kronendurchmesser getrennt für Buche (oben) und Lärche (unten). Für beide Baumarten konnte die Beziehung mit Hilfe einer einfachen linearen Funktion hinreichend genau erfasst werden. Die Bestimmtheitsmaße wurden mit 0,76 für die Baumart Buche und 0,71 für die Baumart Lärche errechnet (siehe Tabelle 4-9).

Der Ausgleich lässt erkennen, dass der mittlere Kronendurchmesser der Buche zwischen 4,82 m bei einem BHD von 20 cm und maximal 12,21 m bei einem BHD von 65 cm liegt. Für die Baumart Lärche beträgt hingegen der mittlere Kronendurchmesser bei einem vergleichbaren BHD von 20 cm lediglich 2,68 m. Bei einem BHD von 65 cm erreichen die Lärchen Kronendurchmesser von 9,03 m und sind damit rd. 3,20 m kleiner als die von Buchen mit vergleichbarem BHD.

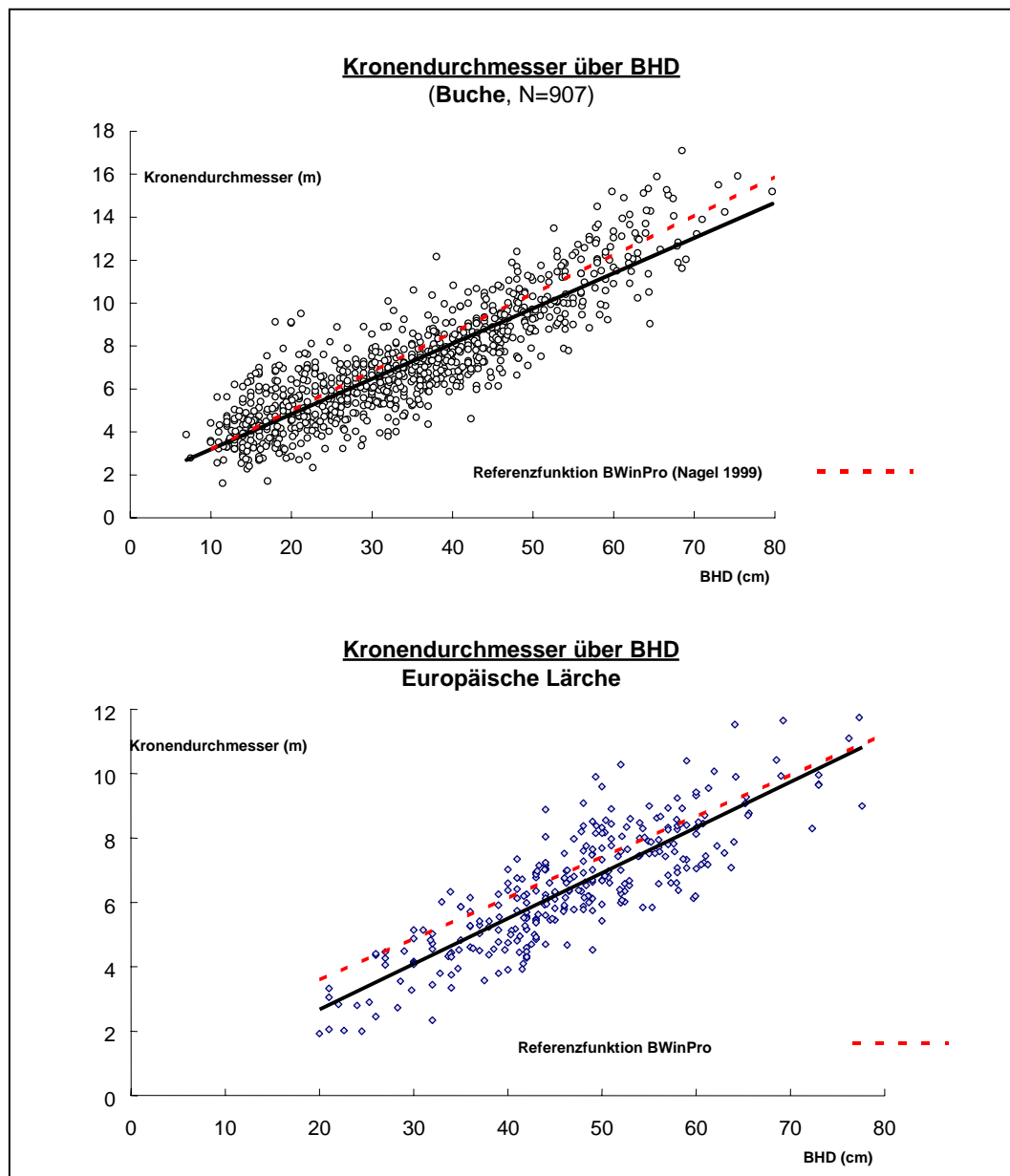


Abbildung 4-27: Allometrische Beziehung zwischen Kronendurchmesser und BHD getrennt nach Buche (oben) und Lärche (unten). (Referenz: Kronenbreitenfunktionen für Buche und Lärche im Wachstumssimulator BWINPRO (NAGEL 1999); gestrichelte Linien).

Für einen Vergleich wurden die Kronenbreitenfunktionen des Wachstumssimulator „BWIN-PRO“ (NAGEL 1999) in Abbildung 4-27 mit aufgenommen (gestrichelte Linien). Die dem Wachstumssimulator zugrunde liegenden Funktionen wurden auf Grundlage des umfangreichen Datenmaterials der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt parametrisiert,

wobei das der Parametrisierung zugrunde liegende Versuchsflächennetz derzeit noch überwiegend gleichaltrige Reinbestände umfasst.

Tabelle 4-9: Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der linearen Schätzfunktionen für die Beziehung zwischen BHD und Kronendurchmesser

	LÄRCHE $r^2 = 0,71$, N = 302		BUCHE $r^2 = 0,77$, N = 907	
	Parameter	Standardfehler	Parameter	Standardfehler
C (Konstante)	-0,1457	0,2502	1,5388	0,1118
b	0,1413	0,0052	0,1642	0,0030

Bei der Buche lässt der Vergleich erkennen, dass mit zunehmendem BHD der Kronendurchmesser durch die Funktion des Simulators überschätzt wird. Die Differenz des Ausgleichs mit Hilfe der beiden Funktionen beträgt bei einem unterstellten BHD von 70 cm rd. 1 m Differenz im Kronendurchmesser. Umgekehrt überschätzt der Simulator die Kronenbreiten im Fall der Baumart Lärche im schwächeren Durchmesserbereich. So errechnet sich bei einem unterstellten BHD von 30 cm eine Differenz von annähernd 80 cm im Kronendurchmesser je nach verwendeter Funktion. Mit zunehmendem BHD nähern sich hingegen beide Funktionen zunehmend an. Die horizontalen Kronenbreitenveränderungen wurden aus der Differenz zwischen den beiden Ablotungen 1984 und 1994 hergeleitet. Abbildung 4-28 zeigt die Kronenbreitenveränderungen über dem Ausgangsradius getrennt nach Buche und Lärche.

Innerhalb des 10-jährigen Beobachtungszeitraumes konnten sowohl für die Baumart Buche als auch für die Baumart Lärche maximale horizontale Kronenbreitenveränderungen von rd. 40 cm/Jahr beobachtet werden. Für beide Baumarten wird gleichermaßen erkennbar, dass mit zunehmendem Ausgangsradius die positiven horizontalen Kronenbreitenveränderungen abnehmen. Parallel dazu steigt der Anteil „negativer Radienveränderungen“, d. h. der Anteil horizontaler Kronenverkleinerungen, an.

Bei der Buche wurden maximale positive Kronenbreitenveränderungen bis zu einem Radius von rd. 4 m beobachtet. Maximale negative Kronenbreitenveränderungen in ähnlicher Größenordnung von bis zu – 50 cm/Jahr wurden hingegen bei Ausgangsradien zwischen 6 m und 8 m festgestellt. Die große Streuung der Einzelbeobachtungen, die sich in den vergleichsweise geringen Bestimmtheitsmaßen und den Fehlergrößen der Regressionsparameter wieder spiegeln (siehe Tabelle 4-10), deuten u. a. auf das plastische Verhalten beider Baumarten bei der Ausformung ihrer individuellen Kronen hin. Je nach individueller Wuchskonstellation sind beide Baumarten offensichtlich in der Lage, ihre Kronenperipherie über einen langen Zeitraum ihrer Entwicklung hinweg zu vergrößern. Darüber hinaus ist der Messfehler bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Die Entwicklung der horizontalen Kronenbreitenveränderungen über dem Ausgangsradius wurde für beide Baumarten mit Hilfe einer linearen Ausgleichsfunktion beschrieben. Tabelle 4-10 sind die errechneten Parameter, deren Standardfehler sowie die ermittelten Bestimmtheitsmaße getrennt nach Buche und Lärche zu entnehmen.

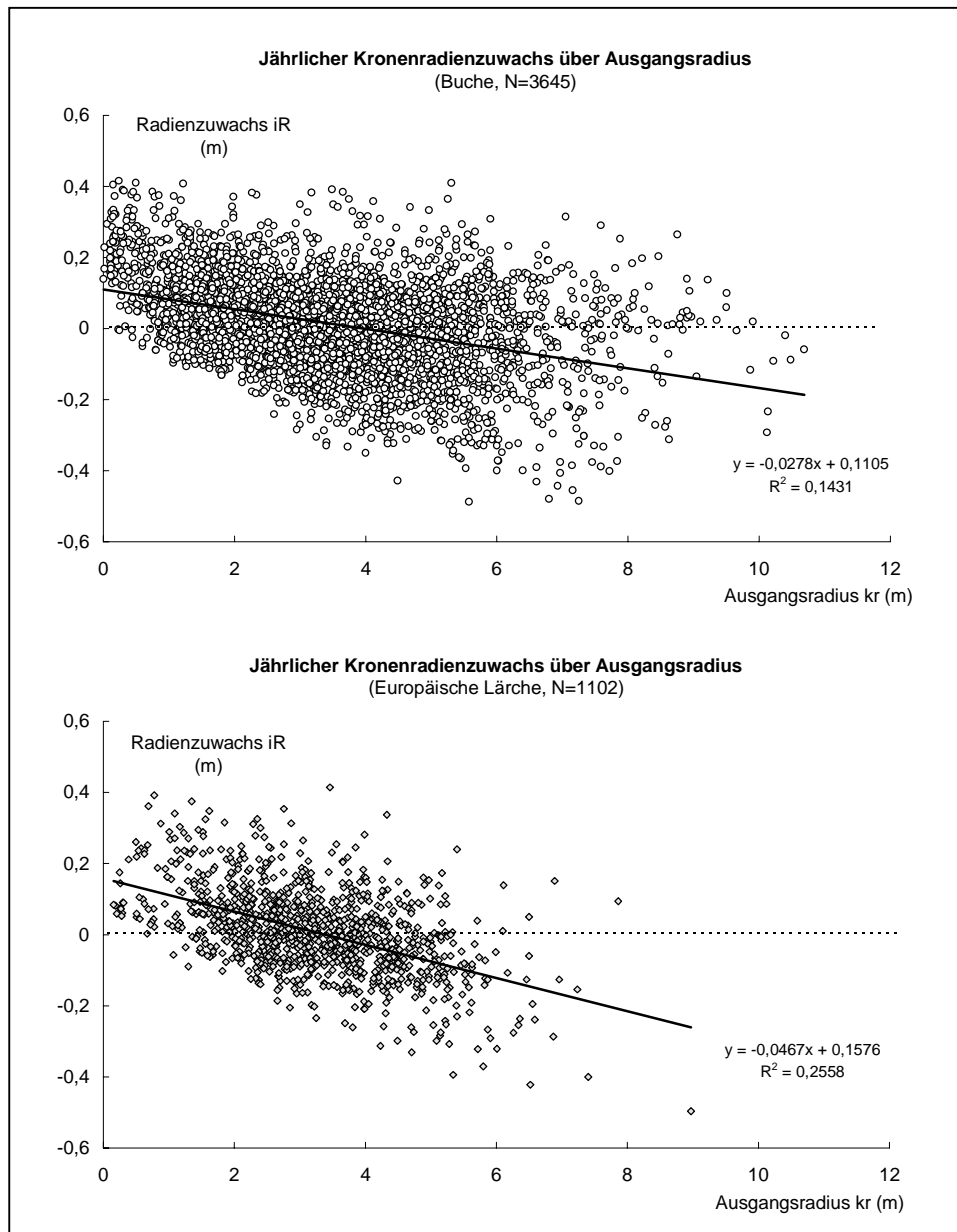


Abbildung 4-28: Horizontale Kronenbreitenveränderungen über dem Ausgangsradius getrennt nach Buche (oben) und Lärche (unten).

Tabelle 4-10: Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der linearen Schätzfunktionen zur Beschreibung der Beziehung zwischen horizontaler Kronenbreitenveränderung (ir/m/J) und Ausgangsradius.

	LÄRCHE $r^2 = 0,26$, N = 1102		BUCHE $r^2 = 0,14$, N = 3645	
	Parameter	Standardfehler	Parameter	Standardfehler
C (Konstante)	1,5761	0,0833	1,1056	0,0445
b	-0,4668	0,0240	-0,2778	0,0112

Auch im Fall der Baumart Lärche streuen die horizontalen Kronenbreitenveränderungen in einem weiten Wertebereich zwischen +/- 40 cm/Jahr. Der lineare Ausgleich der horizontalen Kronenbreitenveränderungen über dem Ausgangsradius lässt, wie zuvor für die Baumart Buche, erkennen, dass ab einem Ausgangsradius von annähernd 4 m negative Kronenbreitenveränderungen überwiegen. Das errechnete Bestimmtheitsmaß von $r^2=0,26$ für die Baumart

Lärche deutet auf eine, im Vergleich zur Buche, straffere Beziehung zwischen Kronenbreitenzuwachs und Ausgangsradius hin.

Der Ausgleich der horizontalen Kronenbreitenveränderungen über dem Alter der Einzelflächen ließ für keine der beiden Baumarten einen signifikanten Alterstrend mit Einfluss auf den Kronenbreitenzuwachs erkennen.

Die beobachteten horizontalen Kronenbreitenveränderungen in Abhängigkeit von den acht Himmelsrichtungen der Kronenablotungen sind in Abbildung 4-29 dargestellt.

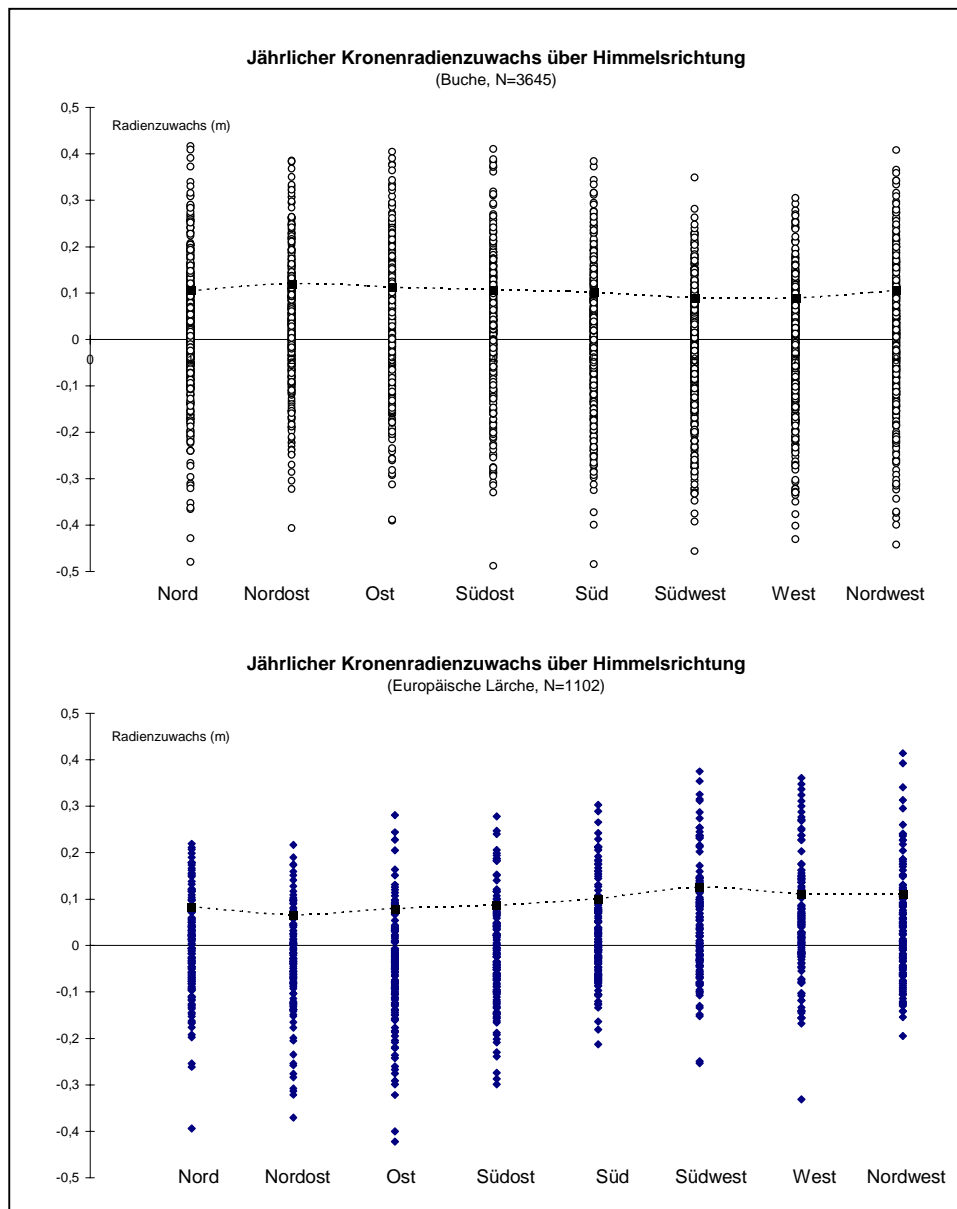


Abbildung 4-29: Horizontale Kronenbreitenveränderungen getrennt nach den acht Himmelsrichtungen der Kronenablotung für Buche (oben) und Lärche (unten). (Die mittleren positiven Kronenbreitenzuwächse wurden zur Verdeutlichung durch eine gestrichelte Linie miteinander verbunden).

Die Baumart Buche (Abbildung 4-29, oben) lässt demnach keine besonders ausgeprägte Tendenz positiver Kronenbreitenveränderungen in eine der acht Himmelsrichtungen erkennen. Die Mittelwerte, die zur Verdeutlichung miteinander verbunden wurden, zeigen, dass die positiven horizontalen Kronenbreitenveränderungen durchschnittlich 10 cm/Jahr betragen können.

Zuwächse in ähnlicher Größenordnung lassen sich auch bei der Baumart Lärche (Abbildung 4-29, unten) erkennen. Hierbei lässt sich jedoch eine schwache Tendenz beobachten, wonach sich die Kronenperipherie bevorzugt in süd- bis südwestlicher Himmelsrichtung vergrößert. So verschiebt sich die horizontale Kronenbreite in süd- bis südwestlicher Himmelsrichtung durchschnittlich um + 12 cm/Jahr, während hingegen in nordöstlicher bis östlicher Himmelsrichtung durchschnittlich nur + 7 cm Kronenbreitenzuwachs je Jahr gemessen wurden.

4.3.4 Kronenschirmfläche, Standraumbedarf und Zuwachs

Getrennt nach Buche und Lärche wurden auf Grundlage der acht Ablotungen je Einzelbaum sowohl für die Aufnahme 1984 als auch für die Ablotungen 1994 die Kronenschirmflächen nach dem Teilkreismodell berechnet (RÖHLE u. HUBER 1985). Abbildung 4-30 zeigt die allometrischen Grundbeziehungen zwischen BHD und Kronenschirmfläche für die Baumart Buche (oben) und Lärche (unten). Im Fall der Baumart Buche wurde die Beziehung mit Hilfe eines Polynoms 2. Ordnung, bei der Lärche mit Hilfe einer Exponentialfunktion ausgeglichen. Die Regressionskoeffizienten sowie Bestimmtheitsmaße und Standardfehler der angepassten Funktionen sind Tabelle 4-11 zu entnehmen.

Im Zusammenhang mit Standraumüberlegungen wurde für beide Baumarten die Beziehung zwischen BHD und Kronenschirmfläche sowohl für das Gesamtkollektiv (mittlerer Rahmen) als auch für die in den einzelnen Durchmesserstufen (Stufenbreite 1 cm) maximal gemessenen Kronenschirmflächen (oberer Rahmen) angepasst.

Tabelle 4-11: Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der Schätzfunktionen für die Beziehung zwischen Durchmesser (BHD) und Kronenschirmfläche. (Variablenbezeichnungen: ksf=Kronenschirmfläche; a, b=Regressionsparameter; c=Konstante, e=Eulersche Zahl).

Funktionstyp	$ksf = c \cdot e^{a \cdot BHD}$		$ksf = a \cdot BHD^2 - b \cdot BHD + c$	
Mittlerer Rahmen	LÄRCHE $r^2 = 0,72$, N = 234		BUCHE $r^2 = 0,78$, N = 808	
	Parameter	Standardfehler	Parameter	Standardfehler
a	0,0454	0,0018	0,0454	0,0026
b			-1,2139	0,1934
c	3,8419	0,3421	27,6813	3,2041
Oberer Rahmen	LÄRCHE $r^2 = 0,84$, N = 49		BUCHE $r^2 = 0,93$, N = 62	
	Parameter	Standardfehler	Parameter	Standardfehler
a	0,0463	0,0029	0,0301	0,0060
b			0,2485	0,5156
c	4,5068	0,6342	28,1676	9,6280

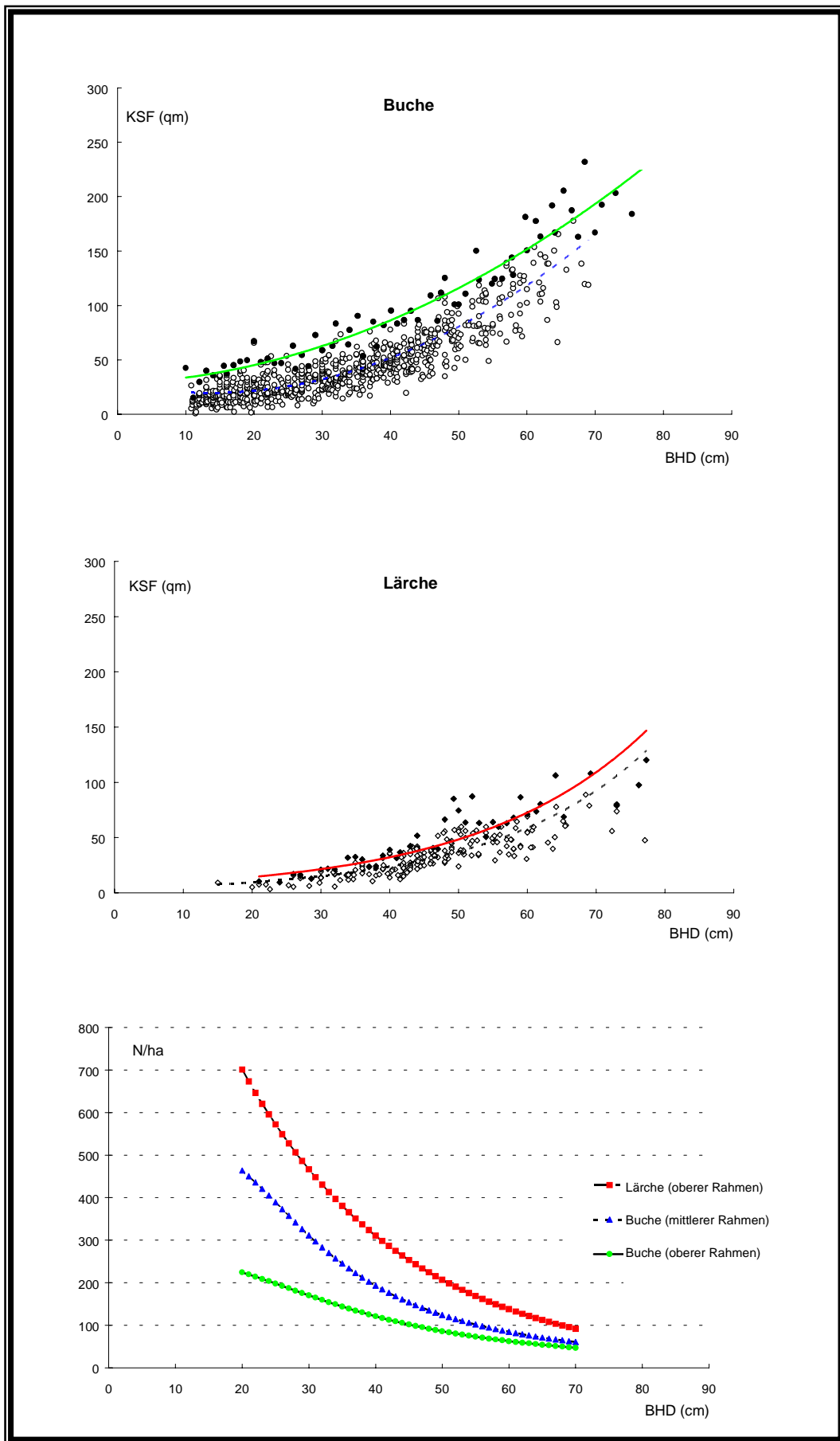


Abbildung 4-30: Beziehung zwischen Brusthöhendurchmesser und Kronenschirmfläche sowie „theoretisch abgeleitete“ Stammzahlen getrennt nach Buche und Lärche.

Die vier parametrisierten Funktionen sind Abbildung 4-30 zu entnehmen, wobei die Funktionen für das Gesamtkollektiv als gestrichelte Linien, der funktionale Ausgleich der maximal gemessenen Kronenschirmflächen hingegen als durchgezogene Linien eingezeichnet sind. Die „theoretisch denkbaren“ Stammzahlen/ha wurden aus der Division der Flächeneinheit mit der über dem BHD ausgeglichenen Kronenschirmfläche abgeleitet.

Im Rahmen der Aufnahmen 1994 wurde für die Baumart Buche eine mittlere Kronenschirmfläche von 48 m² ermittelt. Die größte Schirmfläche wurde mit 232 m² an einer Buche mit 68,5 cm BHD gemessen. Im Vergleich dazu wurde im Fall der Baumart Lärche eine mittlere Kronenschirmfläche von lediglich 39 m² errechnet. Die maximale Kronenschirmfläche wurde mit 120 m² an einer Lärche mit 77,2 cm BHD ermittelt.

Die Bestimmtheitsmaße (r²) zwischen 0,7 und 0,8 (mittlerer Rahmen) verdeutlichen den für beide Baumarten gleichermaßen straffen Zusammenhang zwischen BHD und Kronenschirmfläche. Im Vergleich zwischen Buche und Lärche fällt jedoch auf, dass bei gleichem BHD die Schirmfläche der Buche jeweils annähernd doppelt so groß ist wie die gleichstarker Lärchen. Rechnerisch leitet sich aus den beiden Funktionen für eine Buche mit einem BHD von 65 cm eine Kronenschirmfläche von 140 m² ab, eine gleichstarke Lärche hat hingegen eine Kronenschirmfläche von lediglich 74 m². Das ermittelte relative Größenverhältnis im Vergleich der schirmflächen zwischen Buche und Lärche ist über den gesamten erfassten Durchmesserbereich annähernd konstant.

Aus dem funktionalen Ausgleich zwischen BHD und maximal gemessenen Kronenschirmflächen wurden „theoretisch angepasste“ Stammzahlen für die beiden Baumarten hergeleitet (Abbildung 4-30, unten). Im Fall der Baumart Buche wird ersichtlich, dass bei einem BHD von 65 cm und unterstellter maximaler Kronenschirmfläche lediglich 54 Buchen/ha „theoretisch“ verbleiben können. Bei einer mittleren Kronenschirmfläche von 140 m² erhöht sich der Anteil der verbleibenden Buchen auf 71 Bäume/ha. Im Vergleich dazu können aufgrund der vergleichsweise geringen Schirmflächen der Lärchen bei einem BHD von 70 cm „theoretisch“ noch annähernd 92 Lärchen/ha mit einer unterstellten maximalen Kronenschirmfläche verbleiben.

Abbildung 4-31 sind die Beziehungen zwischen Kronenschirmfläche (auf Datenbasis der Aufnahme 1994) und Zuwachsleistung in Form des absoluten jährlichen Kreisflächenzuwachses getrennt für Buche (oben) und Lärche (unten) zu entnehmen. Die jährlichen Zuwächse des Einzelbaumes wurden aus dem Kreisflächenzuwachs der 10-jährigen Aufnahmeperiode 1984 –1994 rechnerisch gemittelt.

Für beide Baumarten wurde die allometrische Grundbeziehung mit Hilfe einer logarithmischen Funktion ausgeglichen. Es gilt:

$$ig = c \cdot \ln(ksf) + b \quad (\text{Formel 4-1})$$

mit den Variablenbezeichnungen:

- ig = jährlicher Kreisflächenzuwachs (cm²)
- ksf = Kronenschirmfläche (m²)
- C = Konstante
- b = Regressionskoeffizient, b > 0

Die Regressionskoeffizienten sowie Bestimmtheitsmaße und Standardfehler der beiden Funktionen sind Tabelle 4-12 zu entnehmen.

Tabelle 4-12: Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der Schätzfunktionen für die Beziehung Kreisflächenzuwachs und Kronenschirmfläche.

	LÄRCHE $r^2 = 0,46$, $N = 120$		BUCHE $r^2 = 0,57$, $N = 418$	
	Parameter	Standardfehler	Parameter	Standardfehler
C (Konstante)	-30,5805	6,3058	-45,2614	2,8769
b	18,2190	1,8355	18,8138	0,7966

Im Gegensatz zu den hohen Bestimmtheitsmaßen, die für die funktionalen Beziehungen zwischen BHD und Kronenschirmfläche ermittelt werden konnten, ist die allometrische Beziehung zwischen Kronenschirmfläche und Kreisflächenzuwachs durch vergleichsweise geringe Bestimmtheitsmaße (r^2) charakterisiert.

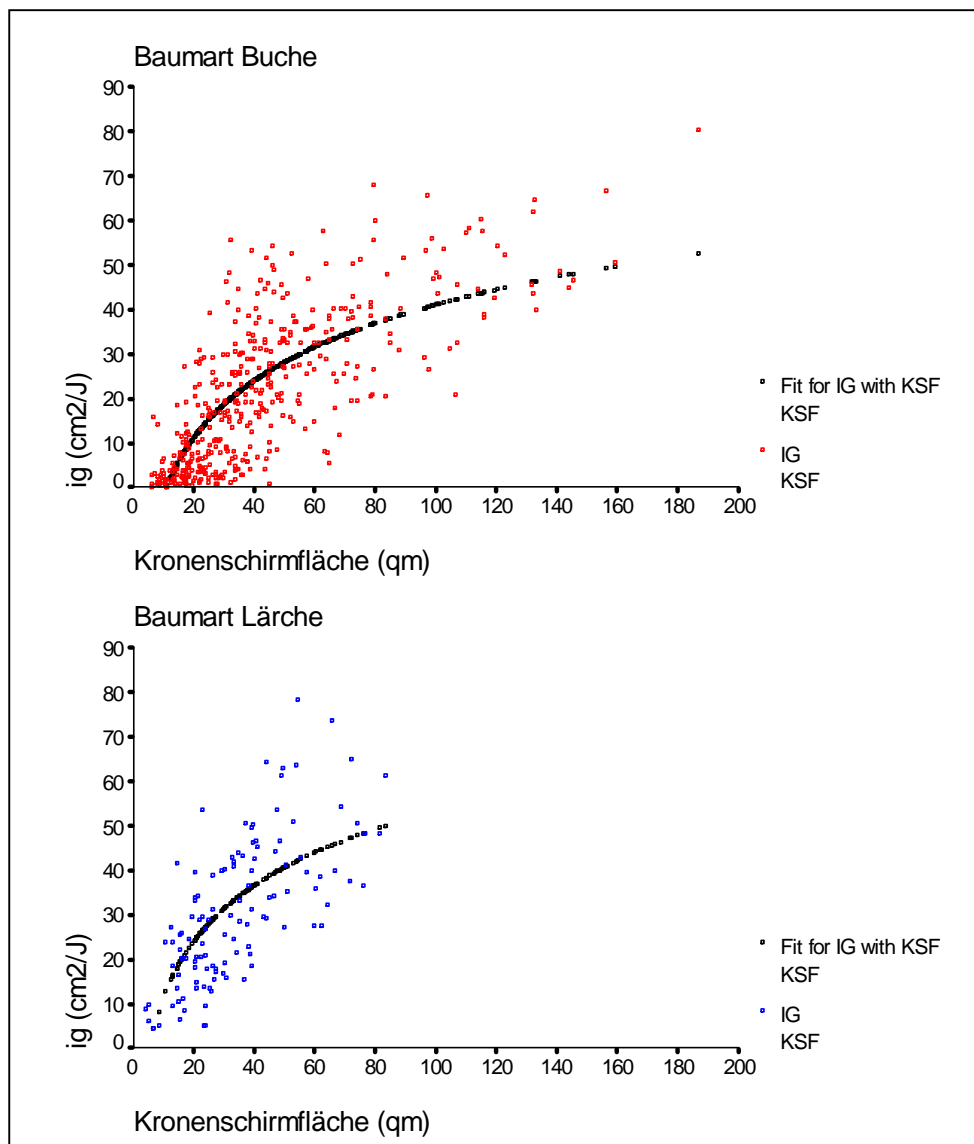


Abbildung 4-31: Mittlerer jährlicher Grundflächenzuwachs über der Kronenschirmfläche getrennt nach Buche (oben) und Lärche (unten).

Beide Baumarten lassen mit zunehmender Kronenschirmfläche einen kontinuierlichen Anstieg des Kreisflächenzuwachses erkennen (siehe Abbildung 4-31). Bei der Buche steigt der Kreisflächenzuwachs bei einer Schirmfläche von bis rd. 50 m² zunächst überproportional an und flacht darauf mit weiter zunehmender Schirmfläche allmählich ab. So leistet die Schattbaumart Buche bei einer Kronenschirmfläche von 30 m² einen jährlichen Kreisflächenzuwachs von annähernd 19 cm². Bei einer Kronenschirmfläche von 90 m² steigt der durchschnittliche jährliche Kreisflächenzuwachs auf 40 cm² an. Innerhalb des Buchenkollektivs wurden maximale Kreisflächenzuwächse von 65 cm² bis 80 cm² je Jahr ermittelt, die von einzelnen starken Buchen in lichter Schirmstellung geleistet werden.

Im Vergleich dazu errechnet sich für die Baumart Lärche bei einer Kronenschirmfläche von 30 m² ein durchschnittlicher jährlicher Kreisflächenzuwachs von 32 cm². Bei einer Kronenschirmfläche von 90 m² steigt der durchschnittliche jährliche Kreisflächenzuwachs der Lärche auf 51 cm² an. Über den gesamten beobachteten Wertebereich hinweg leistet demzufolge die Lärche bei gleicher Kronenschirmfläche einen höheren jährlichen Kreisflächenzuwachs als die Buche. Entsprechend der Wuchsdynamik der Lichtbaumart Lärche nimmt diese Wuchsüberlegenheit mit zunehmender Kronenschirmfläche im Vergleich zur Buche überproportional ab.

4.3.5 Plumpheitsgrad und Ausladungsverhältnis

Als zwei weitere Maßzahlen zur Beschreibung der Kronenform und Kronenproportionen wurden der Plumpheitsgrad (PG) und das Ausladungsverhältnis (Ag) berechnet. Abbildung 4-32 zeigt die Entwicklung des Plumpheitsgrades als Quotient zwischen gemittelter Kronenbreite und Kronenlänge über dem beobachteten Durchmesserbereich zwischen 10 cm und 80 cm BHD.

Unabhängig von der Baumart können maximale Plumpheitsgrade von 1,4 beobachtet werden. Die Entwicklung der Plumpheitsgrade über dem beobachteten Durchmesserspektrum ist jedoch baumartenspezifisch unterschiedlich ausgeprägt.

Bei der Buche sind die errechneten Plumpheitsgrade im Durchmesserbereich bis 20 cm BHD am höchsten. Im Durchmesserbereich zwischen 20 cm und 40 cm BHD sinken die Werte zunächst auf durchschnittlich 0,5 und steigen dann ab 40 cm BHD kontinuierlich bis auf 0,8 an. Im Gegensatz dazu steigen die Plumpheitsgrade der Baumart Lärche über das gesamte beobachtete Durchmesserspektrum hinweg kontinuierlich von 0,5 bei einem BHD von 20 cm bis auf 0,9 bei einem BHD von 80 cm an.

Die Entwicklung des Ausladungsverhältnisses als Quotient aus Kronenbreite und BHD ist getrennt für Buche (oben) und Lärche (unten) Abbildung 4-33 zu entnehmen. Wie zuvor fällt auf, dass auch die Entwicklung des Ausladungsverhältnisses über dem beobachteten Durchmesserspektrum baumartenspezifisch unterschiedlich verläuft. Im Fall der Baumart Buche sinkt das durchschnittliche Ausladungsverhältnis kontinuierlich von 0,3 bei einem BHD von 10 cm bis auf unter 0,2 bei einem BHD von 80 cm. Umgekehrt lässt sich für die Baumart Lärche über das gesamte beobachtete Durchmesserspektrum hinweg ein konstantes Ausladungsverhältnis von 0,14 beobachten.

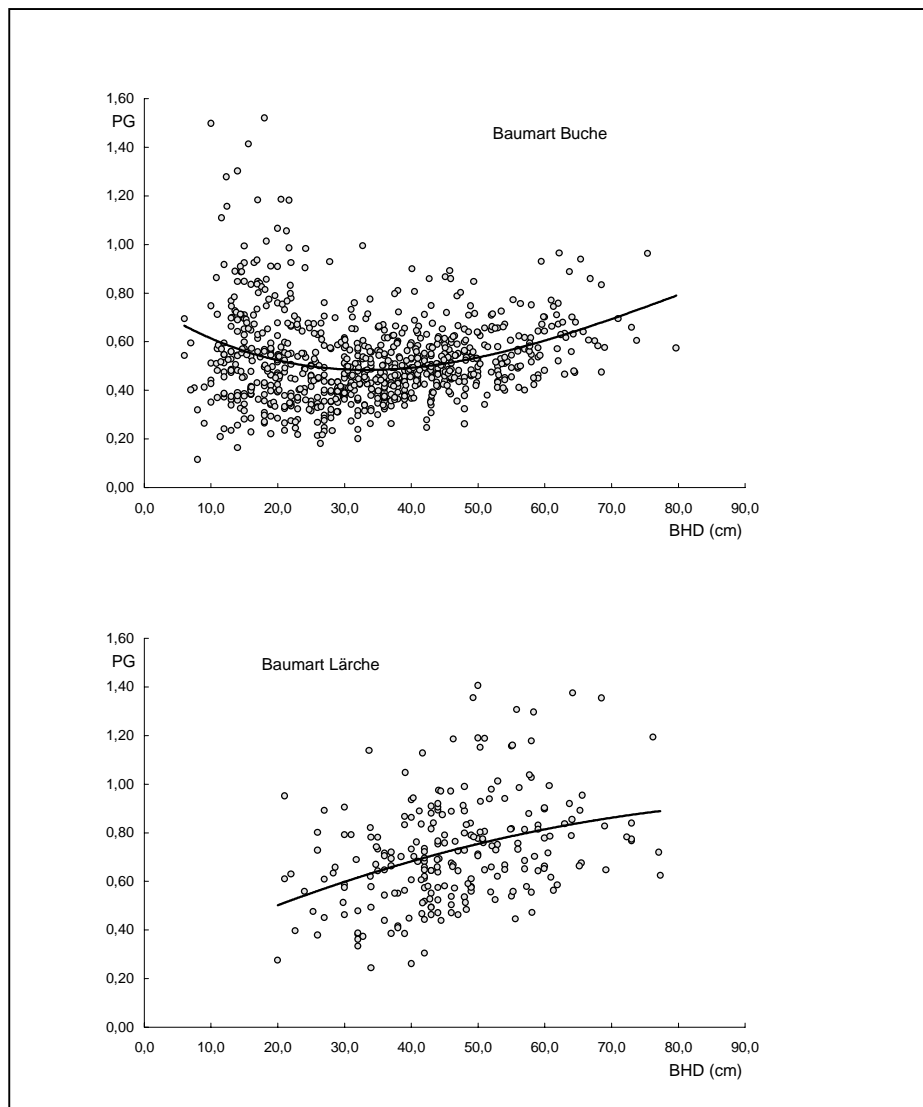


Abbildung 4-32: Entwicklung des Plumpeitsgrades über dem Durchmesser getrennt für Buche (oben) und Lärche (unten). (Der durchschnittliche Verlauf der Entwicklung wird mit Hilfe der eingezeichneten Trendlinien verdeutlicht).

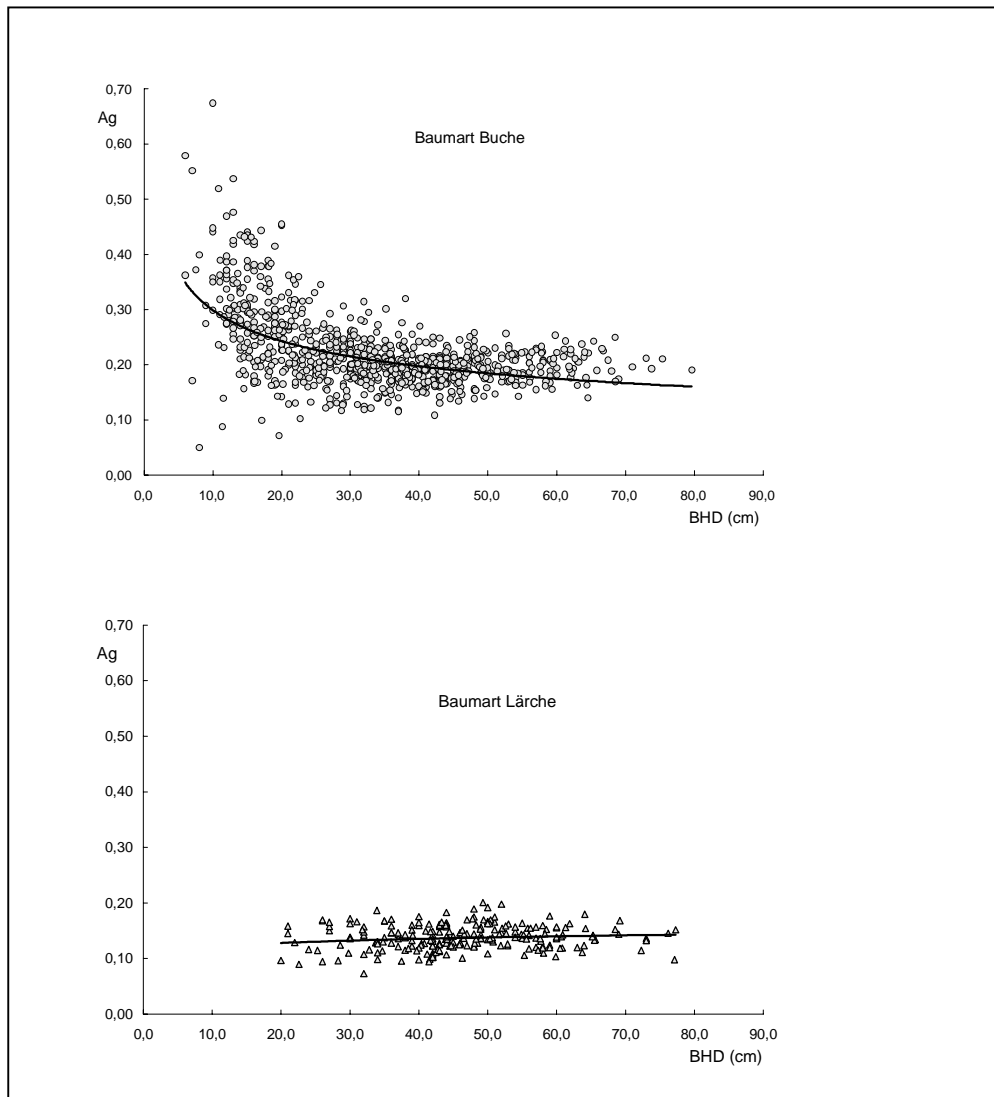


Abbildung 4-33: Entwicklung des Ausladungsverhältnisses über dem Durchmesser getrennt für Buche (oben) und Lärche (unten). (Der durchschnittliche Verlauf der Entwicklung wird mit Hilfe der eingezeichneten Trendlinien verdeutlicht).

4.4 Konkurrenzschätzung und Parametrisierung der Zuwachsfunktionen

4.4.1 Konkurrenzschätzung mit dem Programmbaustein FISHPLOT II

4.4.1.1 Vorüberlegungen zur Konkurrenzschätzung

In der Literatur findet sich eine große Anzahl von Konkurrenzindizes, die sich in abstandsabhängige und abstandsunabhängige Konkurrenzmaße unterteilen lassen (EK u. MONSERUD 1974, BIGING u. DOBBERTIN 1992, NÜBLEIN 1995, AMMER 1996, BACHMANN 1998). Mit Hilfe abstandsunabhängiger Indizes wird die Konkurrenzsituation des Einzelbaumes mit vergleichsweise geringem Aufwand aufgrund seiner relativen Stellung im Gesamtbestand eingeschätzt, wobei als Ordnungskriterium beispielsweise die summierte Kronenschirmfläche in einer festgelegten Schnitthöhe herangezogen wird (WENSEL et al. 1987, BIGING u. DOBBERTIN 1995, NAGEL 1999).

Im Gegensatz dazu sind für abstandsabhängige Konkurrenzmaße die Stammfußkoordinaten der Einzelbäume erforderlich. Weitaus komplexer ermöglichen sie es, die individuellen Wuchskonstellationen innerhalb der Bestandesstruktur zu erfassen und die jeweilige Konkurrenzsituation aus den Wechselbeziehungen zwischen Zentralbaum und Nachbarindividuen abzuleiten. Wirksame Konkurrenz wird dabei entweder aus dem Größenverhältnis (size-ratio indices) von Zentralbaum- zu Konkurrenzbaum-Dimensionen (SCHÜTZ 1989), kalkulierten Überlappungszonen der Kronen (crown or influence-zone overlap indices) oder sogenannten Wuchsraum-Indizes (growing space indices) berechnet. Als vierte Gruppe scheidet DOYLE (1983) Lichtexpositions-Indizes (skyview indices) aus, die die Konkurrenzsituation des Einzelbaumes aus der Exposition der Krone zum Licht herleiten.

Mit der Arbeit von BIBER (1996) wurde ein neuartiges, positionsabhängiges Verfahren zur Konkurrenzschätzung entwickelt, das in die Gruppe der Lichtexpositions-Indizes fällt. Im Gegensatz zu rein geometrischen Konkurrenzmaßen wurde nach dem Prinzip von Fisheye-Aufnahmen ein Konkurrenzmaß entwickelt, das sich biologisch besser interpretieren lässt als die meisten positionsabhängigen Konkurrenz-Indizes und damit der von PRETZSCH (1995b) erhobenen Forderung nach kausalen, biologisch erklärenden Modellansätzen näherkommt.

Der von BIBER (1996) entwickelte Ansatz ist auf die Untersuchungen von WAGNER (1994) zurückzuführen. Dabei wird mit Hilfe von Schwarzweißfotografien, die einen Blickwinkel von nahezu 180° aufweisen, die über dem Standort der Kamera aufgespannte Himmels-hemisphäre einschließlich der unterschiedlichen Überschirmungsdichten erfasst. EDV-gestützt werden die unterschiedlichen Helligkeitswerte dieser sogenannten hemisphärischen Fotos analysiert, und mit Hilfe meteorologischer Modelle wird die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) für den einzelnen Aufnahmepunkt errechnet. Als Ergebnis umfangreicher Untersuchungen in Fichtennaturverjüngungen unter Schirm weist WAGNER (1994) mit Hilfe der Fisheye-Technik einen straffen Zusammenhang zwischen dem Höhenwachstum der Verjüngung und dem „diffuse site factor“ als Maß für die Reduktion der am Waldboden ankommenden diffusen Himmelsstrahlung gegenüber Freilandverhältnissen nach.

Umfangreiche Erläuterungen sowohl hinsichtlich der theoretischen Grundlagen als auch im Zusammenhang mit Fragen der technischen Umsetzung bei der Programmierung der Programmroutine „FISHPLOT“ finden sich bei BIBER (1996, S. 69 ff.). Darüber hinaus werden von BIBER (1996) eingehend die verschiedenen menügesteuerten Auswertungsmöglichkeiten des Programms erläutert.

Die Grundlage der Berechnungen bilden die eingemessenen Stammpositionen, Einzelbaumhöhen, Kronenansätze und Kronenbreiten, aus denen rechnerisch gestützte „künstliche Fisheye-Projektionen“ erzeugt und analysiert werden. Dabei wird Bildpunkt für Bildpunkt (Pixel) abgefragt, ob der jeweilige Punkt bedeckt ist oder freien Himmel aufweist. Jeder bedeckte Punkt wird definierten Bedeckungssituationen zugeordnet, und aus der Summe der Bedeckung wird dann für jeden Einzelbaum die Beschattungssituation abgeleitet. Die Auswertungsroutinen ermöglichen es in diesem Zusammenhang, die individuellen Beschattungssituationen sowohl artspezifisch als auch nach acht verschiedenen Himmelsrichtungen je Bezugsbaum zu analysieren.

Im Zusammenhang mit der Erfassung der Konkurrenzsituationen in den aufgenommenen Buchen-Lärchen-Mischbeständen wurde die Programmroutine FISHPLOT dahingehend überarbeitet, dass als Eingangsdaten die gemessenen Kronenablotungen verwendet werden können. Im Gegensatz zu kreisförmigen Kronenschirmflächen, die aus dem Mittelwert der jeweils acht Kronenablotungen je Baum abgeleitet wurden, werden in der erweiterten Programmversion FISHPLOT 2.0 (BIBER 1998) die Kronenschirmflächen als Polygonzüge eingelesen und in Verbindung mit den zugrunde liegenden geometrischen Kronenformmodellen weiterverarbeitet. Die Analyse der individuellen Konkurrenzsituationen basiert damit auf den gemessenen, u. U. stark unregelmäßigen, asymmetrischen Kronenausformungen der erfassten Bäume.

Ausschlaggebend für die Überarbeitung der Programmroutine FISHPLOT waren die Konkurrenzuntersuchungen von BIBER (1996) in Buchen-Fichten-Mischbeständen. Dabei konnte er sowohl artspezifische als auch himmelsrichtungsspezifische Konkurrenzwertigkeiten zwischen Buche und Fichte nachweisen. Parallel dazu bestätigten Untersuchungen in femelartig aufgelichteten Fichtenalthölzern im Oberharz den himmelsrichtungsspezifischen Einfluss, d. h. den Einfluss von Licht und Wärme auf den Kreisflächenzuwachs der Fichte (GUERICKE 1996). Um die räumlichen Strukturen im dreidimensionalen Kronenraum realistischer abzubilden und dadurch im Umkehrschluss auch die individuellen Konkurrenzsituationen noch besser und eindeutiger zu erfassen, sollten deshalb die stark vereinfachten kreisförmigen Kronenformmodelle durch die gemessenen asymmetrischen Kronenquerschnitte ersetzt werden.

Analog zu den Untersuchungen von BIBER (1996) wurde die Aufnahmehöhe zur Analyse der erzeugten Fisheye-Grafiken auf die Mitte der Lichtkrone des Bezugsbaumes eingestellt. Damit wurde die Aufnahmehöhe aufgrund der im Programm verwendeten Kronenmodelle von PRETZSCH (1992c) im Fall der Baumart Buche bei 1/5, im Fall der Baumart Lärche bei 1/3 der Kronenlänge unterhalb des Wipfels festgelegt (siehe dazu auch Kapitel 4.4.2.1). Die Anzahl der Konkurrenten, die bei der Analyse der Beschattungssituation berücksichtigt werden sollten, wurde mit 50 angesetzt, um die unmittelbare, strahlungsreduzierende Nachbarschaft des jeweiligen Bezugsbaumes möglichst vollständig zu erfassen.

4.4.1.2 Gewichtung nach artspezifischer Konkurrenz

Im Rahmen der ersten Analysen zur Konkurrenzsituation sollte untersucht werden, welchen Einfluss die Art des Konkurrenten (Buche bzw. Lärche) auf die Wuchsleistung des jeweils betrachteten Bezugsbaumes hat. Im Ergebnis sollten Gewichtungsfaktoren berechnet werden, die bei der Quantifizierung der individuellen Beschattungssituationen die zu erwartende unterschiedliche Konkurrenzwirkung von Buche und Lärche zum Ausdruck bringen. Durch die unterschiedliche Gewichtung der Konkurrenzsituationen sollte die biologische Plausibilität im Rahmen der Konkurrenzschatzung erhöht werden.

Um die Konkurrenzuntersuchungen in Buchen-Lärchen-Mischbeständen mit den Ergebnissen von BIBER (1996) in Buchen-Fichten-Mischbeständen vergleichen zu können, wurde auf die zuvor entwickelten methodischen Überlegungen und Ansätze zurückgegriffen (BIBER 1996, BORTZ 1993). Dabei wird unterstellt, dass sich die Wirkung von Konkurrenz im Allgemeinen bzw. des hergeleiteten Konkurrenzindex FKI im Speziellen insbesondere mit Hilfe der Modellbeziehung zwischen dem Durchmesser- oder Kreisflächenzuwachs und der individuellen Beschattungssituation quantifizieren lässt.

In Anlehnung an die Untersuchungen von BIBER (1996) wurde deshalb in einem ersten Schritt ein einfaches Kreisflächenzuwachsmo­dell parametrisiert, das als Eingangsgrößen lediglich die Kronenmantelfläche sowie den h/d-Wert beinhaltet. Es gilt:

$$ig = c_1 \cdot \left(1 - e^{-c_2 \cdot km_{Lk}}\right) \cdot e^{-c_3 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^2} \quad (\text{Formel 4-2})$$

mit den Variablenbezeichnungen :

ig	= jährlicher Kreisflächenzuwachs in Brusthöhe
km _{Lk}	= Lichtkronenmantelfläche
e	= Basis des natürlichen Logarithmus (e = 2,7182818...)
h	= Baumhöhe [m]
d	= Brusthöhendurchmesser [cm]
c ₁ -c ₃	= Regressionsparameter; c ₁ , c ₂ , c ₃ , > 0

Die ermittelten Residuen dieses einfachen Modellansatzes enthalten den Anteil an Streuung des Kreisflächenzuwachses, der nicht ausschließlich (Messfehler!) aber zu einem großen Teil aufgrund der Nachbarschaftsverhältnisse (Konkurrenzsituation) erklärbar ist.

Um die Gewichtungsfaktoren für die artspezifische Konkurrenzwirkung ableiten zu können, wurden in einem zweiten Schritt die von Lärchen und Buchen bedeckten Anteile mit Hilfe der Programmroutine Fishplot II berechnet.

Wie Abbildung 4-34 in Form von zwei Häufigkeitsverteilungen erkennen lässt, zeichnen sich die aufgenommenen Buchen-Lärchen-Mischbestände je nach Bezugsbaumart durch unterschiedliche Anteile inner- bzw. zwischenartlicher Konkurrenzsituationen aus. Ein Anteilswert von 1 bedeutet, dass lediglich 10 % der Gesamtbeschattung von der Baumart herrühren, die ungleich der Bezugsbaumart ist. Umgekehrt ist die Konkurrenzsituation der jeweiligen Bezugsbaumart um so stärker zwischenartig geprägt, um so höher der Anteilswert ist. Im Fall der Baumart Lärche (Abbildung 4-34, oben) deutet die rechtsschiefe Verteilung der Bedeckungsanteile durch die Baumart Buche darauf hin, dass die Konkurrenzsituationen der Lärche im Bereich der Versuchsflächen insbesondere von zwischenartlicher Konkurrenz geprägt werden. Umgekehrt sind im Fall der Baumart Buche (Abbildung 4-34, unten) innerartliche Konkurrenzsituationen deutlich überrepräsentiert während zwischenartliche Konkurrenzsituationen, d. h. Konkurrenzsituationen, in denen einzelne Buchen nahezu vollständig von Lärchen umgeben sind, im Datenpool eindeutig unterrepräsentiert sind.

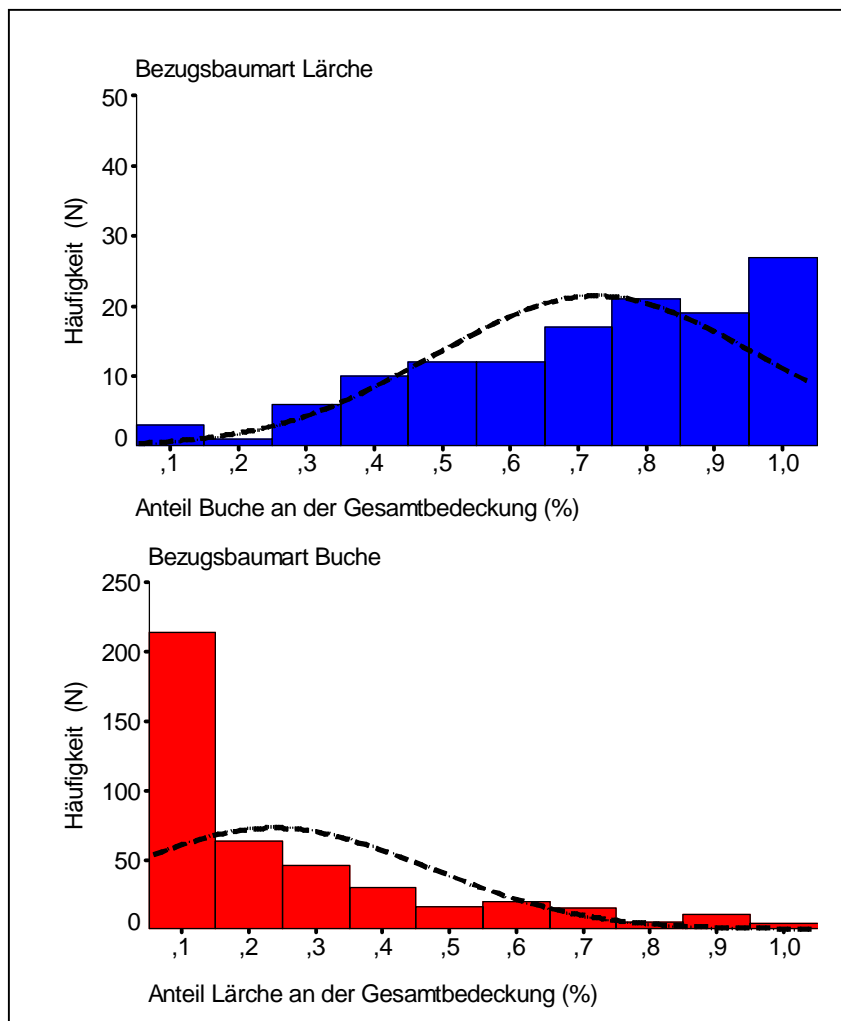


Abbildung 4-34: Verhältnis inner- zu zwischenartlicher Konkurrenz getrennt nach Bezugsbaumart.

Um diesen methodischen Mangel auszugleichen und dadurch datenbedingte Verzerrungen im Rahmen der weiteren Überlegungen und Berechnungen zu vermeiden, wurde das Datenmaterial mit Hilfe der Statistikroutine SPSS derart gewichtet, dass die unterschiedlichen Häufigkeiten der inner- und zwischenartlichen Konkurrenzsituationen ausgeglichen werden konnten.

Darauf aufbauend wurden die eigentlichen Gewichtungsfaktoren aus den Einzelkorrelationen zwischen den Buchen-Lärchen-Bedeckungsanteilen und den Residuen des Kreisflächenzuwachsmodells (siehe Formel 4-2) als Kriteriumsvariable hergeleitet. In Anlehnung an die Untersuchungen von BIBER (1996) wurden in diesem Zusammenhang die partiellen Korrelationskoeffizienten (r_{part}) berechnet. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass die Korrelationen zwischen den Bedeckungsanteilen der einen Baumart mit den Residuen des Kreisflächenzuwachsmodells um den Einfluss der Bedeckungsanteile der anderen Baumart bereinigt sind. Die Gewichtungsfaktoren $G_{L\ddot{a}}$ und $G_{B\ddot{u}}$ ergeben sich aus der Normierung von $r_{\text{part}L\ddot{a}}$ und $r_{\text{part}B\ddot{u}}$ je Bezugsbaumart auf den Mittelwert 1 und einer Umkehrung der Vorzeichen. Die errechneten Gewichtungsfaktoren sind Tabelle 4-13 zu entnehmen.

Das Verhältnis der Gewichtungsfaktoren verdeutlicht, dass sich die Konkurrenzrelationen zwischen Buche und Lärche bezogen auf den Einfluss auf den Kreisflächenzuwachs **ca. 1:3**

verhalten. Für die Buche als Bezugsbaum errechnet sich ein vergleichsweise geringer Einfluss durch die Baumart Lärche. Für dieses Konkurrenzverhältnis wurde ein Gewichtungsfaktor von 0,49 ermittelt.

Tabelle 4-13: Werte der Gewichte $G_{L\ddot{a}}$ und G_{Bu} zur Berücksichtigung artspezifischer Konkurrenz in Abhängigkeit von der Art des Bezugsbaumes.

Bezugsbaum	Bedeckung durch Lärche		Bedeckung durch Buche	
	$r_{partL\ddot{a}}$	$G_{L\ddot{a}}$	r_{partBu}	G_{Bu}
Buche	- 0,0989	0,4946	- 0,3010	1,5054
Lärche	- 0,0407	0,3507	- 0,1914	1,6493

Umgekehrt verhält es sich für die Lärche als Bezugsbaum. Der Einfluss der Buche auf den Kreisflächenzuwachs der Lärche ist hingegen weitaus stärker, was sich in einem Gewichtungsfaktor von 1,64 niederschlägt. Die unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren verdeutlichen den starken Konkurrenzeinfluss der Schattbaumart Buche auf den Kreisflächenzuwachs der Lichtbaumart Lärche, während umgekehrt der Einfluss der Lärche auf den Kreisflächenzuwachs der Buchen nahezu bedeutungslos ist.

Das aggregierte Konkurrenzmaß zur Berücksichtigung **artspezifischer Konkurrenzwirkung** wurde mit Hilfe von Formel 4-3 hergeleitet. Dabei gilt:

$$CI_{ArtDif} = G_{L\ddot{a}} \cdot \left[(E_{L\ddot{a}}) \frac{E_{L\ddot{a}}}{E_{L\ddot{a}} + E_{Bu}} \right] + G_{Bu} \cdot \left[(E_{Bu}) \frac{E_{Bu}}{E_{L\ddot{a}} + E_{Bu}} \right] \quad (\text{Formel 4-3})$$

mit den Variablenbezeichnungen:

- CI_{ArtDif} = Konkurrenzmaß zur Berücksichtigung artspezifischer Konkurrenzwirkung
- $E_{L\ddot{a}}, E_{Bu}$ = Von Lärchen- bzw. Buchenkronen einfach bedeckter Anteil der Fisheye-Abbildung
- $G_{L\ddot{a}}, G_{Bu}$ = Gewichtungsfaktoren für artspezifische Bedeckungsanteile nach Tabelle 4-13

4.4.1.3 Gewichtung nach himmelsrichtungsabhängiger Konkurrenz

In einem zweiten Auswertungsschritt sollte untersucht werden, ob Konkurrenzdruck aus verschiedenen Himmelsrichtungen unterschiedlich starke Wirkung auf den Kreisflächenzuwachs von Buche und Lärche hat. Wie zuvor war es beabsichtigt, Gewichtungsfaktoren abzuleiten, mit deren Hilfe der Konkurrenzdruck aus den verschiedenen Himmelsrichtungen numerisch erfasst werden und damit auch in einen biologisch plausiblen Gesamtindex einfließen kann. Grundlage der Auswertungen bildet die Einteilung der Fisheye-Grafiken in acht Sektoren, die jeweils einen Mittelpunktswinkel von 45° aufspannen und die mittleren Himmelsrichtungen NNO, ONO, OSO, SSO, SSW, WSW, WNW und NNW repräsentieren.

Für die Berechnung der Gewichtungsfaktoren in Abhängigkeit von den acht verschiedenen Himmelsrichtungen wurde derselbe methodische Ansatz gewählt wie bei der Herleitung der artspezifischen Gewichtungsfaktoren (BIBER 1996). Wie zuvor wurde das Datenmaterial in einem ersten Auswertungsschritt gewichtet, um die unterschiedlichen Häufigkeiten inner- und zwischenartlicher Konkurrenz auszugleichen. In einem zweiten Auswertungsschritt wurden dann die Einzelkorrelationen zwischen den Gesamtbedeckungsanteilen und den Residuen des Kreisflächenzuwachsmodells hergeleitet, wobei nach den acht definierten Himmelsrichtungen unterschieden wurde.

Die unterschiedlichen Konkurrenzwertigkeiten der Gesamtbedeckungsanteile sind getrennt nach den Bezugsbaumarten Buche bzw. Lärche sowie den verschiedenen Himmelsrichtungen in Tabelle 4-14 zusammengestellt. Der Tabelle sind die einfachen Korrelationskoeffizienten (r) der Gesamtbedeckungsanteile, die geglätteten Korrelationskoeffizienten ($r_{\text{ausgl.}}$) sowie die auf den Mittelwert + 1 normierten Gewichtungsfaktoren (G) zu entnehmen. Die Glättung erfolgte über gleitende Mittelwerte, in die der zentrale Wert mit doppelter, die Werte der beiden benachbarten Sektoren hingegen mit einfacher Gewichtung eingingen.

Tabelle 4-14: Zusammenstellung der Gewichtungsfaktoren für die Bedeckungswerte der verschiedenen Himmelsrichtungs-Sektoren von Fisheye-Grafiken getrennt nach Bezugsbaumart.

Bezugsbaum	NNO	ONO	OSO	SSO	SSW	WSW	WNW	NNW
Buche								
r	-0,3259	-0,3783	-0,3709	-0,2649	-0,2744	-0,2908	-0,3298	-0,2926
R_{ausgl}	-0,3307	-0,3634	-0,3463	-0,2938	-0,2761	-0,2965	-0,3108	-0,3102
G	1,0466	1,1500	1,0959	0,9298	0,8739	0,9383	0,9835	0,9819
Lärche								
r	-0,1930	-0,1281	-0,1583	-0,2208	-0,1723	-0,1644	-0,0613	-0,0754
r_{ausgl}	-0,1474	-0,1519	-0,1664	-0,1931	-0,1825	-0,1406	-0,0906	-0,1013
G	1,0046	1,0353	1,1340	1,3159	1,2436	0,9584	0,61758	0,6904

Bei Betrachtung der einfachen Korrelationskoeffizienten (r) fällt auf, dass die Werte im Fall der Baumart Lärche weitaus stärker in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung schwanken und Größenordnungen zwischen $-0,07$ und $-0,22$ annehmen. Im Gegensatz dazu schwanken die errechneten Korrelationen für die Baumart Buche lediglich zwischen minimal $-0,26$ und maximal $-0,37$ und weisen damit auf eine weitaus geringere Konkurrenzempfindlichkeit gegenüber der Beschattung aus bestimmten Himmelsrichtungen auf.

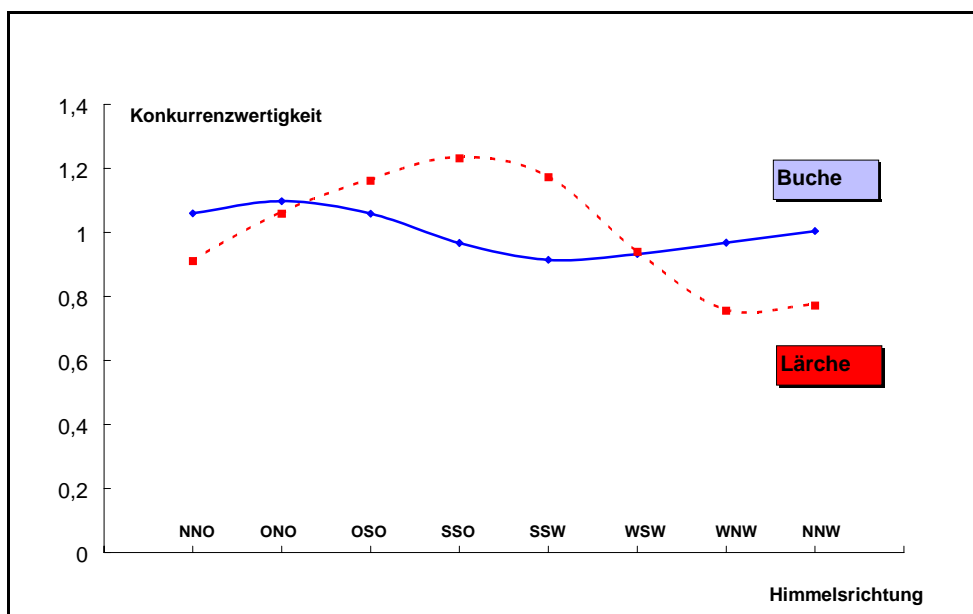


Abbildung 4-35: Einfluss der Konkurrenz durch Beschattung auf den Kreisflächenzuwachs in Abhängigkeit von Himmelsrichtung und Bezugsbaumart.

(Dargestellt sind die geglätteten Gewichtungsfaktoren (G). Große Werte zeigen eine hohe Empfindlichkeit auf Beschattung aus der jeweiligen Himmelsrichtung an).

In Ergänzung dazu zeigt Abbildung 4-35 die Konkurrenzwertigkeit der normierten Gewichtungsfaktoren (G) für die Gesamtbedeckungsanteile in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung. Hohe Konkurrenzwertigkeiten entsprechen einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Beschattung aus einer bestimmten Himmelsrichtung und umgekehrt. Die Abbildung verdeutlicht die hohe Konkurrenzempfindlichkeit der Lichtbaumart Lärche, die durch eine weite Amplitude der errechneten Korrelationen charakterisiert ist. Auffälligerweise reagiert der Kreisflächenzuwachs der Lärche besonders stark auf Beschattung in OSO- bis SSW-licher Richtung und damit entlang der Sonnenbahn. Im Gegensatz dazu reagiert die Buche gegenüber Beschattung aus den verschiedenen Himmelsrichtungen vergleichsweise unempfindlich, was ihrem waldbaulich bekannten Charakter als Schattbaumart entspricht. Im Gegensatz zu den Untersuchungen von BIBER (1996), wonach die Buchen in Mischung mit Fichte besonders auf sonnenseitige Konkurrenz mit vermindertem Kreisflächenzuwachs reagieren, zeigt das Buchenkollektiv in Mischung mit Lärche in OSO- bis SSW-licher Richtung geringere Konkurrenzwertigkeiten als in den übrigen Himmelsrichtungen.

Vergleichbar mit dem zuvor abgeleiteten artspezifischen Konkurrenzmaß (CI_{ArtDif}) wurde das modifizierte Konkurrenzmaß $CI_{RichtDif}$ zur Berücksichtigung himmelsrichtungsspezifischer Konkurrenzwirkung auf Grundlage von Formel 4-4 berechnet. Es gilt:

$$CI_{RichtDif} = \frac{\left(G_{NNO} \cdot B_{NNO} + G_{ONO} \cdot B_{ONO} + G_{OSO} \cdot B_{OSO} + G_{SSO} \cdot B_{SSO} + G_{SSW} \cdot B_{SSW} + G_{WSW} \cdot B_{WSW} + G_{WNW} \cdot B_{WNW} + G_{NNW} \cdot B_{NNW} \right)}{8} \quad (\text{Formel 4-4})$$

mit den Variablenbezeichnungen :

- $CI_{RichtDif}$ = Konkurrenzmaß zur Berücksichtigung richtungsspezifischer Konkurrenzwirkung
- $B_{NNO, \dots, B_{NNW}}$ = Gesamtbedeckungsanteil der Himmelsrichtungssektoren NNO, ..., NNW
- $G_{NNO, \dots, G_{NNW}}$ = Gewichtungsfaktoren für richtungsspezifische Bedeckungsanteile nach Tabelle 4-14

4.4.1.4 Der aggregierte Konkurrenzindex FKI

Auf Grundlage der Gewichtungsfaktoren, die in den beiden vorangegangenen Kapiteln sowohl art- als auch himmelsrichtungsspezifisch berechnet wurden, sollte ein aggregierter Konkurrenzindex (FKI) abgeleitet werden, der als zentrale Steuergröße in das Kreisflächen- und Höhenzuwachsmodell einfließt.

Analog zur Berechnung der artspezifischen Gewichtungsfaktoren für Buche und Lärche CI_{ArtDif} (siehe Formel 4-3) wurden zunächst getrennt nach den acht ausgewerteten Himmelsrichtungen artspezifische Teil-Gewichtungsfaktoren ($CI_{ArtDif} \text{ NNO-NNW}$) berechnet. Dabei wurden die in Tabelle 4-13 angeführten Gewichtungsfaktoren für die artspezifische Konkurrenzwirkung zugrunde gelegt. Darauf aufbauend wurden die himmelsrichtungsspezifischen Teil-Gewichtungsfaktoren in einem zweiten Rechenschritt mit den Gewichtungsfaktoren für die himmelsrichtungsspezifische Konkurrenz (siehe Tabelle 4-14) multipliziert, aufaddiert und durch acht dividiert (siehe dazu Formel 4-5).

$$FKI = \frac{\left(G_{NNO} \cdot CI_{ArtDif_{NNO}} + G_{ONO} \cdot CI_{ArtDif_{ONO}} + G_{OSO} \cdot CI_{ArtDif_{OSO}} + G_{SSO} \cdot CI_{ArtDif_{SSO}} \right. \\ \left. + G_{SSW} \cdot CI_{ArtDif_{SSW}} + G_{WSW} \cdot CI_{ArtDif_{WSW}} + G_{WNW} \cdot CI_{ArtDif_{WNW}} + G_{NNW} \cdot CI_{ArtDif_{NNW}} \right)}{8} \quad (\text{Formel 4-5})$$

mit den Variablenbezeichnungen :

- FKI = Fisheye-Konkurrenzindex
 Konkurrenzwirkung
 G_{NNO}, \dots, G_{NNW} = Gewichtungsfaktoren für die richtungsspezifischen Bedeckungsanteile nach Tabelle 4-14
 $CI_{ArtDif_{NNO}}, \dots, CI_{ArtDif_{NNW}}$ = Artspezifischer Teil-Konkurrenzindex (nach Formel 4-2 für die einzelnen Himmelsrichtungen berechnet)

Getrennt nach Buche und Lärche ist Abbildung 4-36 der ermittelte Wertebereich des aggregierten Konkurrenzindex FKI über dem BHD zu entnehmen. Die Abbildung verdeutlicht die Spanne an Konkurrenzsituationen, die für die unterschiedlichen Baumdimensionen vom Stangenholz bis zum starken Baumholz erfasst wurden.

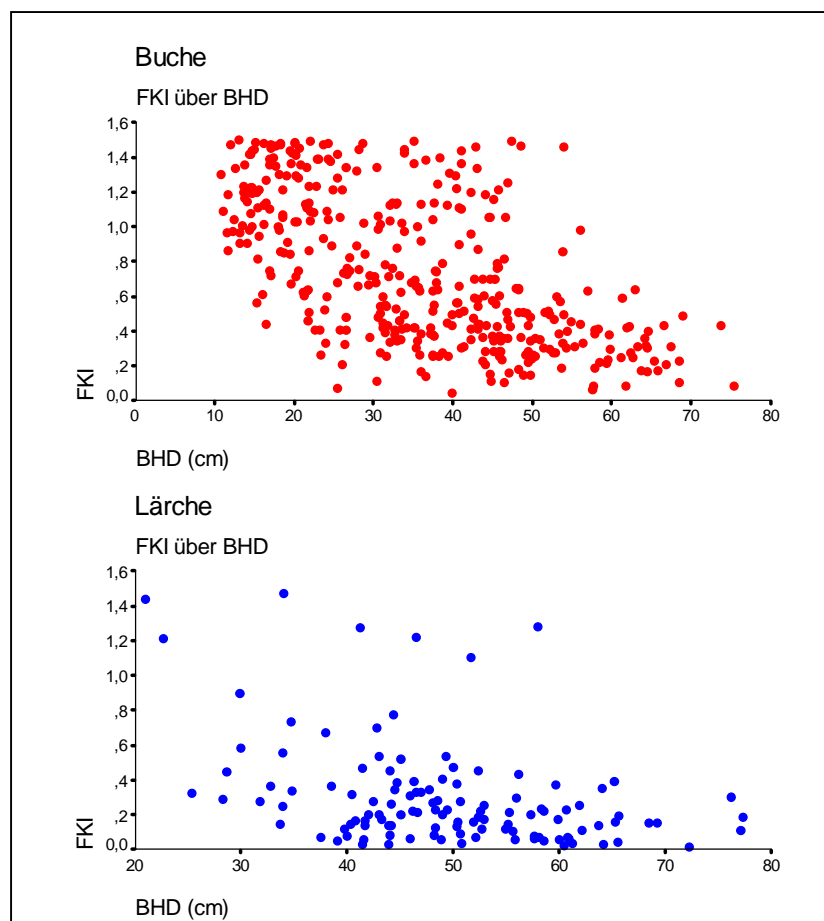


Abbildung 4-36: Wertebereich des aggregierten Konkurrenzindex FKI über dem BHD getrennt nach Bezugsbaumart.

Im Fall der Baumart Buche zeigt sich, dass mit den erfassten Wuchskonstellationen ein großer Wertebereich unterschiedlicher Konkurrenzstärken zwischen 0,1 und 1,5 abgedeckt wird. Im Durchmesserbereich bis 25 cm BHD überwiegen dabei bei der Buche tendenziell die höheren Konkurrenzwerte. Dies ist auf das Vorhandensein zahlreicher unterständiger Buchen zurückzuführen, die trotz Lichtmangels überleben. Umgekehrt lassen sich ab einem BHD von über

55 cm nur noch vergleichsweise geringe FKI-Werte bis maximal 0,6 beobachten. Dieser Umstand ist darauf zurückzuführen, dass mit steigendem Durchmesser der Anteil sozial geringerer Baumklassen abnimmt. Die größte Spreitung der FKI-Werte kann für die Buche im mittleren Durchmesserbereich zwischen 25 und 50 cm BHD beobachtet werden.

Im Gegensatz dazu ist der Wertebereich der aufgenommenen Konkurrenzwerte im Fall der Baumart Lärche weit weniger ausgeglichen und zeichnet sich durch eine vergleichsweise geringe Spreitung aus. So wurden, abgesehen von wenigen Ausnahmen, im Kollektiv der aufgenommenen Lärchen maximale Konkurrenzwerte von 0,5 beobachtet. Dies gilt für den gesamten erfassten Durchmesserbereich zwischen 25 cm und 75 cm BHD und wird darauf zurückgeführt, dass sich die beigemischten Lärchen mit wenigen Ausnahmen in der vorherrschenden / herrschenden Bestandesschicht befinden.

Im Zusammenhang mit der Analyse der Konkurrenzwertigkeiten und aufgenommenen Konkurrenzsituationen wurde im Rahmen einer Sensitivitätsstudie abschließend überprüft, welchen Einfluss die Kronenform auf die Berechnung der Konkurrenzwerte (CI) hat. Dazu wurden für die Baumart Buche Fishplot-Auswertungen sowohl auf Grundlage runder, gemittelter Kronenquerschnitte als auch auf Grundlage der gemessenen exzentrischen Kronenquerschnitte durchgeführt. In Abbildung 4-37 ist das Ergebnis des Vergleiches dargestellt.

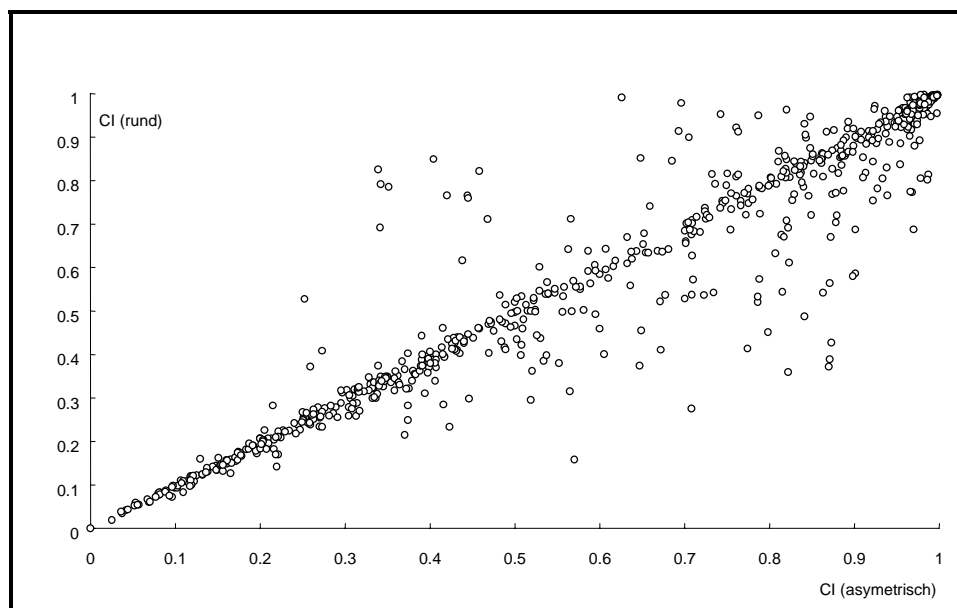


Abbildung 4-37: Vergleich des einzelbaumbezogenen Beschattungsindex (CI) auf Grundlage gemittelter, kreisförmiger Kronenmodelle bzw. asymmetrischer Kronenmodelle am Beispiel der Baumart Buche.

Aus der Gegenüberstellung der Konkurrenzwerte (CI), die auf Grundlage gemittelter, kreisförmiger Kronenmodelle bzw. asymmetrischer Kronenquerschnitte berechnet wurden, wird ersichtlich, dass sich je nach gewähltem geometrischen Ansatz (Kronenmodell) Unschärfen bei der Bestimmung der individuellen Konkurrenzsituationen beobachten lassen. Dies gilt insbesondere für den mittleren Wertebereich der erfassten Konkurrenzsituationen, in dem eine größere Spreitung zwischen den Konkurrenzwerten CI_{rund} und $CI_{\text{asymmetrisch}}$ festgestellt wurde. Umgekehrt wird ersichtlich, dass es sowohl im Fall sehr geringer Konkurrenzsituationen als auch im Fall sehr starker Beschattung (CI-Werte um 1) unerheblich ist, ob die Kronen als

kreisrunde Modelle oder als asymmetrische Kronenformmodelle in die Berechnungen eingehen.

4.4.2 Dynamisierung des Kronenmodells

4.4.2.1 Geometrische Kronengrundmodelle

Als geometrische Grundmodelle wurden die von PRETZSCH (1992c) entworfenen Kronenmodelle verwendet. Seine Modellannahmen zum Aufbau und Form der Kronen orientieren sich an den Untersuchungen von BADOUX (1939), BURGER (1939a, b) und ASSMANN (1961). Demnach wird die Form der Lichtkrone für die Baumart Buche als kubisches Paraboloid, die Schattkrone hingegen als Kegelstumpf approximiert. Der Modellansatz unterstellt, dass sich bei der Buche die größte Kronenbreite in 40 % der Kronenlänge von der Baumspitze aus befindet. Der Kronendurchmesser am Kronenansatz wird konstant mit 33 % der maximalen Kronenbreite unterstellt. Für die Baumart Lärche wurde das Kronenmodell für Fichte von PRETZSCH (1992c) übernommen. Das Modell approximiert die Lichtkrone als Kegelspitz, die Schattkrone hingegen, wie zuvor für die Baumart Buche, als Kegelstumpf. Es wird unterstellt, dass die maximale Kronenbreite bei 66 % der Kronenlänge vom Wipfel aus liegt und der Kronenradius am Kronenansatz die Hälfte der maximalen Kronenbreite beträgt. Kronenformen und -proportionen für die beiden Baumarten Buche und Lärche sind Abbildung 4-38 zu entnehmen.

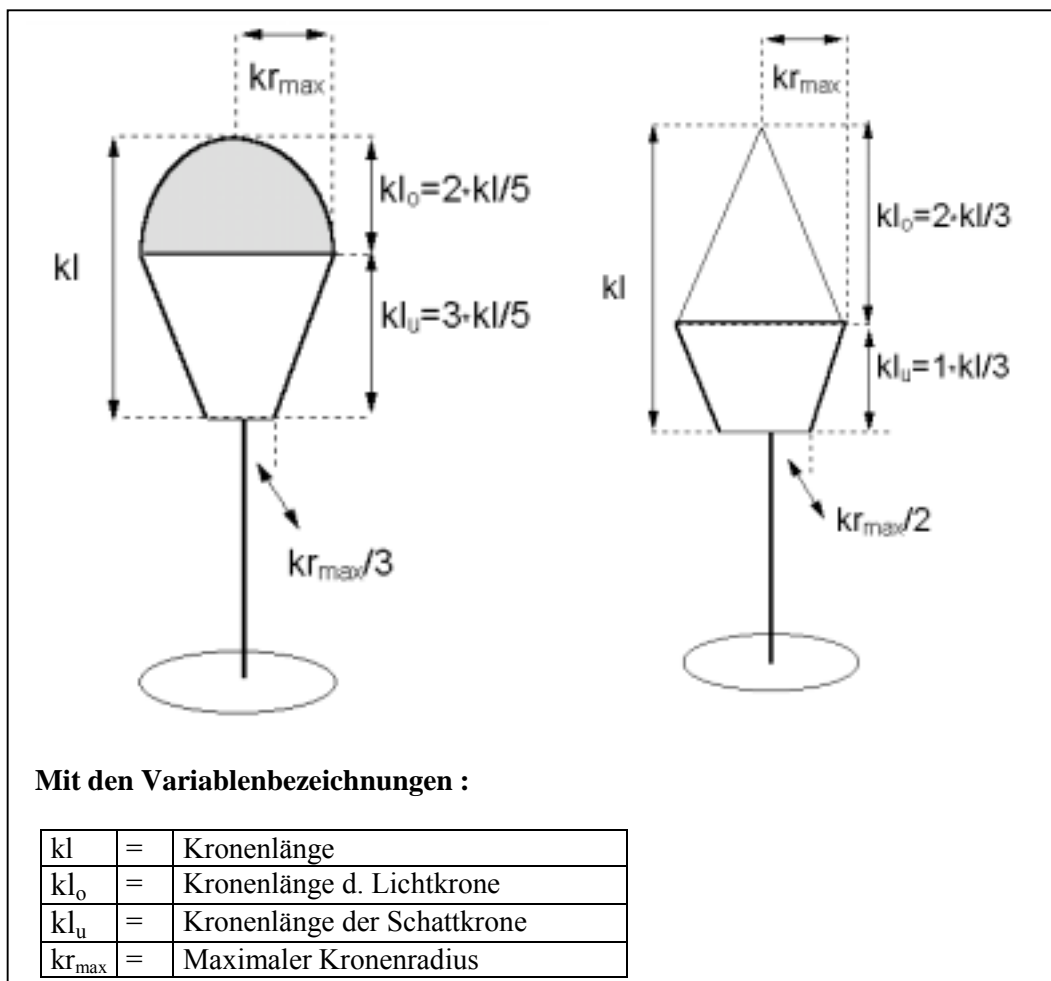


Abbildung 4-38: Kronenformen und -proportionen für Buche und Lärche nach den geometrischen Kronenformmodellen von PRETZSCH (1992c).

Unabhängig vom Alter und/oder der sozialen Stellung des Einzelbaumes unterstellen die Modellannahmen konstante Längenverhältnisse zwischen Licht- und Schattkrone sowie feste Proportionen zwischen maximaler Kronenbreite und Kronenbreite auf Höhe des Kronenansatzes.

Die Approximation der Kronenperipherie erfolgte gleichermaßen in Anlehnung an die Gleichungssysteme von PRETZSCH (1992c). Über die Eingangsgrößen Baumhöhe, Höhe des Kronenansatzes sowie maximaler Kronenradius lassen sich mit den Funktionen die genannten baumartenspezifischen Modellkörper abbilden, wobei die Veränderung des Kronenradius in Abhängigkeit von der Entfernung zum Wipfel der Baumkrone beschrieben wird. Für die Baumart Buche wird die Form der Lichtkrone über eine Parabelgleichung, die Form der Schattkrone über eine Geradengleichung berechnet. Im Fall der Baumart Lärche wird sowohl die Form der Licht- als auch die der Schattkrone über eine Geradengleichung ermittelt. Es gelten:

$$K_{rL\ddot{a}rche} = \begin{cases} \frac{3 \cdot K_{rmax}}{2 \cdot Kl} \cdot x & 0 \leq x < \frac{2 \cdot Kl}{3} \text{(Lichtkrone)} \\ 2 \cdot K_{rmax} - \frac{3 \cdot K_{rmax}}{2 \cdot Kl} \cdot x & \frac{2 \cdot Kl}{3} \leq x \leq Kl \text{(Schattkrone)} \end{cases} \quad \text{(Formel 4-6)}$$

$$K_{rBuche} = \begin{cases} \frac{K_{rmax}}{\sqrt[3]{\frac{2 \cdot Kl}{5}}} \cdot \sqrt[3]{x} & 0 \leq x < \frac{2 \cdot Kl}{5} \text{(Lichtkrone)} \\ \frac{13 \cdot K_{rmax}}{9} - \frac{10 \cdot K_{rmax}}{9 \cdot Kl} \cdot x & \frac{2 \cdot Kl}{5} \leq x \leq Kl \text{(Schattkrone)} \end{cases} \quad \text{(Formel 4-7)}$$

mit den Variablenbezeichnungen

- $K_{rL\ddot{a}rche}, K_{rBuche}$ = Kronenradien von Lärche bzw. Buche in der Entfernung x vom Baumwipfel
- Kl = Kronenlänge
- K_{rmax} = größter Kronenradius, wobei als größter Kronenradius K_{rmax} das arithmetische Mittel der acht je Baum gemessenen Radien verwendet wird
- x = Entfernung vom Baumwipfel

Die Berechnung der Kronenmantelflächen der verschiedenen geometrischen Rotationskörper erfolgte mit Hilfe der von BIBER (1996) abgeleiteten Gleichungssysteme. Es gelten:

$$km_{BU} = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^{\frac{2 \cdot Kl}{5}} \frac{K_{rmax}}{\sqrt[3]{\frac{2 \cdot Kl}{5}}} \cdot \sqrt[3]{x} dx + 2 \cdot \pi \cdot \int_{\frac{2 \cdot Kl}{5}}^{Kl} \left(\frac{13 \cdot K_{rmax}}{9} - \frac{10 \cdot K_{rmax}}{9 \cdot Kl} \cdot x \right) dx \quad \text{(Formel 4-8)}$$

$$= \frac{3 \cdot \pi \cdot Kl \cdot K_{rmax}}{5} + \frac{4 \cdot \pi \cdot Kl \cdot K_{rmax}}{5} = \frac{7 \cdot \pi \cdot Kl \cdot K_{rmax}}{5}$$

$$\begin{aligned}
km_{L\ddot{a}} &= 2 \cdot \pi \cdot \int_0^{\frac{2 \cdot Kl}{3}} \frac{3 \cdot Kr_{\max}}{2 \cdot Kl} \cdot x dx + 2 \cdot \pi \cdot \int_{\frac{2 \cdot Kl}{3}}^{Kl} \left(2 \cdot Kr_{\max} - \frac{3 \cdot Kr_{\max}}{2 \cdot Kl} \cdot x \right) dx && \text{(Formel 4-9)} \\
&= \frac{2 \cdot \pi \cdot Kl \cdot Kr_{\max}}{3} + \frac{\pi \cdot Kl \cdot Kr_{\max}}{2} = \frac{7 \cdot \pi \cdot Kl \cdot Kr_{\max}}{6}
\end{aligned}$$

mit den Variablenbezeichnungen:

- $kr_{L\ddot{a}rche}, kr_{Buche}$ = Kronenradien von L\ddot{a}rche bzw. Buche in der Entfernung x vom Baumwipfel
- kl = Kronenl\ddot{a}nge
- kr_{\max} = gr\ddot{o}\ss\ter Kronenradius, wobei als gr\ddot{o}\ss\ter Kronenradius Kr_{\max} das arithmetische Mittel der acht je Baum gemessenen Radien verwendet wird.
- x = Entfernung vom Baumwipfel

4.4.2.2 Modellierung der H\ddot{o}he der Lichtkronenbasis

Wie PRETZSCH (1992c) betont, werden in dem Wachstumssimulator „SILVA“ individuelle Merkmale hinsichtlich der Kronenauspr\dd{a}gung, wie beispielsweise die richtungsspezifische Kronenausformung oder unterschiedliche Licht- und Schattkronenanteile, in Abh\dd{a}ngigkeit von sozialer Stellung und Konkurrenzsituation aufgrund der fehlenden Datenbasis nicht ber\dd{u}cksichtigt. Stattdessen werden in Anlehnung an die Untersuchungen von BURGER (1939a) und BADOUX (1939) konstante L\dd{a}ngenverh\dd{a}ltnisse zwischen Licht- und Schattkronen unterstellt. Im Fall der Baumart Buche wird die gr\dd{o}\ss\te Kronenbreite als \dd{U}bergang zwischen Licht- und Schattkronen in 40 % der Kronenl\dd{a}nge von der Baumspitze aus festgelegt. Vergleichbar wird durch WENSEL et al. (1987) die Schnittebene zur Bestimmung des Kronenschlussgrades als Konkurrenzma\dd{B} (C66) in 66 % der Baumh\dd{o}he des Bezugsbaumes festgelegt. Im Gegensatz dazu definiert NAGEL (1999) im Wachstumssimulator „BwinPro“ die Schnittebene zur Bestimmung des Kronenschlussgrades in 66 % der Kronenl\dd{a}nge (siehe Abbildung 4-39).

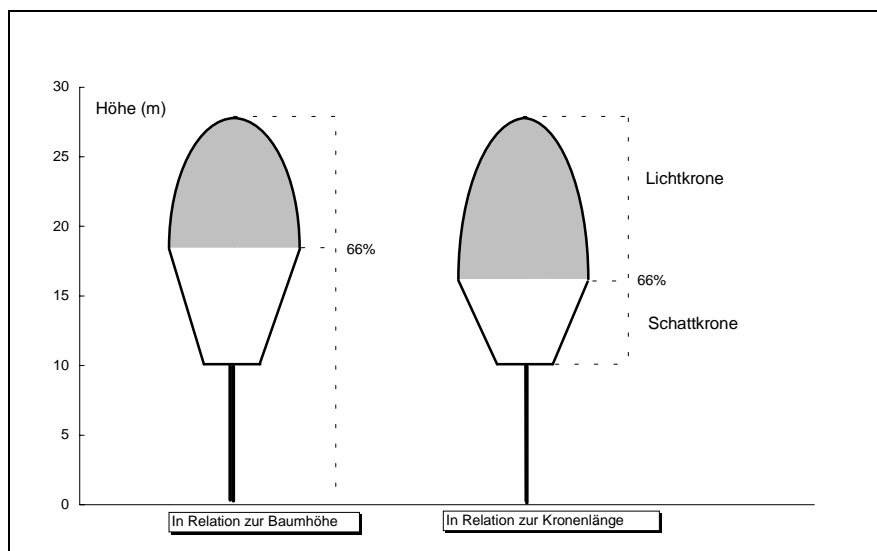


Abbildung 4-39: Schematischer Vergleich zur Herleitung des \dd{U}bergangs zwischen Licht- und Schattkronen (H\dd{o}he der maximalen Kronenbreite).

Um die bekannten Modellannahmen und Ans\dd{a}tze zu erg\dd{a}nzen, wurde in acht unterschiedlich alten Buchen-L\dd{a}rchen-Mischbest\dd{a}nden die H\dd{o}he der maximalen Kronenbreite gemessen. Im Gegensatz zu der Aufnahmemethodik von VORREYER (1997) wurde dabei je Einzelbaum nur eine H\dd{o}henmessung durchgef\dd{u}hrt. Abbildung 4-40 zeigt den festgestellten straffen Zusam-

menhang zwischen Baumhöhe und Höhe der Lichtkronbasis (Höhe der maximalen Kronenbreite). Sowohl für die Baumart Buche als auch für die Baumart Lärche konnte die Beziehung mit Hilfe eines linearen Ausgleichs hinreichend genau beschrieben werden.

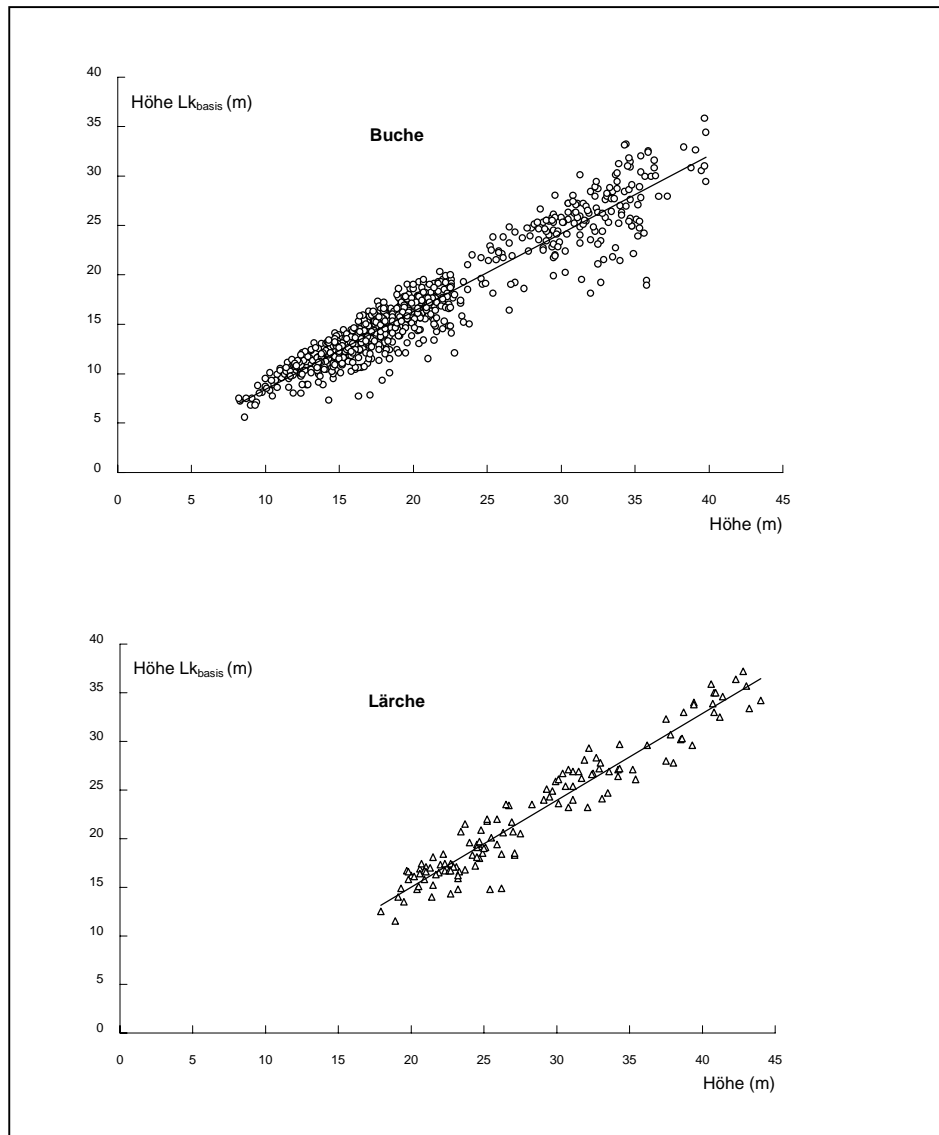


Abbildung 4-40: Beziehung zwischen Baumhöhe und Höhe der Lichtkronbasis für Buche (oben) und Lärche (unten).

Tabelle 4-15 sind die errechneten Regressionsparameter, deren Standardfehler sowie die ermittelten Bestimmtheitsmaße getrennt nach Buche und Lärche zu entnehmen.

Tabelle 4-15: Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der linearen Schätzfunktionen für die Beziehung zwischen Baumhöhe und Höhe der Lichtkronbasis.

	LÄRCHE $r^2 = 0,93$, $N = 128$		BUCHE $r^2 = 0,90$, $N = 755$	
	Parameter	Standardfehler	Parameter	Standardfehler
C (Konstante)	-2,8278	0,6352	0,5441	0,2046
b	0,8925	0,0217	0,7874	0,0094

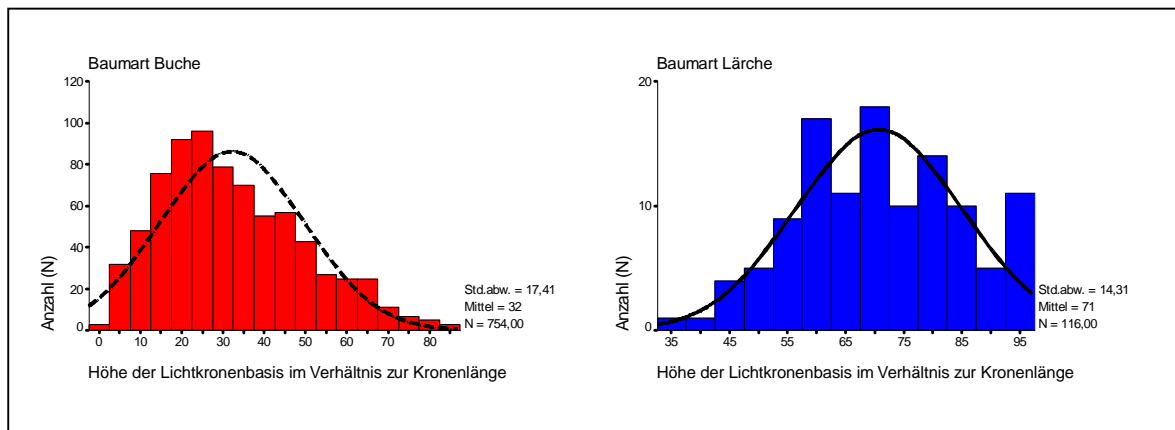


Abbildung 4-41: Häufigkeitsverteilungen der beobachteten Höhe der Lichtkronenbasis getrennt für Buche (links) und Lärche (rechts).

Für die Baumart Buche wurde die durchschnittliche Höhe der Lichtkronenbasis als Übergang zwischen Licht- und Schattkrone in 32 % der Kronenlänge von der Baumspitze aus ermittelt (siehe Histogramm in Abbildung 4-41). Im Vergleich zu den Modellannahmen von PRETZSCH (1992c) ist demzufolge die Höhe der Lichtkronenbasis noch stärker in Richtung Baumspitze verschoben. Infolgedessen ist auch der durchschnittliche Lichtkronenanteil an der Gesamtkrone der Buche geringer einzuschätzen. Für die Baumart Lärche wurde hingegen die durchschnittliche Höhe der Lichtkronenbasis in 71 % der Kronenlänge von der Baumspitze aus errechnet. Im Vergleich dazu unterstellt der für die Lärche übernommene geometrische Modellansatz von PRETZSCH (1992c) für die Baumart Fichte, dass die maximale Kronenbreite bei 66 % der Kronenlänge vom Wipfel aus liegt.

Die relative Lageveränderung der Höhe der Lichtkronenbasis in Beziehung zur Baumhöhe ist in Abbildung 4-42 dargestellt. Im Fall der Baumart Buche ist zu beobachten, dass die Höhe der Lichtkronenbasis mit zunehmender Höhe des Buchenkollektivs von 85 % der Ausgangshöhe (10 m) auf 80 % der Ausgangshöhe (40 m) abnimmt. Diese Tendenz deutet darauf hin, dass die Baumart Buche im Laufe ihrer Kronenentwicklung mit zunehmender Höhe, respektive Alter kontinuierlich ihren Lichtkronenanteil zugunsten des Schattkronenanteils ausbaut und damit den Anteil zwischen überwiegend assimilierenden und umgekehrt überwiegend respirierenden Kronenanteilen ausgleicht.

Umgekehrt lässt sich für die Lichtbaumart Lärche beobachten, dass die Höhe der Lichtkronenbasis mit zunehmender Bestandeshöhe von 70 % der Ausgangshöhe (15 m) auf über 80 % der Ausgangshöhe (45 m) ansteigt. Die kontinuierliche Verlagerung der Höhe der Lichtkronenbasis mit zunehmender Höhe respektive Alter wird auf die baumartenspezifische Bestandesdynamik von Buchen-Lärchen-Mischbeständen zurückgeführt. So schieben sich aufgrund der nachlaufenden Wuchsdynamik der Buche im Laufe der Bestandesentwicklung die Buchenkronen kontinuierlich in das Kronendach der vorherrschenden Lärchen hinein. Als Folge dieser „Aufarbeitung“ der Lärchenkronen durch die Buche verschiebt die Lärche ihre Lichtkrone zunehmend nach oben.

Im Zusammenhang mit der Modellierung der horizontalen Kronenbreitenveränderungen ermöglichen die parametrisierten Funktionen die Orientierung auf der y-Achse (Höhe) im dreidimensionalen Kronenraum. Diese zusätzliche Information ist erforderlich, da standardmäßige Kronenablotungen die Kronenbreiten auf Schnittebene der maximalen Kronenbreite (Lichtkronenbasis) erfassen. Zweidimensionale Kronenkarten und Weiterverarbeitung der Kronenablotungen ohne Höhenbezug im dreidimensionalen Kronenraum spiegeln hingegen die tatsächlichen Konkurrenzverhältnisse im Kronenraum nur unzureichend wieder.

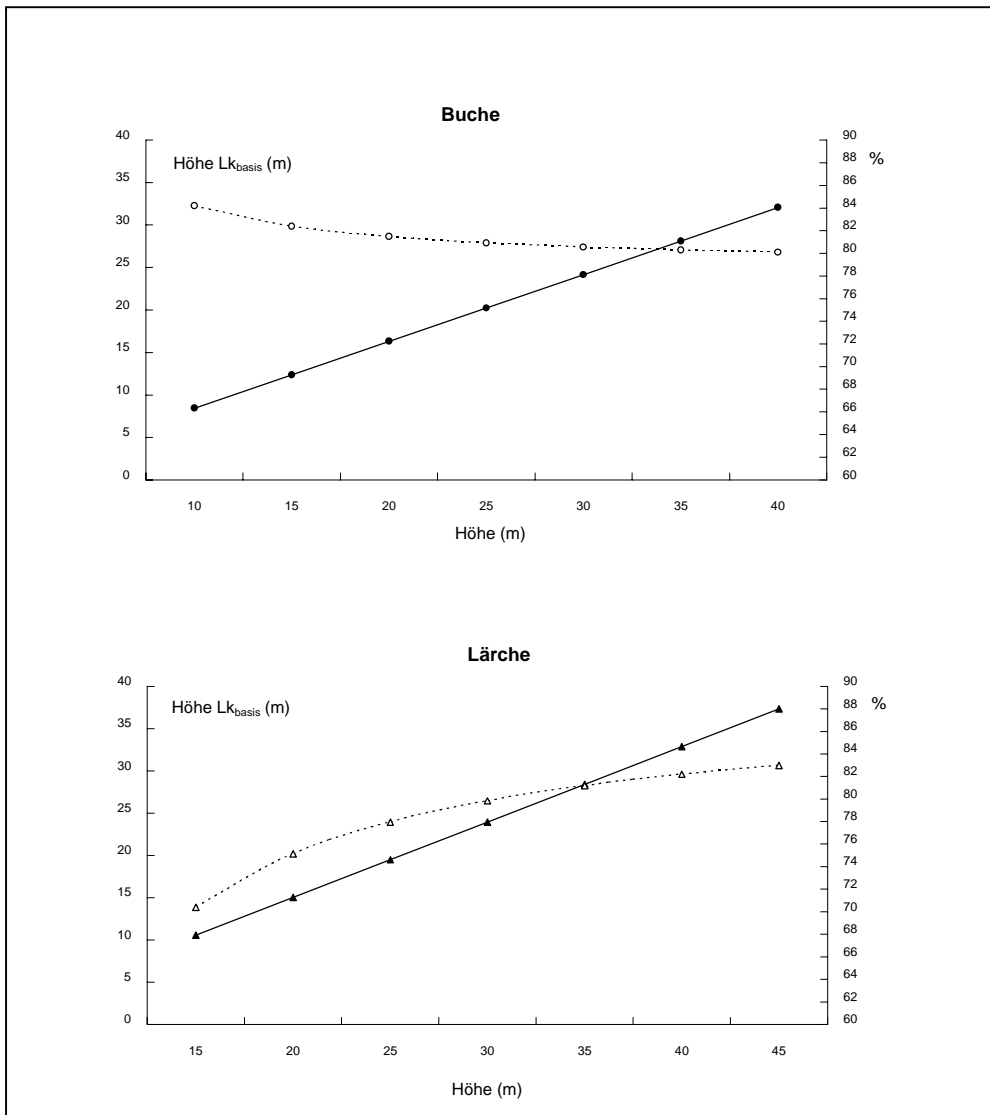


Abbildung 4-42: Relative Lageveränderung der Höhe der Lichtkronbasis in Beziehung zur Ausgangshöhe getrennt für Buche (oben) und Lärche (unten). (Die relative Lageveränderung ist als gestrichelte Linie, die absolute Höhe der Lichtkronbasis als durchgezogene Linie über der Ausgangshöhe aufgetragen).

4.4.2.3 Modellierung horizontaler Kronbreitenveränderungen

4.4.2.3.1 Modellansatz

In Anlehnung an die Ergebnisse der Voruntersuchungen über den Umfang und die richtungsbezogene Dynamik von Kronbreitenveränderungen in Buchen- bzw. Lärchenreinbeständen (siehe Kapitel 4-2) ist die Einschätzung und Bewertung der individuellen Nachbarschaftsverhältnisse im Kronenraum für die Prognose horizontaler Kronbreitenveränderungen von zentraler Bedeutung. Es gilt der Ansatz:

$$ikr = f(ikr_{pot}, C_{Art, Abstand}) \quad (\text{Formel 4-10})$$

mit den Variablenbezeichnungen :

ikr	= Kronenbreitenzuwachs (m/J)
ikr_{pot}	= potentieller Kronenbreitenzuwachs (m/J)
$C_{Art, Abstand}$	= Konkurrenzeinfluss durch Art und Abstand der Nachbarkronen zur Kronenperipherie des Bezugsbaumes.

Ziel des Modellansatzes ist es, Kronenbreitenveränderungen in Abhängigkeit von den individuellen Nachbarschaftsverhältnissen des Bezugsbaumes als richtungsspezifische, sektorielle Kronenausdehnung bzw. Kronenverkleinerung prognostizieren zu können.

Methodisch basiert der Modellansatz auf der Programm-Routine "Abstand", die von PRETZSCH (1992d) auf der Datenbasis wiederholter Kronenablotungen in Buchen-Fichten-Mischbeständen entwickelt und parametrisiert wurde. Die Programm-Routine steuert die Kronenradienzuwächse über den Einfluss seitlicher Kroneneinengung.

Grundlage für die Parametrisierung des Modellansatzes bilden die bekannten richtungsspezifischen positiven wie auch negativen Kronenbreitenveränderungen aus der Differenz der wiederholten Kronenablotungen (s. dazu Abb. 4-28). Der Konkurrenzeinfluss durch Art und Abstand der Nachbarkronen auf die Kronenperipherie des Bezugsbaumes wurde hingegen indirekt mit Hilfe der Stammverteilungspläne, der geometrischen Kronengrundmodelle sowie der individuellen Funktionen zur Einschätzung der Höhe der Lichtkronenbasis abgeleitet. Alle Versuche, die richtungsbezogene Konkurrenzsituation mit Hilfe des Beschattungsindex FKI in den Modellansatz einfließen zu lassen, führten hingegen zu biologisch unplausiblen Ergebnissen und wurden verworfen. In diesem Zusammenhang konnten die Ergebnisse weder durch die Variation des Öffnungswinkels noch über die unterschiedliche Wahl der Höhe der Schnittebene, auf der die computergestützte „Fisheye-Projektion“ erzeugt wird, verbessert werden. Ursächlich wird dies darauf zurückgeführt, dass die berechneten richtungsbezogenen Beschattungswerte als Konkurrenzparameter in Bezug auf den abzubildenden Wachstumsprozess an der Kronenperipherie nur unzureichend genau hergeleitet werden können.

4.4.2.3.2 Erfassung der Nachbarschaftsverhältnisse

Zur Erfassung der Nachbarschaftsverhältnisse im dreidimensionalen Kronenraum wurde die Programmroutine „*KONKURZ 4.0*“ (PANFYOROY 1998) entwickelt. Das Programm berechnet in Abhängigkeit von den acht Himmelsrichtungen, in denen die Kronen abgelotet wurden, die Abstände zwischen der Kronenperipherie des Bezugsbaumes und dem Rand der nächsten Nachbarkrone. Parallel dazu wird die Art des betreffenden Nachbarn ermittelt und gemeinsam mit den errechneten Kronenabständen in einer Ausgabedatei gespeichert. Methodisch basiert das Programm auf den zuvor beschriebenen geometrischen Kronengrundmodellen (siehe dazu 4.4.2.1) sowie den parametrisierten individuellen Funktionen zur Einschätzung der Höhe der Lichtkronenbasis (siehe dazu 4.4.2.2). Darüber hinaus wird der Kronenrand auf Höhe der Lichtkronenbasis als Polygonzug beschrieben, wobei auf die originären Daten der Kronenablotung zurückgegriffen wird. Das Programm berücksichtigt somit die individuelle Kronenausformung sowohl in Bezug auf die horizontale Kronenexzentrizität (asymmetrisch ausgebildete Kronenschirmflächen) als auch hinsichtlich der Verlagerung der Höhe der Lichtkronenbasis in Abhängigkeit von der Höhe des Einzelbaumes.

Abbildung 4-43 zeigt dazu in Form einer vereinfachten schematischen Darstellung die Funktionsweise des Programms. Ausgehend von der Höhe der Lichtkronenbasis und der definierten Himmelsrichtung im Abstand von 50 Gon wird der Abstand zwischen dem

Kronenrand des Bezugsbaumes und der Kronenperipherie der nächsten Nachbarkrone durch einen „Fahrstrahl“ ermittelt.

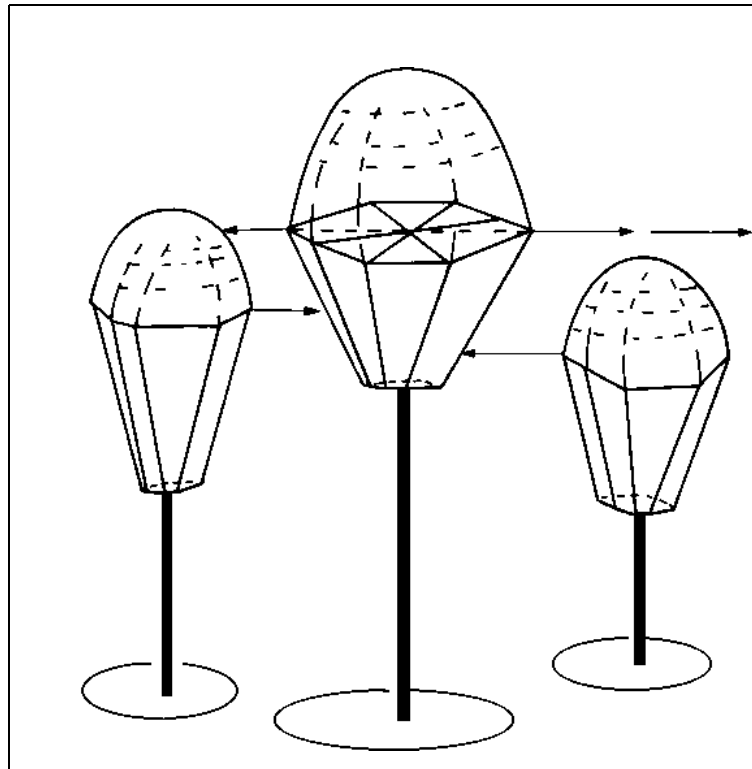


Abbildung 4-43: Schematische Darstellung der Funktionsweise des Programmbausteins KONKURZ 4.0 zur Berechnung der Abstände zwischen der Kronenperipherie benachbarter Bäume (in Anlehnung an PRETZSCH 1992d).

4.4.2.3.3 Potentielle Kronenbreitenveränderung

Zur Bestimmung des potentiellen positiven Kronenbreitenzuwachses wurden aus dem zur Verfügung stehenden Datenpool die horizontalen Kronenzuwächse herausgefiltert, die ohne seitliche Kroneneinengung ausgebildet wurden. Als Filtermodus wurde dabei unterstellt, dass sowohl bei der Erstaufnahme 1984 als auch bei der Zweitaufnahme 1994 der Abstand der Kronenperipherie zwischen Bezugsbaum und nächster Nachbarkrone > 0 war. Das gefilterte, „unbeeinflusste“ Wertekollektiv konnte, vergleichbar mit den Ergebnissen in Kapitel 4.3.3, mit dem Kronenradius in Beziehung gesetzt werden, wobei für beide Baumarten degressiv abnehmende „potentielle“ Kronenbreitenveränderungen mit zunehmendem Kronenradius festgestellt wurden. In einem zweiten Schritt wurden aus dem gefilterten, „unbeeinflussten“ Teilkollektiv die beobachteten Maximalwerte als Einzelbeobachtungen für jeweils 20 cm breite Radienstufen herausgegriffen und regressionsanalytisch über dem Ausgangsradius ausgeglichen.

Die Koeffizienten der Schätzfunktionen für den potentiellen Kronenbreitenzuwachs in Abhängigkeit vom Ausgangsradius wurden mit der SPSS-Routine für nicht lineare Regression geschätzt. Die beste Anpassung wurde dabei mit einem logarithmischen Funktionstyp erreicht (siehe Formel 4-1). Tabelle 4-16 sind die errechneten Parameter, deren Standardfehler sowie die ermittelten Bestimmtheitsmaße getrennt nach Buche und Lärche zu entnehmen.

Tabelle 4-16: Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der Schätzfunktionen für den potentiellen Kronenbreitenzuwachs in Abhängigkeit vom Ausgangsradius.
(Mit den Variablenbezeichnungen ir = Kronenbreitenzuwachs und kr = Kronenradius).

$ir = c \cdot \ln(kr) + b$	LÄRCHE $r^2 = 0,71$, $N = 26$		BUCHE $r^2 = 0,79$, $N = 48$	
	Parameter	Standardfehler	Parameter	Standardfehler
C (Konstante)	0,3326	0,0367	0,2797	0,0179
b	-0,1402	0,0336	-0,0901	0,0113

Abbildung 4-44 zeigt die beobachteten horizontalen Kronenbreitenveränderungen sowie Lage und Verlauf der parametrisierten Schätzfunktionen für den „potentiellen Kronenbreitenzuwachs“ über dem Ausgangsradius für die Baumart Buche (oben) und Lärche (Mitte). In beiden Fällen handelt es sich um degressiv fallende Funktionen, die den maximalen Wertebereich der Einzelbeobachtungen am oberen Rand umschließen.

Der direkte Vergleich der beiden Schätzfunktionen für die Baumarten Buche und Lärche ist Abbildung 4-44 (unten) zu entnehmen. Bis zu einem Ausgangsradius von 3 m liegt demnach der „potentielle Kronenbreitenzuwachs“ der Lärche über dem der Buche. Die Lärche leistet dabei „potentielle“ Kronenbreitenzuwächse zwischen 30 cm und 60 cm je Jahr, die Baumart Buche hingegen maximal 40 cm je Jahr. Mit weiter zunehmendem Ausgangsradius nimmt der Kronenbreitenzuwachs der Lärche deutlich ab und fällt auf Werte < 10 cm je Jahr. Im Gegensatz dazu lässt sich für die Baumart Buche feststellen, dass bis zu einem Kronenradius von 10 m noch maximal 10 cm Kronenbreitenzuwachs je Jahr geleistet werden können.

Im Vergleich beider Baumarten spiegeln die Funktionsverläufe die unterschiedliche Wuchsdynamik und damit indirekt den Alterstrend wieder. So ist die Lichtbaumart Lärche nur in ihrer frühen Entwicklungsphase in der Lage, vergleichbar stärkere Kronenbreitenzuwächse zu leisten, während mit zunehmendem Ausgangsradius (Alter) diese Dynamik rasch nachlässt. Die Schattbaumart Buche zeichnet sich hingegen durch insgesamt geringere „potentielle“ Kronenbreitenveränderungen aus, ist jedoch in der Lage bis ins hohe Alter (große Ausgangsradien) nahezu konstante Zuwächse zu leisten und damit laufend konkurrenzkräftiger zu werden. Das Ergebnis bestätigt die im Rahmen der Voruntersuchungen festgestellte starke Wuchsdynamik und Plastizität von Buchenkronen (siehe Kapitel 4.1.2).

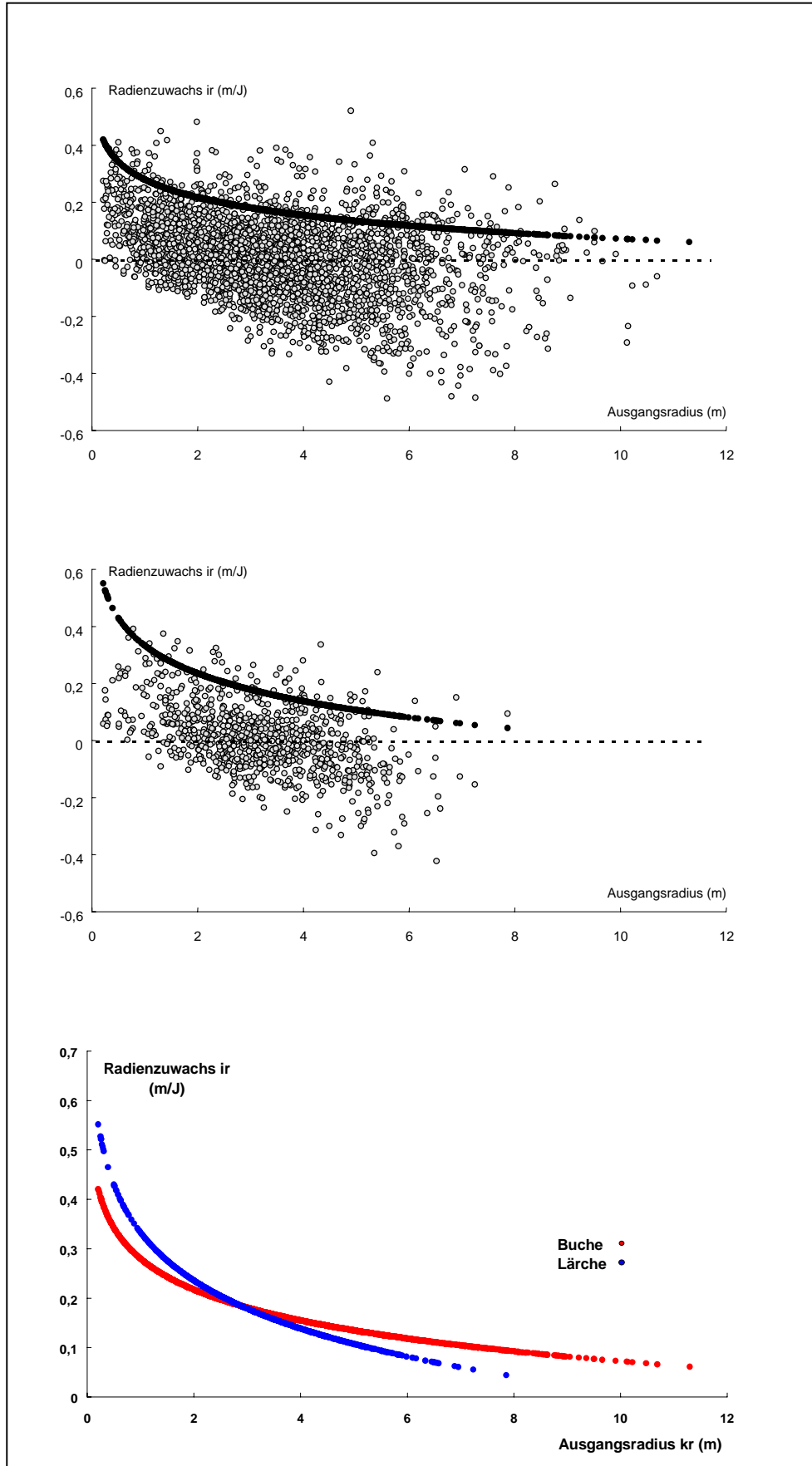


Abbildung 4-44: Horizontale Kronenbreitenveränderungen und abgeleitete „potentielle Radienzuwächse“ über dem Ausgangsradius für Buche (oben) und Lärche (unten).

4.4.2.3.4 Reaktionsmuster auf Seitendruck

Das Reaktionsmuster von Kronenbreitenveränderungen auf Seitendruck wurde durch Verschneidung der richtungsbezogenen Abstandsinformationen, den errechneten „potentiellen“ Kronenbreitenzuwachsen sowie den tatsächlich gemessenen Kronenbreitenveränderungen analysiert. Um den beobachteten, mit steigendem Ausgangsradius degressiv fallenden Zuwachstrend zu eliminieren, wurden dabei die abstandsabhängigen Zuwachsbeziehungen auf dem Quotienten aus tatsächlichen Kronenbreitenzuwachs zu potentiell möglichem Zuwachs (ir/ir_{pot}) aufgebaut. Des Weiteren wurden als Modellannahmen unterstellt, dass der Einfluss seitlicher Kroneneinengung bis maximal 2 m Kronenabstand von Bedeutung ist sowie umgekehrt Kronenüberlappungen bis maximal 4 m Kronentiefe möglich sind. Zur weiteren Absicherung der Ergebnisse erfolgten die Auswertungen ausschließlich auf Grundlage der Datensätze der beiden Kronenablotungen, für die identische Baumnummern sowie identische Artzugehörigkeit des Nachbarn herausgefiltert werden konnten.

Für die Baumart Buche zeigt Abbildung 4-45 getrennt nach Art der nächsten Nachbarkrone (Buche oben, Lärche Mitte) den beobachteten relativen Kronenbreitenzuwachs in Abhängigkeit vom Abstand zwischen der Kronenperipherie des Bezugsbaumes und der Nachbarkrone. Die angepassten quadratischen Schätzfunktionen lassen erkennen, dass der relative Kronenbreitenzuwachs der Baumart Buche nahezu unabhängig von der Art des Nachbarn proportional mit geringer werdendem Kronenabstand abnimmt. Darüber hinaus zeigen die Funktionsverläufe, dass bis zu einer Kronenüberlappung von rd. 80 cm Tiefe noch überwiegend positive Kronenbreitenveränderungen geleistet werden.

Aus methodischer Sicht ist anzumerken, dass durch den Verlauf der parametrisierten Schätzfunktionen relative Kronenbreitenzuwächse von maximal 60 % bei einem Kronenabstand von annähernd 2 m prognostiziert werden. Dieser Umstand wird darauf zurückgeführt, dass im Rahmen der vorangegangenen Herleitung der Funktionen für den potentiellen Kronenbreitenzuwachs eine relativ schmale Datenbasis von beobachteten Maximalwerten verwendet wurde. Methodisch vergleichbare Ansätze und Funktionstypen, die auf Grundlage eines „mittleren“ Potentials parametrisiert wurden, führten hingegen, bei grundsätzlich ähnlichen Funktionsverläufen, zu relativen Kronenbreitenzuwachsen von bis zu 200 %. Die Unterschiede weisen auf die grundsätzliche Problematik bei der Herleitung und Einschätzung von „Potentialfunktionen“ und ihrer Verwendung als modellinterne Bezugsgröße hin. Darüber hinaus wird deutlich, dass zusätzliche, durch den Modellansatz nicht berücksichtigte, Einflussfaktoren wie bspw. genetische Variabilität oder zufällige mechanische Einwirkungen die unterstellte Modellbeziehung überlagern können und dadurch sowohl die Asymptote als auch den Funktionsverlauf entsprechend beeinflussen.

Abbildung 4-45 (unten) zeigt im Vergleich die Dynamik relativer Kronenbreitenzuwächse der Baumart Buche in Abhängigkeit von Art und Abstand der Nachbarkrone. Da im vorgestellten Modellansatz die o. g. weiteren unbekannteren, aber wirksamen Einflussfaktoren nicht eliminiert werden sollten, wird unabhängig von der Art des Nachbarn maximal 60 % des potentiellen Kronenbreitenzuwachses bei einem Kronenabstand von 2 m geleistet. Die Funktionen lassen darüber hinaus erkennen, dass bis zu einer Kronenüberlappung von annähernd 80 cm noch positive Kronenbreitenzuwächse geleistet werden. Der Modellansatz unterstellt daher entsprechend den individuellen Funktionsverläufen, dass sich ab einer Kronenverzahnung von rd. 80 cm positive wie auch negative Kronenbreitenveränderungen die Waage halten und sich demzufolge ein Gleichgewicht einstellt.

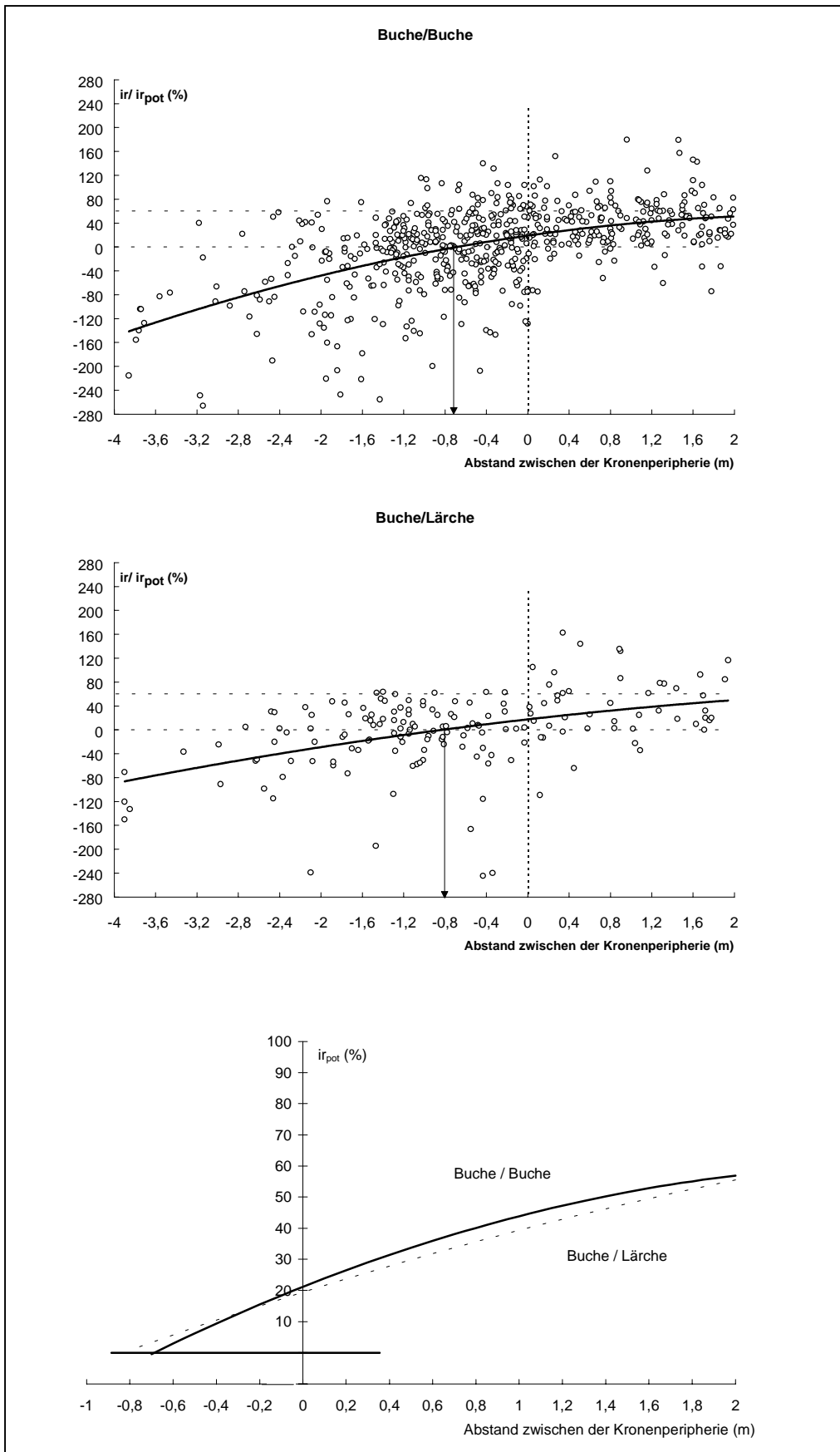


Abbildung 4-45: Reaktionsmuster der Buchenkronen (Kronenbreitenveränderung) in Abhängigkeit von seitlicher Kroneneinengung und der Art des Nachbarn.

Im Ergebnis deuten die Beobachtungen einerseits darauf hin, dass sich die Kronen der Schattbaumart Buche mehr oder minder stark ineinander verzahnen und dadurch in der Lage sind, ein vergleichsweise dichtes Kronendach auszubilden. Andererseits zeigt sich, dass im nachbarschaftlichen Kontakt zur Lichtbaumart Lärche die Dynamik der Buche auch hinsichtlich ihrer Kronenexpansion nicht gebremst wird, wodurch sich u. a. die im Laufe der Bestandesentwicklung zunehmende Konkurrenzstärke der Buche gegenüber der Lärche erklären lässt.

Im Gegensatz zur Buche lässt sich für die Baumart Lärche ein vergleichsweise starker Einfluss seitlicher Kroneneinengung auf den Kronenbreitenzuwachs beobachten. Abbildung 4-46 zeigt den ermittelten relativen Kronenbreitenzuwachs in Abhängigkeit vom Abstand zwischen der Kronenperipherie des Bezugsbaumes und der Art der Nachbarkrone (Lärche oben, Buche Mitte). Beide Funktionen zeichnen sich durch einen stark degressiven Verlauf aus und lassen erkennen, dass die Lärche weder inner- noch zwischenartige Kronenverzahnungen toleriert. So wird bei einem seitlichen Abstand der Kronenperipherie von weniger als 40 cm nur noch maximal 10 % des potentiellen relativen Kronenbreitenzuwachses geleistet. Mit zunehmendem Kronenkontakt wird entsprechend den Funktionsverläufen der relative Kronenbreitenzuwachs gänzlich eingestellt. Im direkten Vergleich der Funktionen (Abbildung 4-46, unten) fällt darüber hinaus auf, dass bei ähnlichem Funktionsverlauf von der Lärche im Kontaktbereich zur Buche geringere Kronenbreitenzuwächse als im Fall innerartlicher Nachbarschaft geleistet werden. Dieser Befund wird dahingehend interpretiert, dass Buchenkronen eine offensichtlich so stark beschattende Wirkung auf Lärchen in direkter Nachbarschaft ausüben, dass dadurch auch die Dynamik der Lärchen zur weiteren Kronenexpansion herabgesetzt wird. Im Ergebnis erklärt sich daraus die im Laufe der Entwicklung gleichaltriger Mischbestände immer wieder festzustellende zunehmende Verlagerung des Konkurrenzgleichgewichtes zugunsten der Schattbaumart Buche.

Alle vier Schätzfunktionen zur Beschreibung der abstandsabhängigen Zuwachsbeziehungen wurden mit Hilfe quadratischer Funktionen angepasst. Bestimmtheitsmaße, Regressionskoeffizienten sowie Standardfehler der Einzelkoeffizienten sind Tabelle 4-17 zu entnehmen.

Tabelle 4-17: Regressionsparameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der Schätzfunktionen für die Beziehung zwischen Kronenbreitenveränderung und seitlichem Abstand der Kronenperipherie zum nächsten Nachbarn. (Variablenbezeichnungen: ir = Kronenradienzuwachs; ir_{pot} = potentieller Kronenradienzuwachs; D = Abstand zwischen Kronenperipherie des Bezugsbaumes und nächster Nachbarkrone; a, b = Regressionsparameter; c = Konstante).

Modellansatz: $ir / ir_{pot} = a \cdot D^2 - b \cdot D + c$					
$r^2 = 0,28$, $N = 599$			$r^2 = 0,51$, $N = 38$		
Buche/Buche	Parameter	Standardfehler	Lärche/Lärche	Parameter	Standardfehler
a	-4,3428	1,1872	a	8,3949	5,8883
b	24,7680	2,2156	b	35,8568	6,3618
c	19,0391	2,7983	c	-,1157	7,6979
$r^2 = 0,20$, $N = 165$			$r^2 = 0,24$, $N = 128$		
Buche/Lärche	Parameter	Standardfehler	Lärche/Buche	Parameter	Standardfehler
a	-1,6805	1,9626	a	3,4063	2,8933
b	19,5866	4,6504	b	27,9674	4,9631
c	17,5012	5,7094	c	-1,9369	6,6056

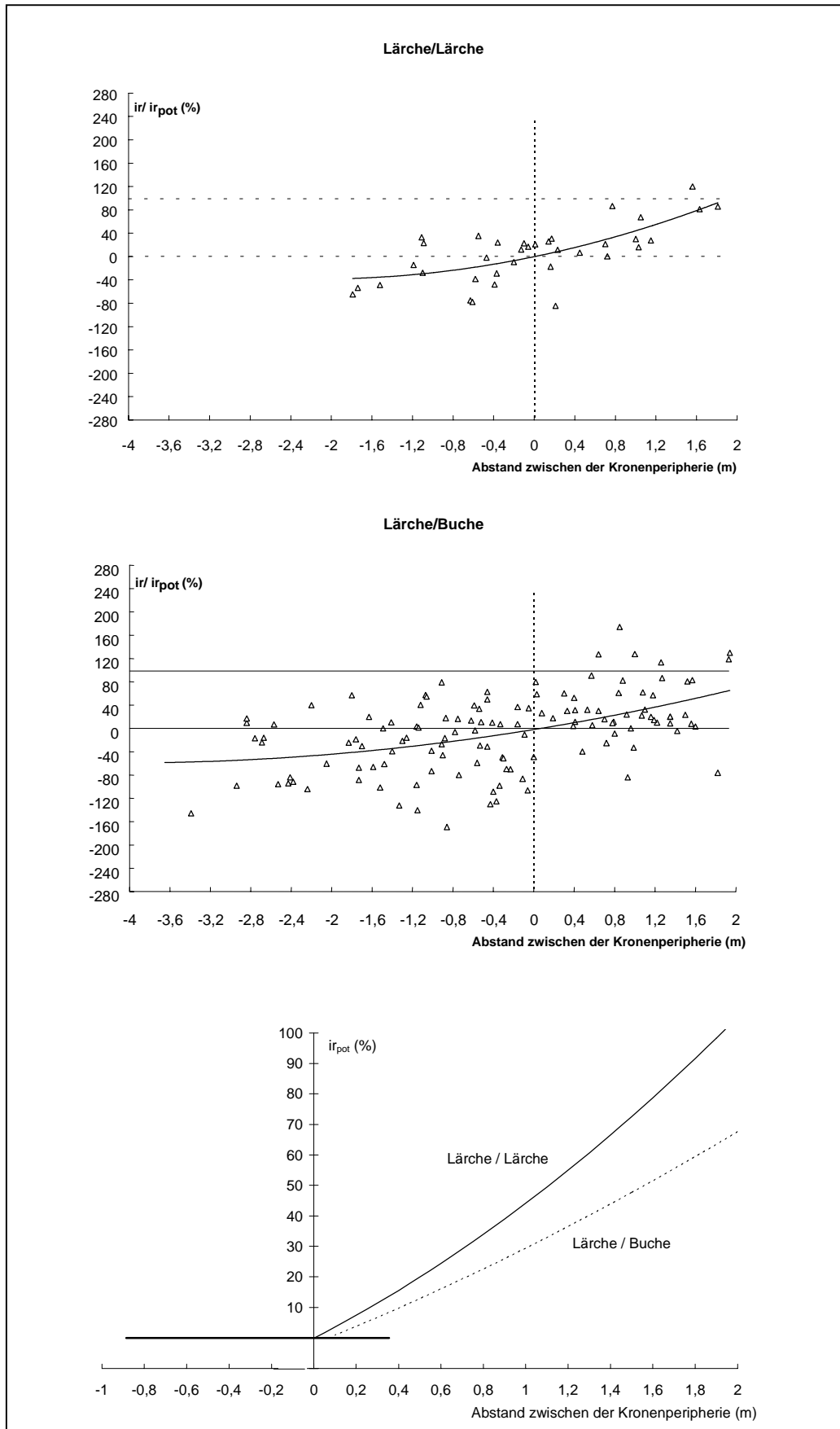


Abbildung 4-46: Reaktionsmuster der Lärchenkronen (Kronenbreitenveränderung) in Abhängigkeit von seitlicher Kroneneinengung und der Art des Nachbarn.

4.4.2.3.5 Begrenzerfunktionen

Um die konkurrenzgesteuerten Kronenbreitenveränderungen zu begrenzen und damit die Entwicklung biologisch unplausibler Kronendimensionen zu vermeiden, wurden auf Grundlage der originären Kronenablotungen zusätzliche Begrenzerfunktionen parametrisiert. Sie basieren auf der straffen allometrischen Beziehung zwischen BHD und Kronenradius (siehe Abbildung 4-47). In Ergänzung zu dem Modellansatz stellen die Funktionen sicher, dass sich die Kronenbreite eines konkurrenzfrei aufwachsenden Einzelbaumes nur solange um den „potentiellen“ Zuwachs vergrößert, bis ein definierter Maximalwert erreicht ist. Umgekehrt wird über die Definition von Minimalwerten das Unterschreiten beobachteter Kronenradien verhindert. Dadurch werden gleichermaßen biologische Unplausibilitäten vermieden.

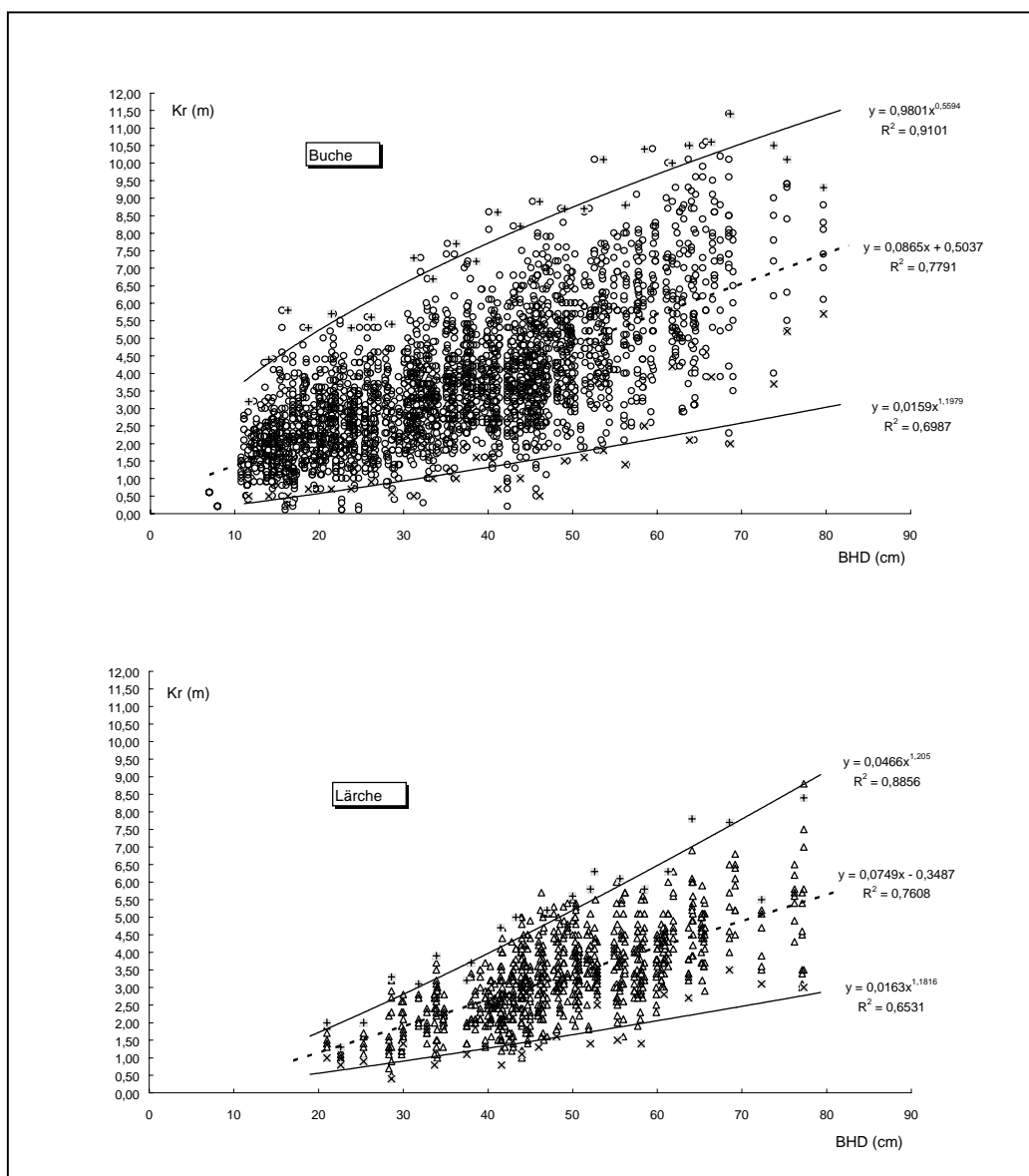


Abbildung 4-47: Lage und Verlauf der „Begrenzerfunktionen“ (maximaler und minimaler Kronenradius) in Abhängigkeit vom BHD für Buche (oben) und Lärche (unten).

Für die Parametrisierung der „oberen“ Begrenzerfunktion (maximaler Kronenradius) wurden die beobachteten Maximalwerte als Einzelbeobachtungen für jeweils 2 cm breite Durchmesserstufen herausgefiltert und regressionsanalytisch über dem BHD ausgeglichen. Nach dem gleichen Verfahren wurde die „untere“ Begrenzerfunktion (minimaler Kronenradius) auf Grundlage der gemessenen kleinsten Kronenradien hergeleitet. Die Schätzfunktionen wurden für beide Baumarten mit Hilfe von Potenzfunktionen angepasst. Bestimmtheitsmaße sowie Regressionskoeffizienten der einzelnen Begrenzerfunktionen sind Abbildung 4-47 für die Baumarten Buche (oben) und Lärche (unten) zu entnehmen.

4.4.2.3.6 Wirkungsweise des Modellansatzes

Die unterschiedlichen Reaktionsmuster der Kronenentwicklung von Buchen und Lärchen auf Seitendruck durch inner- bzw. zwischenartliche Konkurrenz sind in den Abbildungen 4-48 bis 4-50 dargestellt. Mit Hilfe der parametrisierten abstandsabhängigen Zuwachsfunktionen zur Beschreibung der horizontalen Kronenbreitenentwicklung wurden jeweils 10-jährige Prognoseintervalle simuliert, wobei ein einheitlicher Abstand zwischen den Kronenperipherien des Bezugsbaums und der Nachbarkrone von 1,0 m als Startwert der Simulationsläufe unterstellt wurde. In den Simulationsläufen wurde darüber hinaus unterstellt, dass sowohl der Bezugsbaum als auch die betrachteten Nachbarbäume maximale Kronenbreiten auf gleicher Höhe aufweisen. Abbildung 4-48 zeigt eine Gruppe von drei Lärchen in unmittelbarem nachbarschaftlichem Kronenkontakt zueinander.

Abbildung 4-48 (oben) verdeutlicht den starken Einfluss seitlicher Kroneneinengung auf die horizontale Entwicklungsdynamik von Lärchenkronen. So wurde für die Lärche in der Mitte der Dreiergruppe in nördlicher Richtung ohne Nachbarschaftskontakt ein Kronenbreitenzuwachs von 1,30 m errechnet. Umgekehrt reduziert sich in südöstlicher bzw. südwestlicher Richtung aufgrund der unmittelbaren Nähe zu Nachbarkronen der horizontale Kronenbreitenzuwachs auf 0,30 m in dem 10-jährigen Prognosezeitraum. Diese annähernde Stagnation der Kronenentwicklung ist aus waldbaulicher Sicht besonders kritisch zu beurteilen. Die Simulation verdeutlicht darüber hinaus, dass die Lärchenkronen eine innige Verzahnung ihrer Kronenperipherien meiden. Im Gegensatz dazu zeigt Abbildung 4-48 (unten) die Kronenprojektionen der drei Lärchen auf Basis der gemittelten acht Kronenbreiten zum Ende des Prognosezeitraumes. Die Projektionen vermitteln den Eindruck von Kronenverzahnungen / Kronenüberlappungen in einer Größenordnung von über 1,0 m. Vergleichbare Vorgehensweisen sind deshalb sowohl für die Berechnung von Überschirmungsprozenten als auch für die Ermittlung des Kronenschlussgrades als kritisch zu beurteilen.

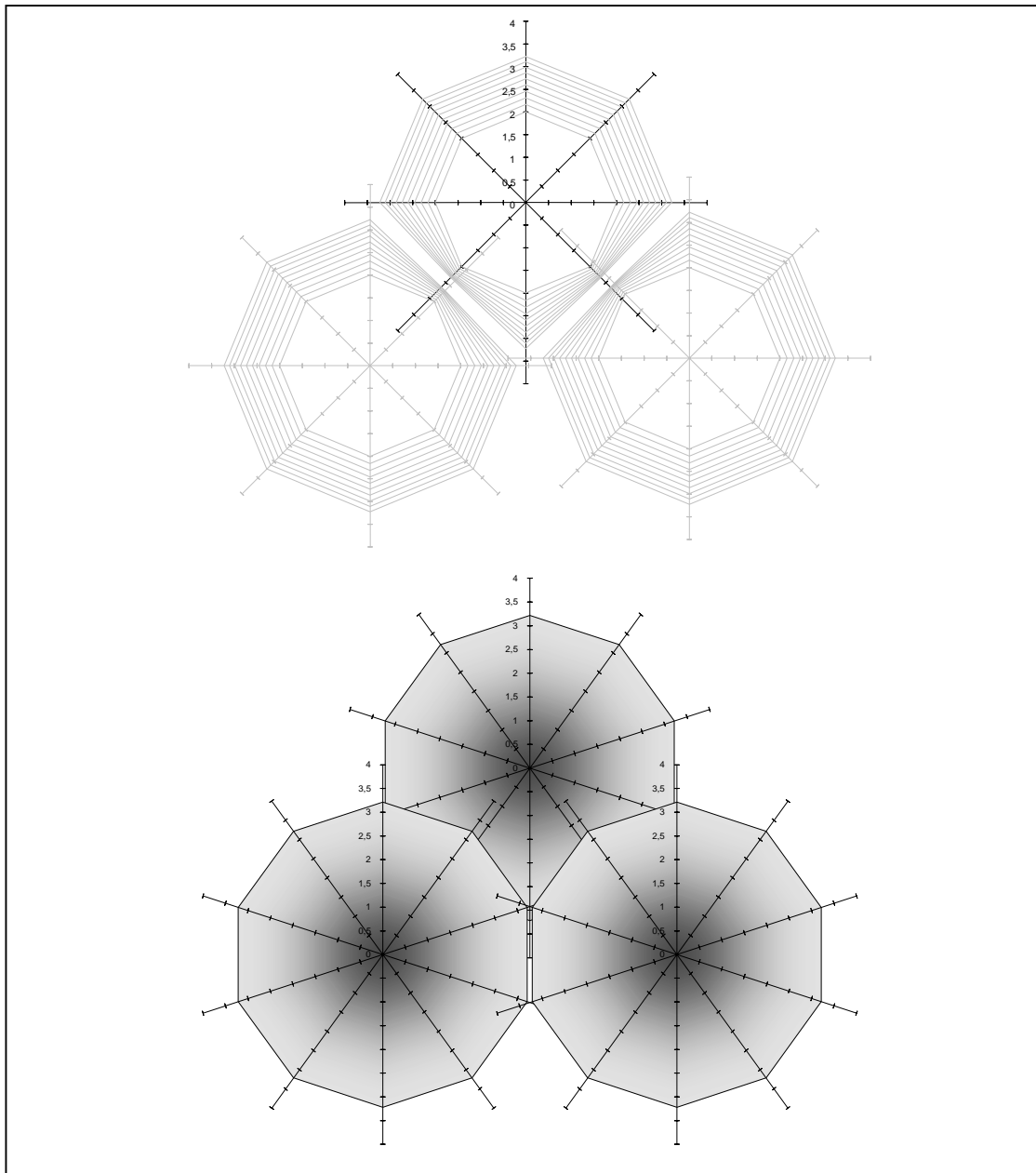


Abbildung 4-48: Darstellung des 10-jähriges Prognoseintervalls zur abstandssensitiven Kronenbreitenentwicklung einer Lärchengruppe aus drei Einzelbäumen (oben) im Vergleich mit Kronenprojektionen auf Grundlage von Mittelwerten (unten).

Abbildung 4-49 zeigt die Entwicklung einer Lärchenkrone (Zentralbaum), die von zwei Buchen umgeben ist. Das Ergebnis des 10-jährigen Simulationslaufes zur Kronenbreitenentwicklung verdeutlicht die Dynamik der beiden Buchenkronen, während umgekehrt die Lärchenkrone immer stärker eingeklemmt wird. Diese Dynamik erklärt sich aus dem Umstand, dass in unmittelbarer Nachbarschaft der Kronenperipherie zwischen Buche und Lärche die potentiellen Kronenbreitenveränderungen der Buche vergleichsweise geringfügig reduziert werden, während umgekehrt die Lichtbaumart Lärche überaus empfindlich auf den Seitendruck durch die Buche reagiert.

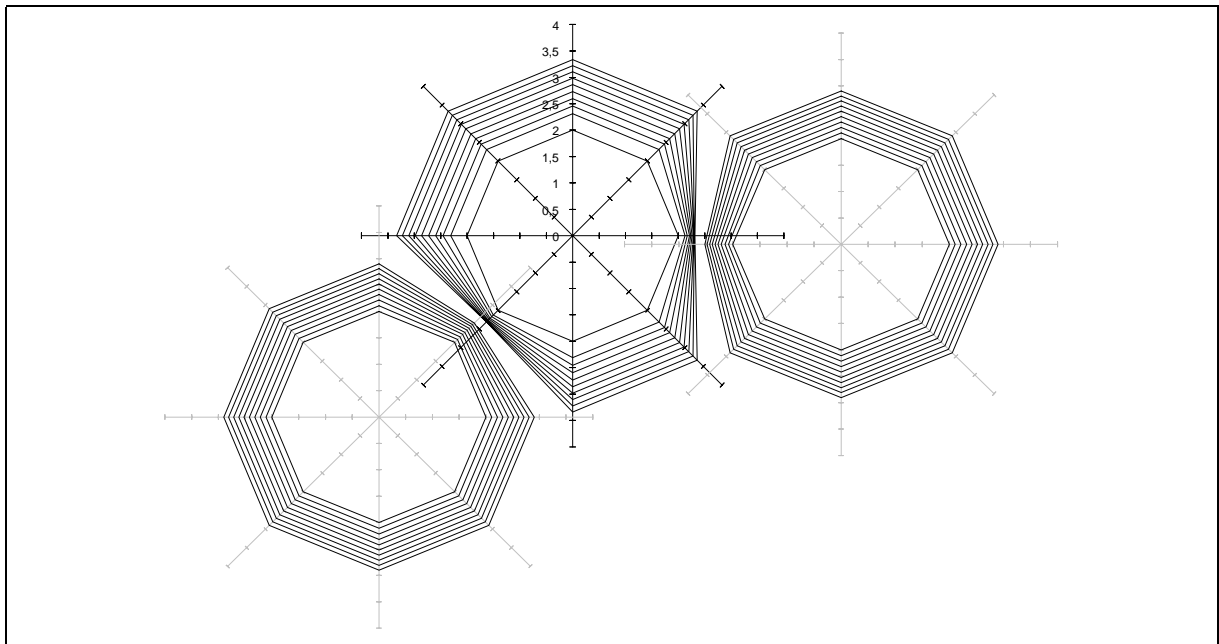


Abbildung 4-49: Darstellung des 10-jähriges Prognoseintervalls zur abstandssensitiven Kronenbreitenentwicklung einer Lärche (Zentralbaum), die von zwei Buchen umgeben ist.

In Abbildung 4-50 ist die Kronenbreitenentwicklung von Buchenkronen in unmittelbarer Nachbarschaft zu weiteren Buchenkronen dargestellt. Simuliert wurde die individuelle horizontale Kronenbreitenentwicklung von vier Buchen.

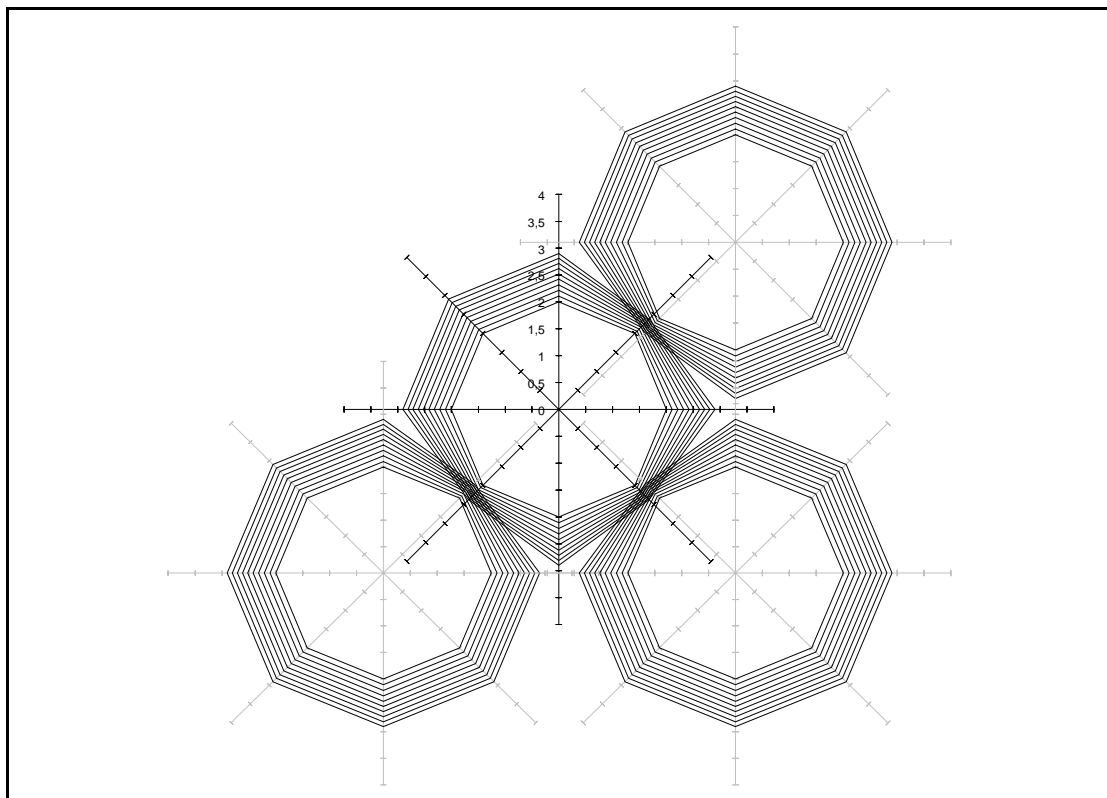


Abbildung 4-50: Darstellung des 10-jähriges Prognoseintervalls zur abstandssensitiven Kronenbreitenentwicklung einer Buchengruppe aus vier Einzelbäumen.

Wie zuvor verdeutlicht auch Abbildung 4-50 die ausgeprägte Kronenexpansion der Schattenbaumart Buche. Analog zu den parametrisierten Modellfunktionen wird der horizontale Kronenbreitenzuwachs der Buche in unmittelbarer Nachbarschaft zu benachbarten Buchenkronen nur allmählich reduziert. So leistet die Buche in dem 10-jährigen Prognosezeitraum ohne nachbarschaftlichen Kronenkontakt einen horizontalen Kronenbreitenzuwachs von annähernd 1,0 m, während sich umgekehrt bei zunehmender Kronenverzahnung der Kronenbreitenzuwachs auf 0,40 m reduziert. Es zeigt sich die Tendenz der Buchenkronen, sich zunehmend zu verzahnen und dadurch, im Gegensatz zur Lärche, ein vergleichsweise geschlossenes und dichtes Kronendach auszubilden.

In Ergänzung zu den Modellsimulationen zeigen die beiden Abbildungen 4-51 und 4-52 die häufig zu beobachtenden, charakteristischen Reaktionsmuster von Lärchenkronen, die unter seitliche Kronenspannung geraten. Das typische Reaktionsmuster wird auch als „Kronenscheue“ (crown shyness) bezeichnet und lässt sich sowohl in reinen Lärchen- als auch in Buchen-Lärchen-Mischbeständen beobachtet. So belegen die beiden Fotos, dass Lärchenkronen intensive Kronenverzahnungen vermeiden und verdeutlichen zugleich, dass bereits mit Annäherung der Kronenperipherie sowohl zwischen Lärche und Lärche als auch zwischen Lärche und Buche weitere Kronenexpansionen durch die Lärchenkronen eingestellt werden. Die Folge sind unbefriedigende, kleine und eingeklemmte Lärchenkronen, die darüber hinaus mit zunehmendem Alter laufend an Regenerationsfähigkeit verlieren und dadurch auch nicht mehr in der Lage sind, ausreichenden Durchmesserzuwachs zu leisten.

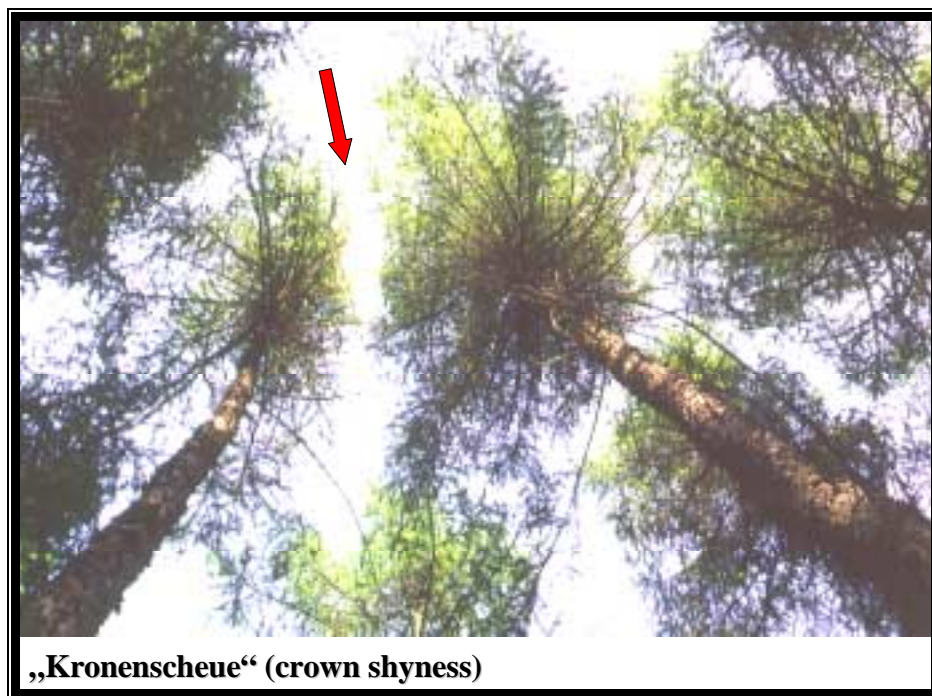


Abbildung 4-51: Einfluss seitlicher Kroneneinengung auf die Baumart Lärche in Nachbarschaft zur Lärche.



Abbildung 4-52: Einfluss seitlicher Kroneneinengung auf die Baumart Lärche in Nachbarschaft zur Buche.

Im Zusammenhang mit dem Einfluss nachbarschaftlicher Konkurrenz auf die horizontalen Kronenbreitenveränderungen von Buche und Lärche wurde abschließend untersucht, ob sich eine Beziehung zwischen dem aus den wiederholten Kronenablotungen indirekt abgeleiteten Kronenmantelflächenzuwachs und dem individuellen Kreisflächenzuwachs ableiten lässt. Abbildung 4-53 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Kronenmantelflächenzuwachs der Lichtkrone (ikm_{LK}) und dem beobachteten jährlichen Kreisflächenzuwachs für die Baumart Buche.

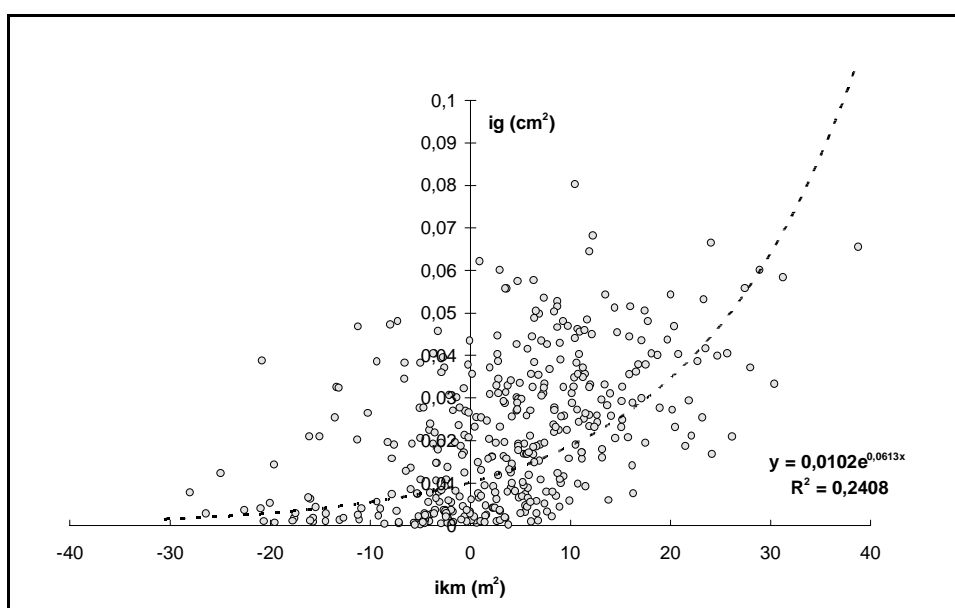


Abbildung 4-53: Beziehung zwischen Kronenmantelflächenzuwachs der Lichtkrone und absolutem Kreisflächenzuwachs am Beispiel der Buche.

Die Abbildung lässt erkennen, dass sich die Kronenmantelflächen der Lichtkrone der Buchen in dem 10-jährigen Beobachtungszeitraum in einer Größenordnung zwischen -30 m^2 und $+40 \text{ m}^2$ verändert haben und damit sowohl positive als auch negative Größenveränderungen beobachtet werden konnten. Im gleichen Zeitraum wurde ein maximaler jährlicher Kreisflächenzuwachs von $0,07 \text{ m}^2$ beobachtet. Der eingezeichnete exponentielle Funktionsverlauf lässt einen biologisch plausiblen Trend erkennen, wonach die größeren Kreisflächenzuwächse von den Buchen geleistet wurden, die in dem Beobachtungszeitraum auch in der Lage waren, ihre Kronenmantelfläche deutlich auszubauen. Umgekehrt zeichnet sich das Buchenkollektiv, an dem „negative“, horizontale Kronenbreitenveränderungen und damit auch eine Verkleinerung der Kronenmantelfläche beobachtet wurde, durch überwiegend geringere jährliche Kreisflächenzuwächse aus.

4.4.2.4 Veränderung des Kronenansatzes

Die Veränderung des Kronenansatzes wurde in Anlehnung an das zweiparametrische Modell von VAN DEUSEN u. BIGING (1985) parametrisiert. Die Schätzfunktion (Formel 4-11) berechnet die prognostizierte Kronenansatzhöhe in Abhängigkeit von der Baumhöhe und dem Schlankheitsgrad. Im Gegensatz zu diesem statischen Modellansatz führten vorangegangene Versuche, ein dynamisches Kronenansatzmodell ähnlich HASENAUER (1994b) zu parametrisieren, zu keinem Erfolg. So konnte die Verlagerung des Kronenansatzes weder mit Hilfe der aktuellen Konkurrenzsituation noch mit den gemessenen bzw. abgeleiteten Kronenparametern wie Kronenmantelfläche oder Kronenprozent biologisch plausibel erklärt werden. Ursächlich wird dies sowohl auf die unsichere Datengrundlage als auch auf die nicht zur Verfügung stehenden biologisch relevanten und damit erklärenden Eingangsvariablen zurückgeführt.

$$ka = h \cdot \left(1 - e^{-\left(c_1 + c_2 \cdot \frac{h}{d} \right)^2} \right) \quad (\text{Formel 4-11})$$

mit den Variablenbezeichnungen: ka = Kronenansatzhöhe [m]
 h = Baumhöhe in [m]
 e = Basis des natürlichen Logarithmus ($e = 2,71828\dots$)
 d = Brusthöhendurchmesser [cm]
 c_1, c_2 = Regressionsparameter; $c_1, c_2 > 0$

Die Koeffizienten der Kronenansatzfunktion wurden mit der SPSS-Routine für nicht lineare Regression geschätzt. Tabelle 4-18 sind die errechneten Parameter, deren Standardfehler sowie die ermittelten Bestimmtheitsmaße (r^2) getrennt nach Buche und Lärche zu entnehmen.

Tabelle 4-18: Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße für die Kronenansatz-Schätzfunktion.

	Buche $r^2 = 0,88$, $N=392$		Lärche $r^2 = 0,70$, $N=145$	
	Parameter	Standardfehler	Parameter	Standardfehler
C_1	0,67269	0,03135	0,59690	0,01879
C_2	0,29132	0,04188	0,17081	0,01923

Abbildung 4-54 zeigt die Residualverteilungen für die Baumarten Buche und Lärche über den erwarteten Kronenansatzhöhen. Positive Residuen zeigen eine Unterschätzung, negative Residuen eine Überschätzung des konkreten Messwertes an. Für die Baumart Buche lässt sich eine verzerrungsfreie Anpassung erkennen, deren Streuung mit steigender Kronenansatzhöhe leicht zunimmt. Im Gegensatz dazu ist die Streuung der Residuen des Modells für die Baumart Lärche geringer, jedoch nicht ganz verzerrungsfrei. So wird offensichtlich aufgrund der Eingangsdaten bis zu einer Kronenansatzhöhe von rd. 20 m Höhe der vorhergesagte Kronenansatz unterschätzt, ab einer Kronenansatzhöhe von mehr als 20 m Höhe hingegen systematisch überschätzt.

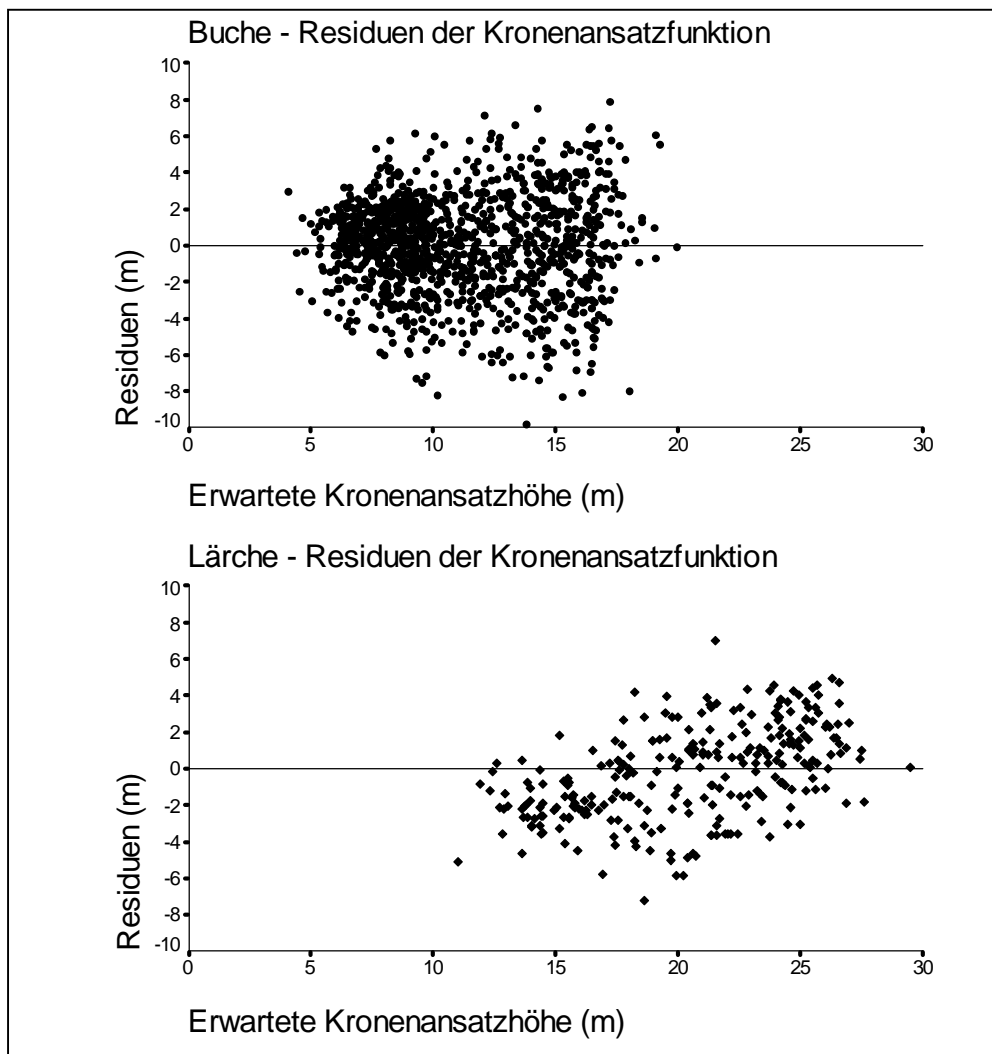


Abbildung 4-54: Residuen der an das Datenmaterial angepassten Schätzfunktion für die Kronenansatzhöhe über den erwarteten Kronenansatzhöhen.

4.4.3 Das Durchmesserzuwachsmmodell

4.4.3.1 Grundbeziehungen

Zahlreiche waldwachstumskundliche Untersuchungen, wie die von ASSMANN (1965), BADOUX (1946), BUSSE (1928), KRAMER (1982), MAYER (1958), MITSCHERLICH (1970) und WECK (1944, 1951) belegen, dass der Durchmesserzuwachs des Einzelbaumes insbesondere von seinem äußeren Kronenmantel und/oder dem Kronenvolumen determiniert wird. Dieser biologischen Grundbeziehung folgend stellen alle eingangs genannten Wachstumssimulatoren

die Kronen als zuwachstreibende Größe in den Mittelpunkt der Zuwachsfunktionen, mit denen sowohl die Durchmesserentwicklung als auch der Höhenzuwachs des Einzelbaumes prognostiziert werden. Als abgeleitete Kronenparameter finden Kronenmantelfläche und/oder Kronenvolumen Eingang in die Parametrisierung der jeweiligen Teilmodelle.

Vergleichbar mit den Modellansätzen von STERBA (1995), PRETZSCH (1992c) und BIBER (1996) wird als Prognosegröße des Teilmodells nicht der Durchmesserzuwachs direkt, sondern der Grundflächenzuwachs aufgrund seiner höheren biologischen Aussagekraft gewählt. So spiegelt der Grundflächenzuwachs ohne weitere Informationen über den Durchmesser des Baumes, an dem er angelegt wird die erbrachte Zuwachsleistung wider. Durch weitere Umformungen wird der Durchmesserzuwachs darauf aufbauend indirekt aus dem Kreisflächenzuwachs abgeleitet, wobei der geschätzte Grundflächenzuwachs (ig) zur Grundfläche (g_a), die der Baum zu Beginn der Zuwachsperiode hatte, addiert wird. Es gelten:

$$g_a = d_a^2 * \left(\frac{\pi}{4} \right) \quad (\text{Formel 4-12})$$

$$g_e = g_a + ig \quad (\text{Formel 4-13})$$

$$d_e = \sqrt{\frac{g_e * 4}{\pi}} \quad (\text{Formel 4-14})$$

mit den Variablenbezeichnungen : g_a = Grundfläche zu Beginn der Zuwachsperiode
 g_e = Grundfläche zum Ende der Zuwachsperiode
 ig = Grundflächenzuwachs
 d_a = Brusthöhdurchmesser zu Beginn der Zuwachsperiode
 d_e = Brusthöhdurchmesser zum Ende der Zuwachsperiode
 π = 3,14....

Als zuwachstreibender Kronenparameter findet ausschließlich die Kronenmantelfläche Eingang in das Modell. Dabei wird ausschließlich die Kronenmantelfläche der Lichtkrone als Eingangsgröße verwendet, da sie in besonderem Maße zur Nettoassimilation beiträgt und deshalb einen strafferen Zusammenhang zum Kreisflächenzuwachs erwarten lässt. MITSCHERLICH (1970) weist darauf hin, dass mit größer werdender Kronenmantelfläche, insbesondere der der Schattkrone, in immer höherem Maße überwiegend respirierende Kronenteile unterhalten werden müssen, die die potentielle Nettoproduktion des Einzelbaumes verringern. Die Kronenmantelfläche der Lichtkrone wurde getrennt für Buche und Lärche mit Hilfe der Formeln 4-6 und 4-7 berechnet. Die Länge der Lichtkrone als bestimmende Eingangsgröße wurde zuvor aus den unter Abschnitt 4.4.2.2 parametrisierten Funktionen abgeleitet.

Als zweite Größe geht in das Durchmesserzuwachsmo­dell der Konkurrenzindex FKI als durchschnittliche, mit der Periodenlänge gewichtete Eingangsvariable für den 10-jährigen Beobachtungszeitraum ein. Aufgrund der i. d. R. einmaligen Durchforstungen auf den einzelnen Versuchsflächen wurde dazu die jeweilige Konkurrenzsituation des Einzelbaumes vor und nach dem Durchforstungseingriff mit dem Programmbaustein FISHPLOT II bestimmt und mit der jeweils wirksamen Periodenlänge gewichtet. Die durchschnittliche Konkurrenzsituation über den gesamten Beobachtungszeitraum wurde durch Division mit der 10-jährigen Aufnahmeperiode errechnet.

Der Einfluss der beiden Grundbeziehungen, mit denen das Durchmesserzuwachsmodell angesteuert wird, ist stellvertretend für die Baumart Buche den Abbildungen 4-55 und 4-56 zu entnehmen. Abbildung 4-55 zeigt den Einfluss der Kronenmantelfläche der Lichtkrone auf den Durchmesserzuwachs. Die beste Anpassung an das Datenmaterial konnte mit einer S-Funktion erzielt werden (siehe Formel 4-15). Die Parametrisierung der Funktion erfolgte mittels nichtlinearer Regression.

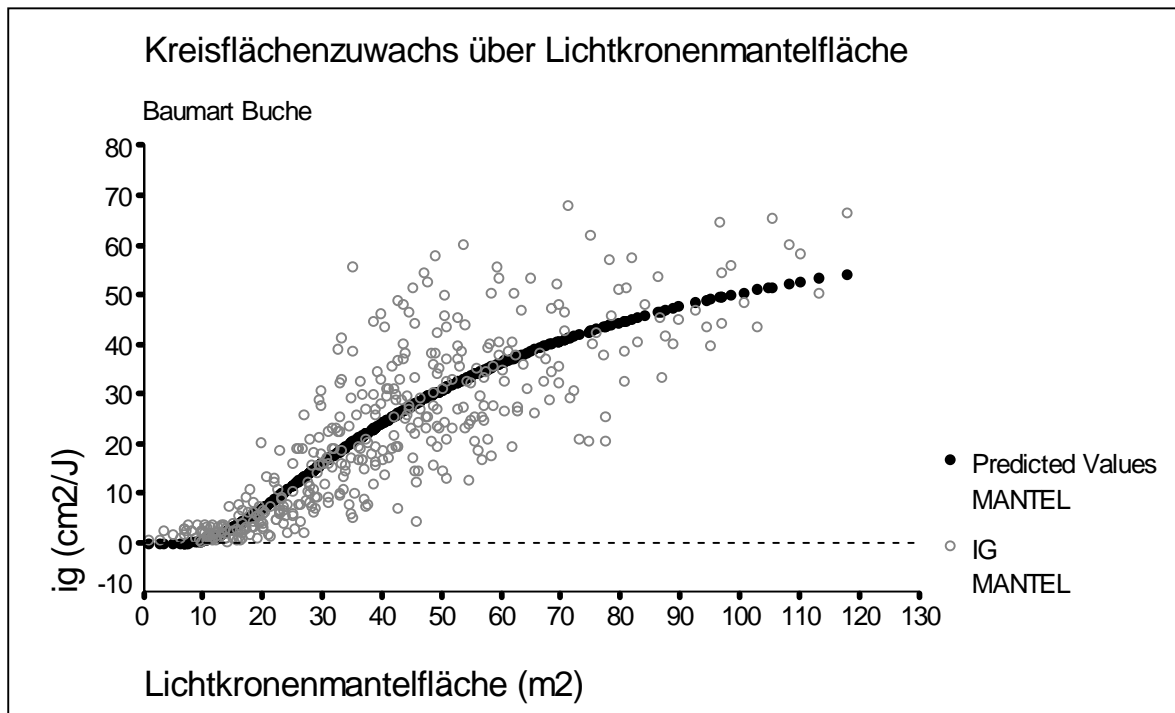


Abbildung 4-55: Einfluss der Lichtkronenmantelfläche auf den Kreisflächenzuwachs am Beispiel der Baumart Buche.

Biologisch plausibel ist erkennbar, dass mit zunehmender Kronenmantelfläche zunächst eine überproportionale Steigerung der Grundflächenzuwächse zu beobachten ist. Mit dem Erreichen einer Kronenmantelfläche von rd. 40 m² lässt die Funktion einen weiteren Wendepunkt erkennen, der darauf hindeutet, dass mit weiter zunehmender Kronenmantelfläche der Grundflächenzuwachs nur noch unterproportional ansteigt. Als maximale Lichtkronenmantelflächen wurden für die Baumart Buche Werte von 120 m² errechnet. Tabelle 4-19 sind die Parameter der Funktion, Standardfehler sowie die Bestimmtheitsmaße der ermittelten Funktionen für die beiden Baumarten Buche und Lärche zu entnehmen. Insbesondere für die Baumart Buche zeigt sich dabei, dass eine straffe Beziehung zwischen der Kronenmantelfläche der Lichtkrone und dem Einzelbaumzuwachs besteht.

$$ig = e^{\left(b_1 + \left(\frac{b_2}{km_{Lk}} \right) \right)} \quad (\text{Formel 4-15})$$

mit den Variablenbezeichnungen:

- ig = jährlicher Kreisflächenzuwachs in Brusthöhe [cm²]
- km_{Lk} = Lichtkronenmantelfläche, berechnet nach den Formeln 4-8 und 4-9
- b₁, b₂ = Regessionsparameter; b₁, b₂ > 0

Tabelle 4-19: Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der Schätzfunktionen für die Beziehung Kreisflächenzuwachs und Lichtkronmantelfläche

	LÄRCHE $r^2 = 0,32, N = 145$		BUCHE $r^2 = 0,71, N = 392$	
	Parameter	Standardfehler	Parameter	Standardfehler
b_1	4,2323	0,1187	4,4414	0,0478
b_2	-17,8341	3,1046	-56,3388	2,7541

Die Wirkung der individuellen Konkurrenzsituation auf den Grundflächenzuwachs der Baumart Buche ist in Abbildung 4-56 dargestellt. Die beste Anpassung an das Datenmaterial konnte mit Hilfe einer logarithmischen Ausgleichsfunktion erzielt werden. Es gilt:

$$ig = b_1 + (b_2 * \ln(FKI)) \quad (\text{Formel 4-16})$$

mit den Variablenbezeichnungen:

- ig = jährlicher Kreisflächenzuwachs in Brusthöhe [cm^2]
- FKI = gewichteter Beschattungsindex nach Formel 4-5
- b_1, b_2 = Regessionsparameter; $b_1, b_2 > 0$

Der Funktionsverlauf lässt erkennen, dass bis zu einem Beschattungsindex (FKI) von ca. 0.5 der Grundflächenzuwachs zunächst überproportional abnimmt und dann im weiteren Verlauf der Funktion annähernd gleichmäßig abfällt. Der Ausgleich verdeutlicht darüber hinaus, dass die Baumart Buche auch unter dem hohen Konkurrenzdruck (FKI = 1,4) einen durchschnittlichen Kreisflächenzuwachs von rd. $10 \text{ cm}^2/\text{J}$ zu leisten vermag.

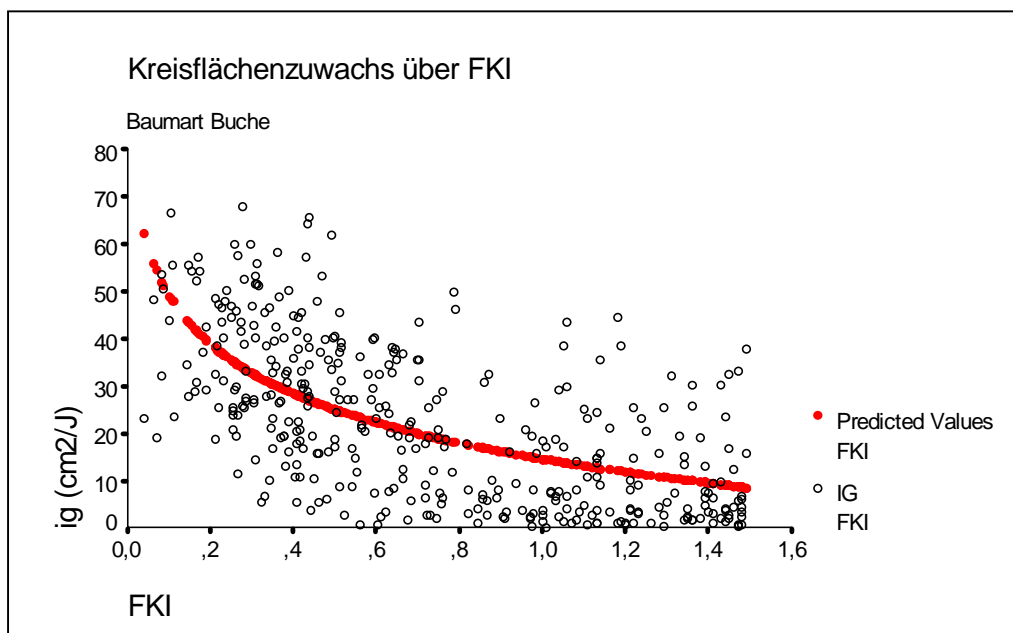


Abbildung 4-56: Einfluss des Beschattungsindex (FKI) auf den Kreisflächenzuwachs am Beispiel der Baumart Buche.

Die Parametrisierung der Funktion erfolgte mittels nichtlinearer Regression. Tabelle 4-20 sind die Parameter der Funktion, Standardfehler sowie die Bestimmtheitsmaße der berechneten Funktionen für die beiden Baumarten Buche und Lärche zu entnehmen.

Tabelle 4-20: Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der Schätzfunktionen für die Beziehung zwischen Kreisflächenzuwachs und Konkurrenzindex (FKI).

	LÄRCHE $r^2 = 0,22$, $N = 164$		BUCHE $r^2 = 0,41$, $N = 389$	
	Parameter	Standardfehler	Parameter	Standardfehler
b_1	16,7753	3,2437	10,3552	0,9727
b_2	-9,6483	1,7966	-18,5064	1,1259

4.4.3.2 Modellansatz

Der verknüpfende Modellansatz für das Kreisflächenzuwachsmodell lehnt sich an den Ansatz von BIBER (1996) an. Demnach fließt als zuwachstreibende Größe die Kronenmantelfläche der Lichtkrone ein. Die individuelle Konkurrenzsituation wird hingegen durch den Konkurrenzindex FKI berücksichtigt, wobei bei der Herleitung des Konkurrenzindex die abgeloteten asymmetrischen Kronenformen zu Grunde gelegt wurden. Im Gegensatz zu den von BIBER (1996) gewählten Eingangsgrößen wird auf den h/d-Wert als dritte Eingangsvariable verzichtet. Es gilt:

$$ig = e^{\left(c_1 - \left(\frac{c_2}{km_{Lk}} \right) \right)} * e^{-c_3 * FKI} \quad (\text{Formel 4-17})$$

mit den Variablenbezeichnungen :

- ig = jährlicher Kreisflächenzuwachs in Brusthöhe [cm^2]
- km_{Lk} = Lichtkronenmantelfläche, berechnet nach den Formeln 4-8 und 4-9
- e = Basis des natürlichen Logarithmus ($e = 2,7182818...$)
- FKI = gewichteter Fisheye-Konkurrenzindex gemäß Formel 4-5
- c_1-c_3 = Regessionsparameter; $c_1, c_2, c_3, > 0$

Die Parametrisierung der Funktion erfolgte mittels nichtlinearer Regression. Tabelle 4-21 sind die Parameter der Funktion, Standardfehler sowie die Bestimmtheitsmaße zu entnehmen.

Tabelle 4-21: Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der Schätzfunktionen für das Kreisflächenzuwachsmodell (MSE = mittlerer quadratischer Fehler).

	LÄRCHE $r^2 = 0,47$, $N = 164$, MSE = 197,9		BUCHE $r^2 = 0,79$, $N = 389$, MSE = 68,9	
	Parameter	Standardfehler	Parameter	Standardfehler
c_1	6,8132	0,1368	6,7535	0,0401
c_2	35,1723	6,4407	37,4553	2,2603
c_3	1,3174	0,2891	0,5772	0,0651

Die Residualverteilung des parametrisierten Kreisflächenzuwachsmodelles ist Abbildung 4-57 zu entnehmen. Die symmetrische Verteilung der Residuen um die Nulllinie lässt erkennen, dass das zur Verfügung stehende Datenmaterial sowohl für die Baumart Buche als auch für die Baumart Lärche annähernd verzerrungsfrei angepasst wurde. Es fällt jedoch auf, dass der Modellansatz mit steigenden erwarteten Kreisflächenzuwachsen von über $50 cm^2/Jahr$ zu einer Überschätzung der Kreisflächenzuwächse neigt, wodurch die Qualität der Schätzgenauigkeit des Modellansatzes in diesem Bereich leidet.

4.4.3.3 Wirkungsweise des Modellansatzes

Die Wirkungsweise des Modellansatzes ist in Abbildung 4-58 als dreidimensionales Oberflächendiagramm dargestellt. Bei beiden Baumarten erkennbar und biologisch plausibel nimmt der Kreisflächenzuwachs mit zunehmender Kronenmantelfläche der Lichtkrone stetig zu. Bis ca. 50-60 m² Mantelfläche lässt sich hierbei eine überproportionale Zunahme des Kreisflächenzuwachses erkennen, die mit weiter zunehmender Mantelfläche jedoch allmählich abflacht. Im Vergleich zwischen den beiden Baumarten Buche und Lärche lässt sich darüber hinaus deutlich die unterschiedliche Wirkung der Beschattung (Konkurrenz) auf den Kreisflächenzuwachs erkennen. Im Fall der Baumart Buche sinkt bspw. bei einer unterstellten mittleren Kronenmantelfläche von 60 m² mit zunehmendem FKI der Kreisflächenzuwachs vergleichsweise geringfügig von 55 cm²/J auf rd. 30 cm²/J unter maximalen Konkurrenzverhältnissen. Gegenüber konkurrenzfreiem Wachstum leistet damit die Buche noch über 50 % des Zuwachses.

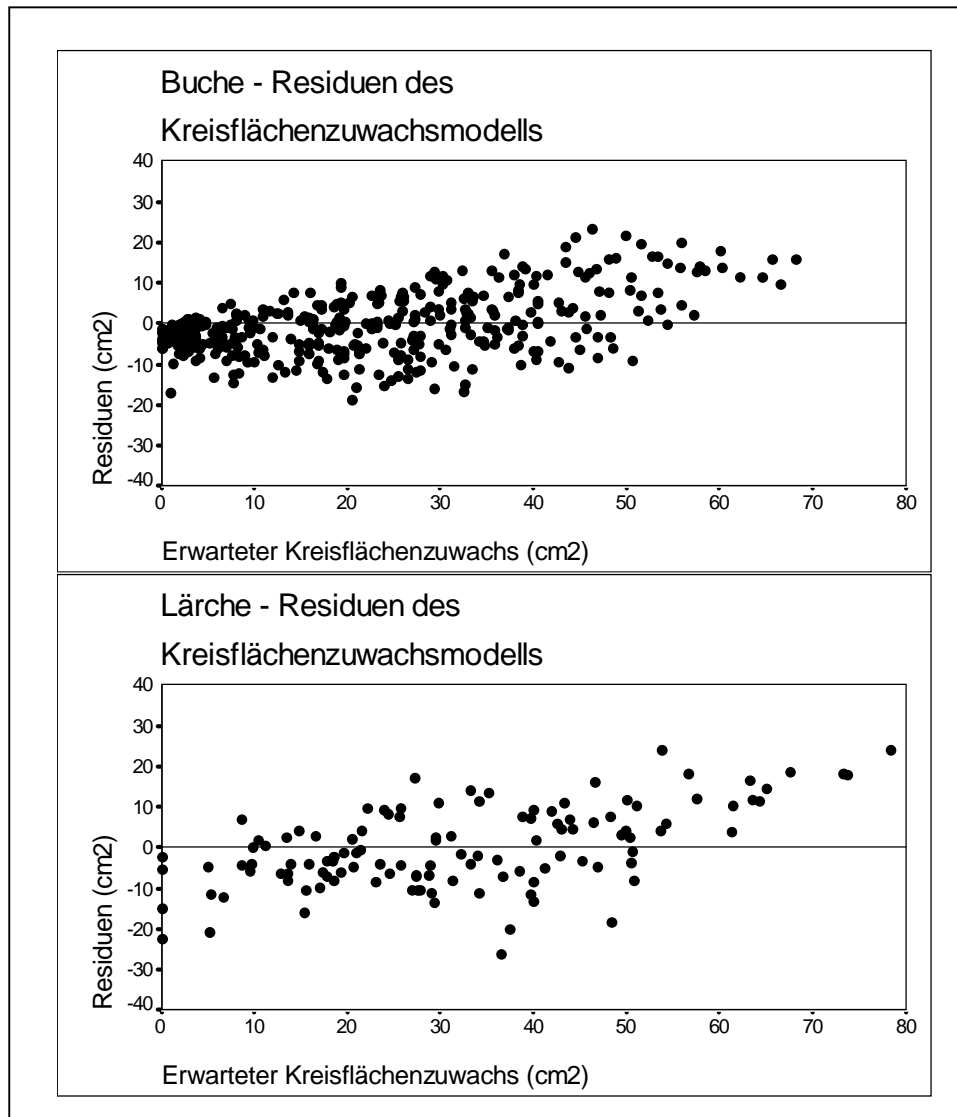


Abbildung 4-57: Residuen der an das Datenmaterial angepassten Schätzfunktion für den Kreisflächenzuwachs über erwartetem Kreisflächenzuwachs.

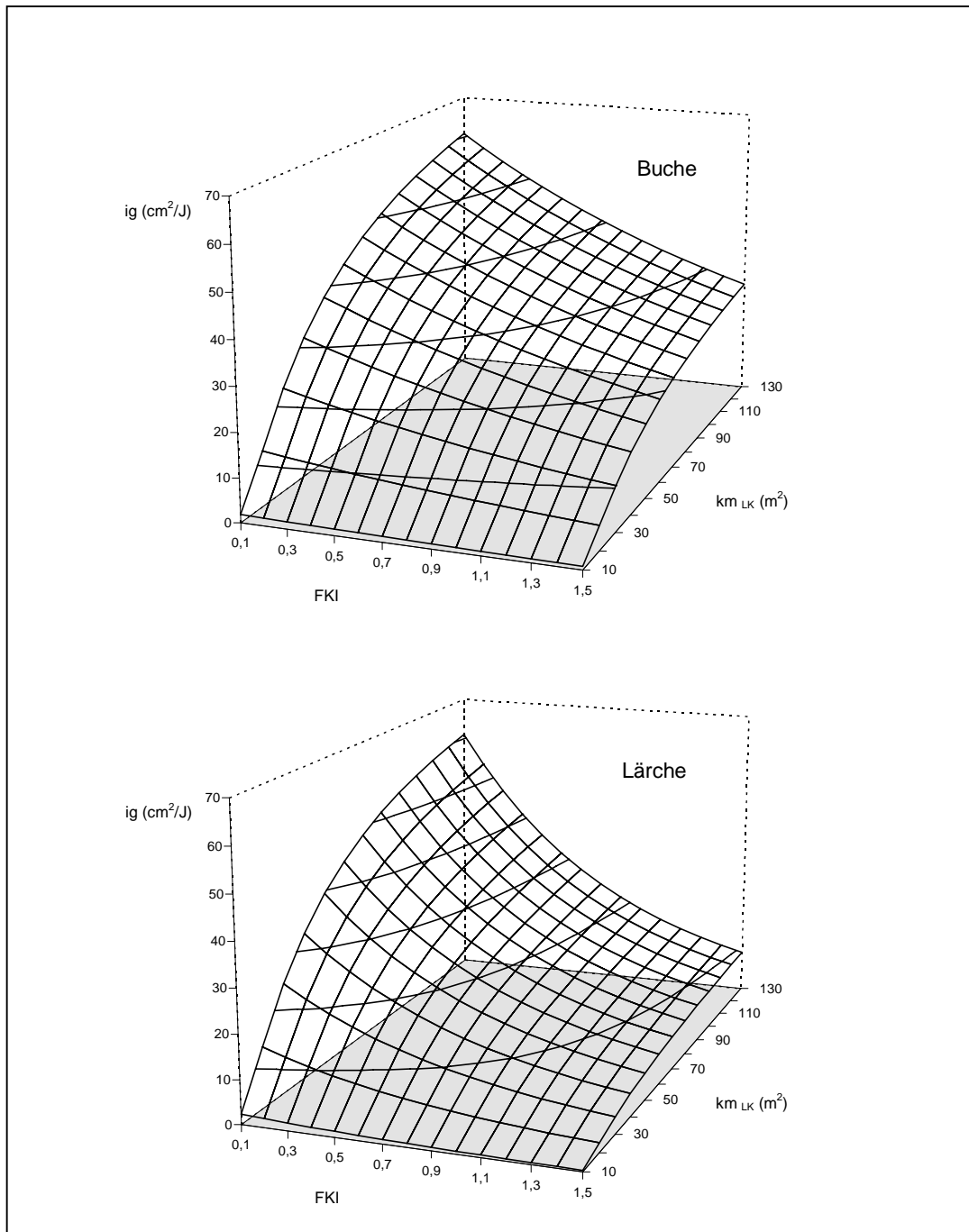


Abbildung 4-58: Einfluss von Kronenmantelfläche (Lichtkrone) und Beschattungsindex FKI auf den Kreisflächenzuwachs von Buche und Lärche.

Im Gegensatz dazu reagiert der Kreisflächenzuwachs der Lärche deutlich auf zunehmende Konkurrenz durch Beschattung. So sinkt bspw. bei einer unterstellten mittleren Kronenmantelfläche von 60 m^2 mit zunehmendem FKI der Kreisflächenzuwachs von $55 \text{ cm}^2/\text{J}$ auf weniger als $10 \text{ cm}^2/\text{J}$ unter maximalen Konkurrenzverhältnissen. Gegenüber konkurrenzfreiem Wachstum leistet damit die Lärche nur noch rd. 20 % des Zuwachses, wobei eine überproportionale Abnahme des Kreisflächenzuwachses mit Zunahme der FKI-Werte bis ca. 0,7 zu beobachten ist. Der Vergleich zwischen den beiden Baumarten bestätigt und quantifiziert den Konkurrenzvorteil der Schattbaumart Buche gegenüber der Lichtbaumart Lärche.

4.4.4 Das Höhenzuwachsmodell

4.4.4.1 Theorie und Problematik des Potentialansatzes

Vergleichbar mit dem Modellansatz zur Prognose der horizontalen Kronenbreitenveränderungen basiert das Höhenzuwachsmodell auf einem „standortsabhängigen“ Potentialansatz. Methodisch geht der Ansatz auf NEWNHAM u. SMITH (1964) und BOTKIN et al. (1972) zurück, wobei in verallgemeinerter Form zugrunde gelegt wird:

$$ih = ih_{\text{pot}} \cdot (1 - \exp(\dots RFak)) \quad (\text{Formel 4-18})$$

mit den Variablenbezeichnungen :
 ih = Höhenzuwachs
 ih_{pot} = potentieller Höhenzuwachs
 $RFak$ = Konkurrenzparameter

Dabei ist ih der tatsächliche periodische Höhenzuwachs während es sich bei ih_{pot} um den definierten „potentiellen“ Höhenzuwachs handelt. Im Exponenten finden die das Wachstum reduzierenden Konkurrenzparameter Eingang in den Modellansatz.

Ausgehend von baumartenspezifischen Altershöhenkurven wird im ersten Modellteil der „potentielle“, d. h. maximale Höhenzuwachs in Abhängigkeit von der Höhe des Einzelbaumes bestimmt. Grundlage hierfür bilden Altershöhenbeziehungen, die die potentielle Höhenentwicklung auf gegebenem Standort und unter optimalen, d. h. konkurrenzfreien Wuchsbedingungen beschreiben (siehe Abbildung 4-59). Methodisch wird, ausgehend von der aktuellen Höhe des Einzelbaumes, mit Hilfe einer abgeleiteten Umkehrfunktion ($h = f(\text{Alter})$) der künstliche Alterswert zum Zeitpunkt (t) bestimmt. Dieser Wert wird um die Länge des Prognosezeitraumes fortgeschrieben, und im Umkehrschluss wird aus der Altershöhenbeziehung die Höhe für das fortgeschriebene Alter ($t+n$) ermittelt. Der potentielle Höhenzuwachs (ih_{pot}) errechnet sich aus der Differenz der beiden Höhenwerte.

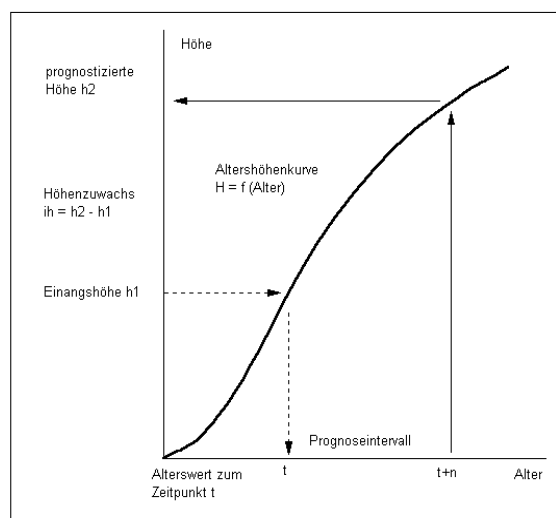


Abbildung 4-59: Schematische Darstellung zur Herleitung von Höhenzuwächsen aus der Altershöhenbeziehung mit Hilfe der Umkehrfunktion $h=f(\text{Alter})$.

Darauf aufbauend wird in einem zweiten Modellschritt der maximale „potentielle“ Höhenzuwachs auf den tatsächlichen Höhenzuwachs des Einzelbaumes reduziert, wobei je nach Modellansatz verschiedene Konkurrenzparameter verwendet werden.

So wird bspw. im Wachstumssimulator „**Silva**“ (PRETZSCH 1992c) bei der Reduktion des Höhenzuwachses sowohl der Einfluss „historischer Konkurrenz“ als auch die Wirkung aktueller Konkurrenz berücksichtigt. Der Einfluss der „historischen Konkurrenz“ wird über die relative Kronenmantelfläche als Quotient aus tatsächlicher und potentieller Kronenmantelfläche definiert. Die „aktuelle Konkurrenzsituation“ wird hingegen durch den Wirkungsfaktor „KKL“ (Kronenkonkurrenz um Licht) erfasst. Der tatsächliche Höhenzuwachs wird in Form eines multiplikativen Ansatzes aus dem potentiellen Höhenzuwachs und den verdichteten „Reduktionsfaktoren“ abgeleitet (KAHN u. PRETZSCH 1997).

Der Vorteil vergleichbarer Modellansätze besteht darin, dass mit Hilfe des „definierten Potentials“ maximale standortspezifische Höhenleistungen und aus deren erster Ableitung Höhenzuwächse ermittelt werden können. Zugleich wird mit Hilfe des Potentials eine Funktion definiert, die die Modellprognosen modellimmanent „begrenzt“, wodurch die Prognose biologisch unplausibler Höhenzuwächse ausgeschlossen wird. Als kritisch muss hingegen im Zusammenhang mit vergleichbaren Modellansätzen (Potentialansätzen) hervorgehoben werden:

1. Die Ermittlung des Potentials im Sinne des Begriffes

Als „Potential“ ist im Sinne des Modellansatzes die maximale Höhenwuchsleistung zu definieren. Unsicherheiten bei der Bestimmung dieses Potentials können einerseits durch die Auswahl und Homogenität der Versuchsflächen verursacht werden, andererseits können sowohl die Wahl der Datengrundlage (Maximal- oder Oberhöhenkollektiv) als auch weitere Transformationen Unschärfen bei der Herleitung des Höhenpotentials verursachen.

2. Eignung und ausreichende Sensibilität der gewählten Konkurrenzparameter, um den „potentiellen“ Höhenzuwachs zu reduzieren

MITSCHERLICH (1970) weist darauf hin, dass unabhängig von der Konkurrenzsituation des Einzelbaumes Klima, Standort und genetische Faktoren als „ökologischer Wirkungskomplex“ den individuellen Höhenwachstumsgang beeinflussen. Je nach Modellansatz werden die Faktoren „Klima“ und „Standort“ entweder als direkte Steuervariablen verwendet (KAHN 1994) oder fließen indirekt über die zugrunde gelegten Altershöhenbeziehungen in das Höhenzuwachsmoell ein (NAGEL 1999). Als „unabhängige“ Konkurrenzvariablen fließen hingegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt in allen Höhenzuwachsmoellen ausschließlich Konkurrenzparameter ein, die in direkter oder indirekter Form ausschließlich die Stellung des Einzelbaumes im Bestandesgefüge beschreiben. Darüber hinaus wird unterstellt, dass die entsprechenden Konkurrenzparameter über den gesamten Zeitraum der Bestandesentwicklung hinweg gleichgerichteten Einfluss auf den Höhenzuwachs haben.

3. Wahl des funktionalen Ausgleichs für die Modellierung der Altershöhenbeziehung

Im Rahmen des folgenden Kapitels 4.4.4.2 wird auf die Wahl des funktionalen Ausgleichs für die Modellierung der Altershöhenbeziehung näher eingegangen.

4.4.4.2 Funktionaler Ausgleich der Altershöhenbeziehung

In der Literatur werden zahlreiche Wachstumsfunktionen beschrieben, die zur Modellierung von Altershöhenbeziehungen verwendet werden können. Umfassende Darstellungen und Bewertungen einzelner Funktionstypen finden sich u. a. bei WENK et al. (1990) und KAHN (1994). Demnach zeichnen sich alle mehrparametrischen Funktionen durch eine höhere Flexibilität des Funktionsverlaufs aus und führen dadurch im Rahmen der Parametrisierung zu systematisch besseren Bestimmtheitsmaßen. Dies gilt beispielsweise für die „Chapman-Richards Funktion“, die aufgrund ihrer flexiblen Anpassung in einer Reihe von Wachstumsmodellen als Grundlage für das Höhenzuwachsmodell verwendet wird (NAGEL 1999, WESTPHAL 1997). KAHN (1994) weist jedoch darauf hin, dass die Einzelkoeffizienten solcher mehrparametrischen Funktionen biologisch nicht mehr eindeutig zu interpretieren sind. Darüber hinaus ist es möglich, dass aufgrund der hohen Flexibilität des Funktionsverlaufes der zugrunde liegende Wachstumsgang biologisch unplausibel abgebildet wird.

Als Grundvoraussetzungen für die Wahl und Anwendung einzelner Funktionen im Rahmen der Modellierung von Wachstumsprozessen hebt KAHN (1994) hervor, dass einerseits die Funktionsparameter mathematisch interpretierbar und vergleichbar sein müssen und andererseits der Funktionsverlauf den Wachstumsgang biologisch plausibel abbildet. Für die Modellierung der Altershöhenbeziehung ist in diesem Sinne der Zeitpunkt der Zuwachskulmination sowie der Wert der Asymptote als Maximalhöhe von biologischer Bedeutung.

In Anlehnung an das Ergebnis der Arbeit von KAHN (1994) wurde für die Modellierung der Altershöhenbeziehungen für die Baumarten Buche und Lärche im gleichaltrigen Mischbestand die Wachstumsfunktion nach v. BERTALANFFY (1951) verwendet (siehe Formel 4-19). Sie erzeugt asymptotisch stabile und plausible Werte und ist als zweiparametrische Funktion vergleichsweise einfach zu handhaben und biologisch zu interpretieren (KAHN 1994).

$$h(t) = A \cdot (1 - e^{-k \cdot t})^3 \quad (\text{Formel 4-19})$$

mit den Variablenbezeichnungen:

- h (t) = Höhe zum Alter t
- t = Alter
- A = Asymptote der Wachstumsfunktion nach v. BERTALANFFY
- k = Steigungsparameter der Wachstumsfunktion nach v. BERTALANFFY
- e = Basis des natürlichen Logarithmus (e = 2,71828...)

Die Zuwachsfunktion ergibt sich aus der ersten Ableitung. Es gilt:

$$ih(t) = A \cdot (1 - e^{-k \cdot t})^2 \cdot 3 \cdot k \cdot e^{-k \cdot t} \quad (\text{Formel 4-20})$$

mit den Variablenbezeichnungen:

- ih (t) = Höhenzuwachs im Alter t
- t = Alter
- A = Asymptote der Wachstumsfunktion nach v. BERTALANFFY
- k = Steigungsparameter der Wachstumsfunktion nach v. BERTALANFFY
- e = Basis des natürlichen Logarithmus (e = 2,71828...)

Die weitere Umformung (Formel 4-19) lässt erkennen, dass die erreichte **Höhe** zum Zeitpunkt der Zuwachskulmination bei ca. 30 % der Asymptote liegt.

$$h(wt) = A \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^3 \quad (\text{Formel 4-21})$$

mit den Variablenbezeichnungen:

$$\begin{aligned} h(wt) &= \text{Höhe zum Zeitpunkt der Zuwachskulmination} \\ A &= \text{Asymptote der Wachstumsfunktion nach v. BERTALANFFY} \end{aligned}$$

Das **Alter** zum Zeitpunkt der Höhenzuwachskulmination (wt) lässt sich aus dem Steigungsparameter der Wachstumsfunktion nach v. BERTALANFFY ableiten (Formel 4-22).

$$wt = -\frac{\ln\left(\frac{1}{3}\right)}{k} \quad (\text{Formel 4-22})$$

mit den Variablenbezeichnungen:

$$\begin{aligned} wt &= \text{Zeitpunkt der Zuwachskulmination} \\ k &= \text{Steigungsparameter der Wachstumsfunktion nach v. BERTALANFFY} \end{aligned}$$

4.4.4.3 Parametrisierung der Altershöhenbeziehungen h_o und h_{\max}

Die Bestimmung der potentiellen Altershöhenbeziehungen für die Baumarten Buche und Lärche basiert auf den Altershöhenbeziehungen h_o und h_{\max} . Für die Parametrisierung der Funktionen können demnach als Wertepaare verwendet werden:

- die Datensätze der Bäume, die auf den einzelnen Versuchsflächen die jeweils maximale Höhe erreicht haben bzw.
- das stammzahlreichere Oberhöhenkollektiv der jeweiligen Versuchsflächen.

Das Kollektiv der Bäume, die auf den einzelnen Versuchsflächen die Maximalhöhe erreicht haben, charakterisiert am besten die maximal mögliche Höhenleistung auf gegebenem Standort und unter optimalen, konkurrenzfreien Wuchsbedingungen. Als nachteilig ist hingegen die vergleichsweise geringe Anzahl von Wertepaaren für die Parametrisierung zu beurteilen. Dies kann u. U. dazu führen, dass der errechnete Funktionsverlauf trotz hoher statistischer Genauigkeit die tatsächliche Altershöhenentwicklung nicht optimal abbildet.

In Anlehnung an den methodischen Ansatz von PRETZSCH (1992c) wurde daher das stammzahlreichere Oberhöhenkollektiv nach WEISE als Datengrundlage für die Parametrisierung der Altershöhenbeziehungen (h_o) gewählt. Die Weise'sche Oberhöhe, definiert als Höhe des Grundflächenmittelstammes der 20 % stärksten Stämme eines Bestandes, wurde getrennt nach Buche und Lärche für die insgesamt 30 Aufnahmezeitpunkte im Alter zwischen 40 und 158 Jahren berechnet. Das Ergebnis sind 30 Datensätze je Baumart, die auf 333 gemessenen Höhenwerten für die Baumart Buche und 90 gemessenen Höhenwerten für die Baumart Lärche basieren.

Getrennt nach Versuchsfläche und Aufnahmezeitpunkt sind für die Baumart Buche in Tabelle 4-22 alle Angaben zur Maximalhöhe (h_{\max}) und zur abgeleiteten Weise'schen Oberhöhe (h_0) zusammengestellt. Analog dazu sind Tabelle 4-23 die Wertepaare für die Baumart Lärche zu entnehmen.

Tabelle 4-22: Berechnung der Wertepaare für die Altershöhenbeziehungen d_0/h_0 und h_{\max} , Baumart Buche.

Baumart Buche							
Fläche	Alter	hmax	Höhenkurve	r2	n (20%)	d (20%)	ho
BL1.1	40	21,7	$y = 55,82\text{Ln}(x) - 114,24$	0,43	70	17,4	17,4
BL1.2	47	23,0	$y = 66,59\text{Ln}(x) - 161,11$	0,56	54	21,3	19,6
301	51	25,5	$y = 101,75\text{Ln}(x) - 319,50$	0,94	6	26,8	24,9
101	59	28,5	$y = 125,49\text{Ln}(x) - 419,20$	0,88	6	28,1	28,5
301	61	31,8	$y = 119,40\text{Ln}(x) - 401,90$	0,92	6	36,1	30,1
302	67	27,5	$y = 90,80\text{Ln}(x) - 275,40$	0,76	10	35,7	25,8
303	67	28,0	$y = 96,61\text{Ln}(x) - 306,60$	0,87	9	32,1	25,1
101	69	31,5	$y = 134,16\text{Ln}(x) - 464,30$	0,88	6	32,9	31,3
302	77	31,8	$y = 108,92\text{Ln}(x) - 349,40$	0,86	10	43,3	31,8
303	77	31,0	$y = 110,43\text{Ln}(x) - 370,00$	0,87	9	39,5	29,1
304	82	30,5	$y = 101,08\text{Ln}(x) - 319,40$	0,71	9	41,5	29,0
305	84	31,5	$y = 101,91\text{Ln}(x) - 313,90$	0,76	9	40,1	29,7
106	89	32,0	$y = 65,36\text{Ln}(x) - 94,17$	0,63	7	43,8	30,3
104	90	32,5	$y = 113,60\text{Ln}(x) - 378,25$	0,84	13	43,3	31,1
304	92	33,3	$y = 110,56\text{Ln}(x) - 360,50$	0,75	9	47,2	32,0
305	94	34,2	$y = 113,56\text{Ln}(x) - 369,40$	0,81	9	46,8	32,9
106	99	33,0	$y = 70,71\text{Ln}(x) - 123,66$	0,75	7	49,9	31,6
104	100	34,4	$y = 98,34\text{Ln}(x) - 288,09$	0,89	13	48,9	32,1
307	106	35,5	$y = 124,96\text{Ln}(x) - 424,24$	0,79	7	46,9	34,4
308	106	36,0	$y = 127,61\text{Ln}(x) - 428,53$	0,83	7	45,1	35,1
309	106	36,0	$y = 125,55\text{Ln}(x) - 441,30$	0,94	6	49,6	33,8
310	106	34,0	$y = 107,59\text{Ln}(x) - 331,30$	0,65	5	49,6	33,6
307	116	37,9	$y = 137,22\text{Ln}(x) - 487,51$	0,83	7	51,8	37,0
308	116	38,0	$y = 146,48\text{Ln}(x) - 551,41$	0,85	5	56,9	37,8
309	116	39,0	$y = 133,53\text{Ln}(x) - 477,80$	0,89	6	56,2	36,8
310	116	37,3	$y = 110,85\text{Ln}(x) - 342,80$	0,75	5	54,9	35,6
110	143	39,0	$y = 133,93\text{Ln}(x) - 487,18$	0,77	6	65,7	38,2
112	148	37,0	$y = 109,85\text{Ln}(x) - 346,70$	0,79	7	61,9	35,9
110	153	39,8	$y = 155,95\text{Ln}(x) - 626,49$	0,67	3	69,1	39,3
112	158	40,4	$y = 115,66\text{Ln}(x) - 378,90$	0,75	7	69,0	37,7
Summe :	30	Datensätze			333	Wertepaare	

Die Koeffizienten der Schätzfunktionen zur Beschreibung der Altershöhenbeziehungen wurden mit der SPSS-Routine für nicht lineare Regression geschätzt. Die Funktionen wurden sowohl für den Oberhöhenverlauf als auch für die Entwicklung der Maximalhöhen angepasst. Die geschätzten Einzelkoeffizienten der logarithmischen Höhenkurven sowie die jeweiligen Bestimmtheitsmaße sind Tabelle 4-23 zu entnehmen.

Tabelle 4-23: Berechnung der Wertepaare für die Altershöhenbeziehungen d_0/h_0 und h_{max} , Baumart Lärche.

Baumart Lärche							
Fläche	Alter	hmax	Höhenkurve	r2	n (20%)	d (20%)	ho
BL1.1	34	22,6	$y = 57.25 \ln(X) - 121.08$	0,54	8	31,8	20,9
BL1.2	40	27,9	$y = 48.92 \ln(X) - 50.64$	0,41	7	47,9	25,1
301	46	30,0	$y = 64.04 \ln(X) - 108.17$	0,79	3	38,0	27,2
101	54	32,5	$y = 48.22 \ln(X) + 20.41$	0,35	4	38,3	30,7
301	56	32,7	$y = 58,329 \ln(x) - 50,31$	0,36	3	49,3	31,1
302	62	28,0	$y = 47.05 \ln(X) - 16.97$	0,54	3	41,4	26,7
303	62	28,0	$y = 47.05 \ln(X) - 16.97$	0,54	3	41,0	26,6
101	64	35,0	$y = 49.92 \ln(X) + 30.06$	0,36	4	43,9	33,4
302	72	31,0	$y = 61.37 \ln(X) - 80.24$	0,48	3	49,8	30,1
303	72	29,9	$y = 61.37 \ln(X) - 80.24$	0,48	3	47,2	29,8
304	75	32,0	$y = 61.37 \ln(X) - 80.24$	0,48	3	49,7	30,1
305	84	31,5	$y = 49.66 \ln(X) + 3.08$	0,32	2	55,1	31,5
104	84	34,0	$y = 51,153 \ln(x) + 3,47$	0,31	2	57,8	32,8
304	85	33,2	$y = 49.66 \ln(X) + 3.08$	0,32	3	58,1	31,9
106	89	32,0	$y = 49.66 \ln(X) + 3.08$	0,32	3	44,7	30,6
104	94	34,6	$y = 51,153 \ln(x) + 3,47$	0,31	2	61,4	33,2
305	94	34,0	$y = 49.66 \ln(X) + 3.08$	0,32	2	60,2	32,1
106	99	34,5	$y = 49.66 \ln(X) + 3.08$	0,32	3	49,6	31,3
309	106	37,0	$y = 76.26 \ln(X) - 121.72$	0,35	3	57,0	36,2
310	106	37,0	$y = 76.26 \ln(X) - 121.72$	0,35	3	59,0	36,5
307	106	38,0	$y = 61,352 \ln(x) - 31,43$	0,44	2	64,2	36,5
308	106	35,5	$y = 61,352 \ln(x) - 31,43$	0,44	2	58,4	35,5
309	116	38,3	$y = 76.26 \ln(X) - 121.72$	0,35	3	62,6	36,9
310	116	40,7	$y = 76.26 \ln(X) - 121.72$	0,35	2	65,4	37,3
307	116	38,0	$y = 53,402 \ln(x) + 17,83$	0,31	2	68,9	36,7
308	116	36,3	$y = 61,352 \ln(x) - 31,43$	0,44	2	62,8	36,3
110	134	41,0	$y = 68,886 \ln(x) - 51,86$	0,28	3	65,7	39,5
110	144	41,0	$y = 63,74 \ln(x) - 18,94$	0,41	3	67,3	39,6
112	148	38,5	$y = 76.26 \ln(X) - 121.72$	0,35	2	68,6	37,6
112	158	39,0	$y = 76.26 \ln(X) - 121.72$	0,35	2	72,5	38,1
Summe :	30	Datensätze			90	Wertepaare	

Abbildung 4-60 zeigt getrennt nach Buche (oben) und Lärche (Mitte) die Altershöhenbeziehungen h_{max} und h_0 im Vergleich. Darüber hinaus ist die Entwicklung der Maximalhöhen im direkten Vergleich zwischen Buche und Lärche in Abbildung 4-60 (unten) dargestellt.

Demnach zeichnet sich die Höhenentwicklung der Lärche, insbesondere im ersten Drittel ihres Wachstumsganges, durch einen vergleichsweise steileren Funktionsverlauf aus, als dies für die Baumart Buche zu beobachten ist. Zudem lassen die Funktionsverläufe erkennen, dass die Maximalhöhen der Buche bis zum Alter 120 unter der vergleichbaren Altershöhenbeziehung für die Baumart Lärche liegen. Erst mit weiter zunehmendem Alter liegen die Maximalhöhen bis zum beobachteten Alter von 158 Jahren konstant über denen der Lärche.

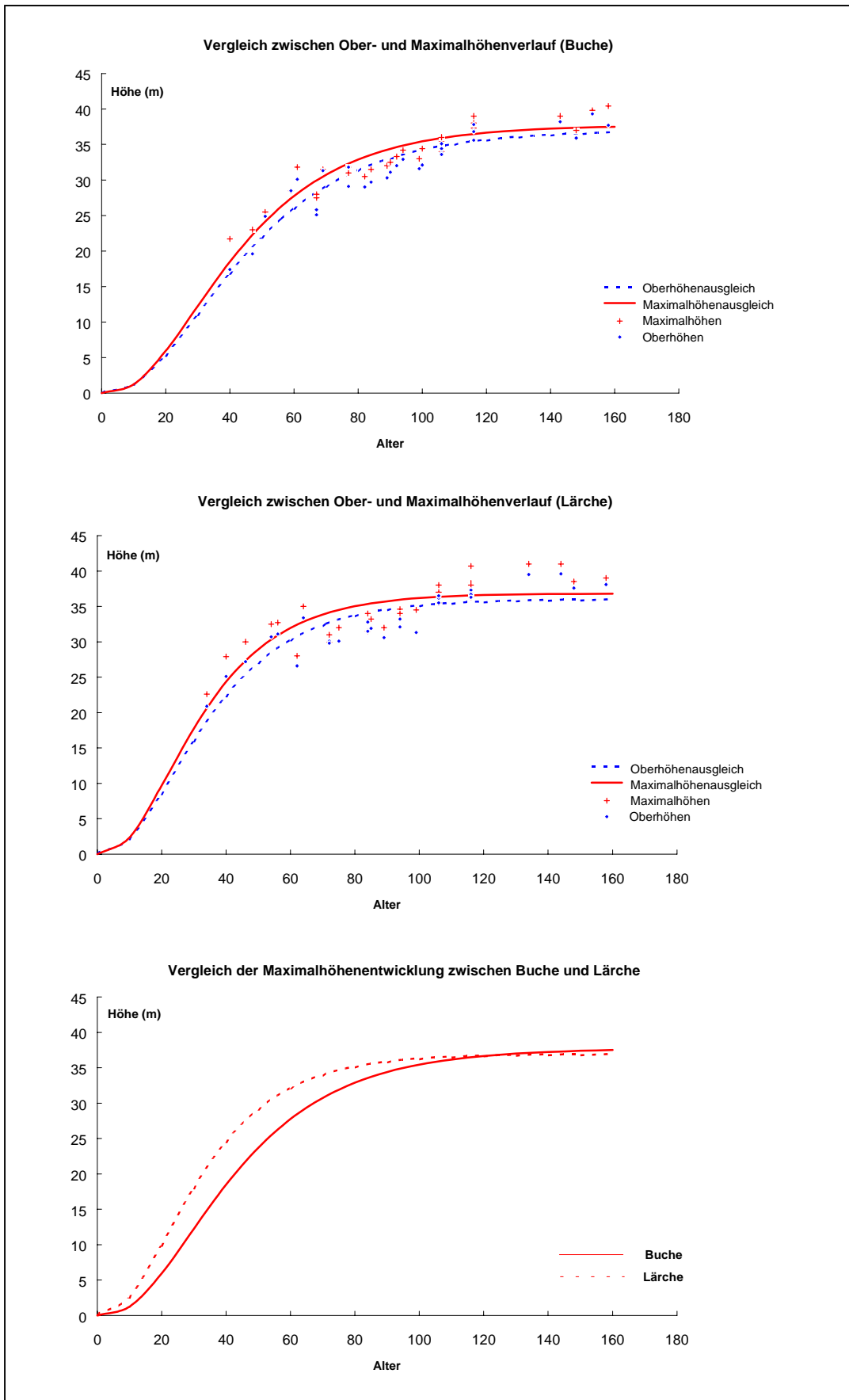


Abbildung 4-60: Vergleich von Maximal- und Oberhöhenverlauf über dem Alter für die beiden Baumarten Buche und Lärche.

Tabelle 4-24: Funktionsparameter für die Altershöhenbeziehungen (wobei h_o = Oberhöhe, h_{max} = Maximalhöhe, h_{pot} = potentielle Altershöhenbeziehung, A = Asymptote der Wachstumsfunktion und k = Steigungsparameter der Wachstumsfunktion sind).

	Buche			Lärche		
	Parameter	Standardfehler	r^2	Parameter	Standardfehler	r^2
h_o						
A	36,9243	0,7345	0,85	35,9159	0,7094	0,69
k	0,03641	0,0016		0,04760	0,0029	
h_{max}						
A	37,7093	0,6394	0,84	36,8222	0,7399	0,61
k	0,03885	0,0016		0,05122	0,0035	
h_{pot}						
A	43,7618	0,8732		42,5604	0,8406	
k	0,03641	0,0016		0,04760	0,0029	

4.4.4.4 Herleitung der potentiellen Altershöhenkurven

Aufbauend auf den Altershöhenbeziehungen für das Oberhöhenkollektiv wurde mit Hilfe eines „Multiplikators“ die potentielle maximale Altershöhenentwicklung abgeleitet. Methodisch wird dabei die in ihrem Verlauf bekannte Altershöhenbeziehung soweit verschoben, dass die gemessenen Maximalhöhen von dem „nach oben korrigierten“ Funktionsverlauf umschlossen werden. Im Modellansatz hat die Funktion dementsprechend „begrenzende“ Wirkung und verhindert dadurch, dass biologisch unplausible Höhenzuwächse prognostiziert werden.

Bei der Berechnung der baumartenspezifischen Multiplikatoren wurden im Rahmen eines methodischen Vergleiches die beiden Ansätze von PRETZSCH (1992c) und KAHN (1994) miteinander verglichen.

Differenzverfahren (PRETZSCH 1992c)

Bei der Anwendung des Differenzverfahrens wird für alle 30 Aufnahmezeitpunkte im Alter zwischen 30 und 160 Jahren die Differenz zwischen der Maximalhöhe (h_{max}) und der Oberhöhe (h_o) berechnet. In einem zweiten Schritt wird die Differenz zwischen Maximal- und Oberhöhe in Prozent der erreichten Oberhöhe umgerechnet und arithmetisch gemittelt. Im Ergebnis wurde für die Baumart Buche ein Multiplikator von 5,2 %, für die Baumart Lärche ein Faktor von 4,5 % ermittelt.

Transformationsmethode (KAHN 1994)

Im Rahmen der Transformationsmethode wird zunächst die Differenz aller Einzelbaumhöhen zur entsprechenden Bestandesoberhöhe berechnet und die Δh -Werte herausgefiltert, die größer / gleich Null respektive größer / gleich der jeweiligen Bestandesoberhöhe sind. Darauf aufbauend werden die gefilterten Δh -Werte in Relation zur Oberhöhe gesetzt und die Anzahl der positiven prozentualen Δh -Werte in einer Häufigkeitsverteilung erfasst (siehe Abbildung 4-61).

In einem zweiten Schritt wird aus der Häufigkeitsverteilung die relative Summenhäufigkeit abgeleitet, und die Wertepaare werden mit Hilfe einer Exponentialfunktion ausgeglichen. Der Verteilungsparameter (λ) wurde dabei mit Hilfe eines nicht linearen Regressionsansatzes

geschätzt. Bei einer unterstellten Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01 % errechnete sich nach dem Transformationsverfahren (KAHN 1994) für die Baumart Buche ein Multiplikator von 18,5 %, für die Lärche wurde ein Faktor von 16,7 % ermittelt.

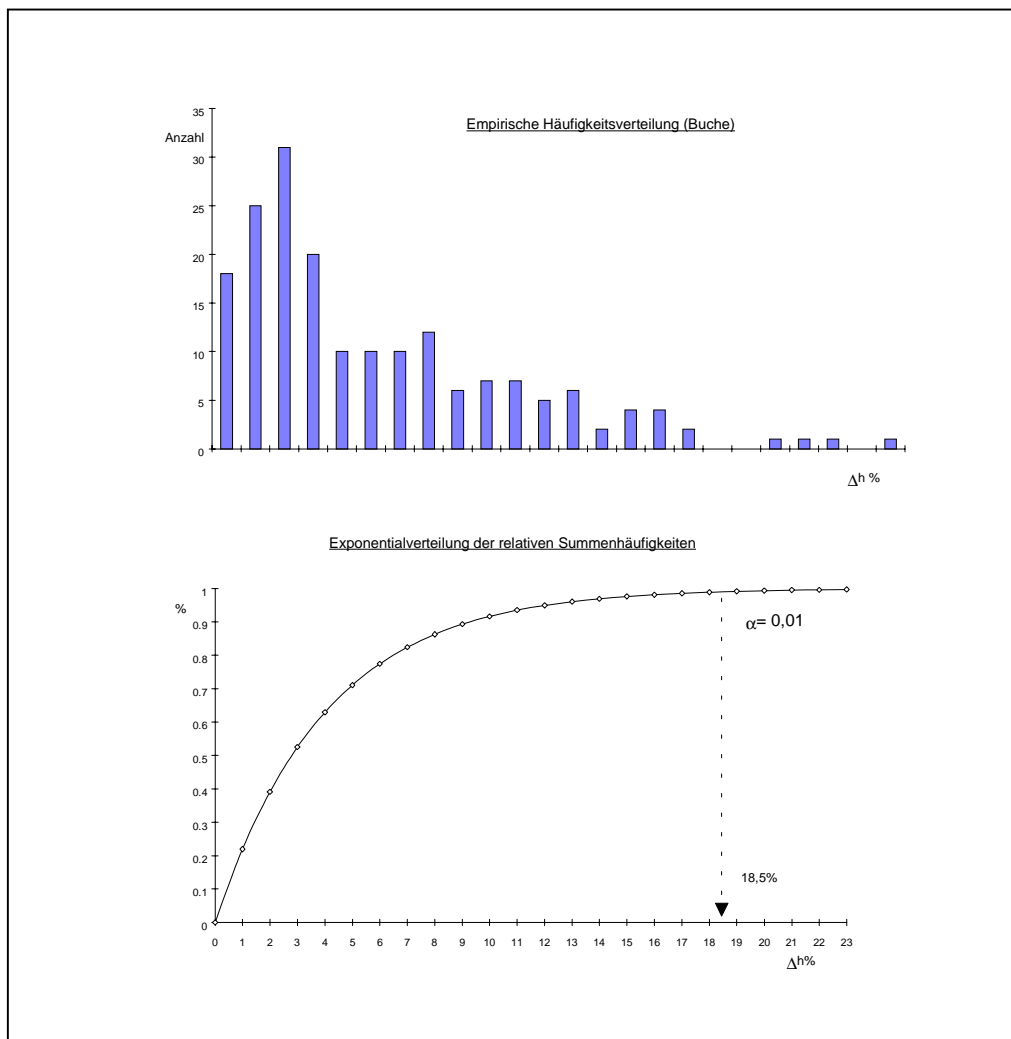


Abbildung 4-61: Häufigkeitsverteilung sowie abgeleitete Exponentialfunktion zur Berechnung des „Multiplikators“ für die potentielle Altershöhenbeziehung der Baumart Buche nach dem Transformationsverfahren (KAHN 1994).

Je nach Wahl des methodischen Ansatzes zur Berechnung der baumartenspezifischen Multiplikatoren wurden Differenzen von rd. 13 % bei der Buche bzw. rd. 12 % bei der Lärche ermittelt. Bei der Anpassung an das vorliegende Datenmaterial zeigte sich, dass die mit Hilfe des Differenzverfahrens abgeleiteten Multiplikatoren zu gering eingeschätzt werden, um die Altershöhenbeziehung h_{\max} treffend abzubilden. Im Gegensatz dazu erwiesen sich die aus dem Transformationsverfahren abgeleiteten Multiplikatoren als geeignet, um die gemessenen Maximalhöhen funktional zu erfassen.

Im Vergleich zu Angaben von PRETZSCH (1992c), der in dem Höhenwachstumsmodell des Wachstumssimulators „Silva“ für die Baumart Buche einen Multiplikator von 9,96 % unterstellt, wie auch zu den Ergebnissen von KAHN (1994), der im Zusammenhang mit der Parametrisierung des Standort-Leistungsbezuges für die Buche einen Multiplikator von 14 % errechnete, ist der für die Buche errechnete Multiplikator mit 18,5 % vergleichsweise hoch.

In Abbildung 4-62 sind die abgeleiteten potentiellen Altershöhenbeziehungen für die Baumarten Buche und Lärche im Vergleich gegenübergestellt. Verlauf und Schnittpunkt der Funktionen entsprechen der Entwicklung der oben diskutierten Maximalhöhenbeziehungen. Im Gegensatz dazu nähern sich jedoch die Asymptotenwerte beider Baumarten 43 m an und liegen damit annähernd 6 m über den gemessenen Maximalhöhen.

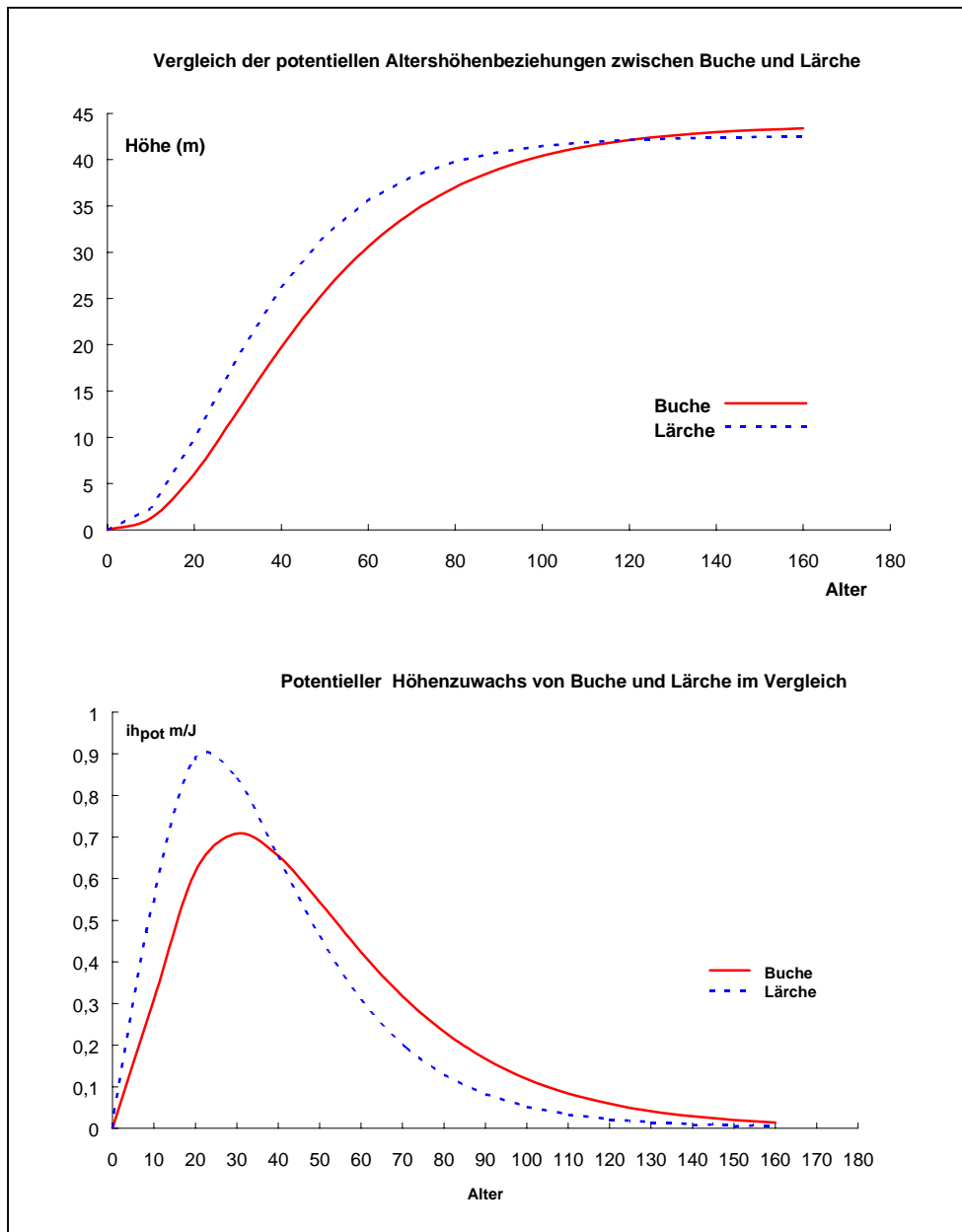


Abbildung 4-62: Verlauf der „potentiellen Altershöhenbeziehungen“ sowie des abgeleiteten potentiellen Höhenzuwachses von Buche und Lärche im Vergleich.

Als erste Ableitung der Altershöhenbeziehungen sind die „potentiellen Höhenzuwächse“ getrennt nach Buche und Lärche in Abbildung 4-62 unten dargestellt. Es zeigt sich, dass der Höhenzuwachs der Lärche mit 0,9 m/J vergleichsweise hoch ist und, dem Charakter einer Lichtbaumart entsprechend, bereits im Alter von 21 Jahren kulminiert. Im Gegensatz dazu kulminiert der Höhenzuwachs der Schattbaumart Buche erst im Alter von 30 Jahren bei einem laufenden Höhenzuwachs von annähernd 0,7 m/J. Ab Alter 40 liegt der Höhenzuwachs der

Buche kontinuierlich über dem der Lärche, worin sich die anhaltende Wuchsdynamik der Buche widerspiegelt.

Im Vergleich zu diesen „potentiellen“ Höhenzuwächsen prognostiziert das Ertragstafelmodell von SCHOBER (1995) für die Baumart Buche (I. EKL, mäß. Df.) maximale Höhenzuwächse von 0,5 m/J, wobei der Höhenzuwachs im Alter zwischen 40 und 45 Jahren kulminiert. Die Baumart Lärche hingegen leistet nach dem Ertragstafelmodell von SCHOBER (1995, I. EKL, mäß. Df.) einen maximalen Höhenzuwachs von 0,58 m/J im Alter zwischen 20 und 25 Jahren. Der Vergleich verdeutlicht die weitaus höheren Zuwachsleistungen beider Baumarten gegenüber den Ertragstafelmodellen und weist einmal mehr darauf hin, dass es je nach Standort zu mehr oder weniger großen Differenzen zwischen Ertragstafelmodell und beobachtetem Höhenwachstumsgang kommen kann.

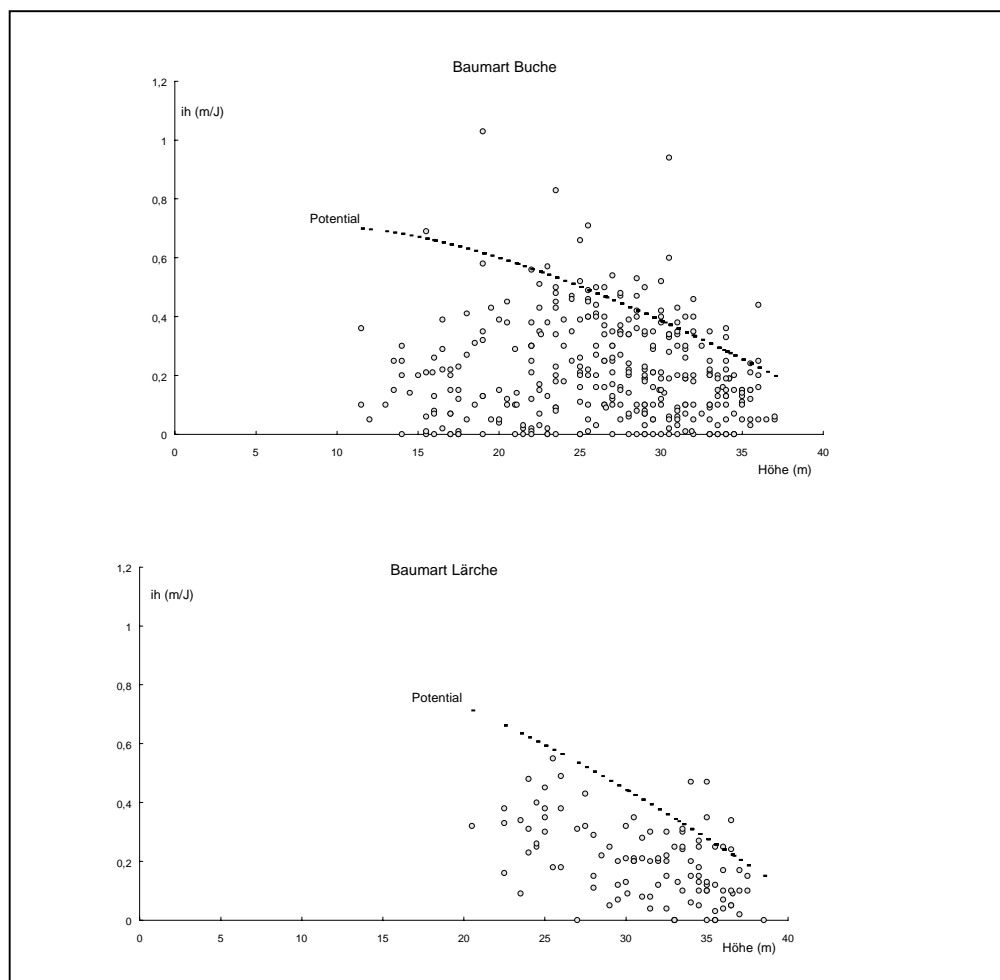


Abbildung 4-63: Vergleich der gemessenen Höhenzuwächse mit den abgeleiteten potentiellen Höhenzuwächsen für die Baumarten Buche (oben) und Lärche (unten).

Die „Anpassungsgüte“ der parametrisierten „potentiellen Altershöhenbeziehungen“ lässt sich indirekt auch aus Abbildung 4-63 entnehmen. Getrennt nach Buche (oben) und Lärche (unten) sind hier zu den gemessenen Höhenzuwächsen die Zuwachsverläufe aus der Ableitung der potentiellen Altershöhenbeziehungen gegenübergestellt und über der Höhe aufgetragen. Unabhängig von der Baumart zeigt sich, dass die jeweilige Zuwachsfunktion am oberen Rand des Datenfeldes der tatsächlich gemessenen Höhenzuwächse verläuft und damit die maximal

erreichbaren Höhenzuwächse repräsentiert. Dies trifft insbesondere für die Baumart Lärche zu, da sich nur wenige Messwerte oberhalb des Funktionsverlaufes befinden. Im Fall der Baumart Buche ist hingegen eine vergleichsweise größere Anzahl von Messwerten oberhalb der potentiellen Zuwachsfunktion zu beobachten. Dieser Umstand wird darauf zurückgeführt, dass Höhenmessungen in der Buche vergleichsweise schwierig und daher i. d. R. auch mit größeren Messfehlern behaftet sind. Auch der Umstand, dass eine Vielzahl von Bäumen überhaupt keinen Höhenzuwachs hat, wird auf messtechnische Fehler zurückgeführt. Wie MITSCHERLICH (1970) betont, gibt es keinen Umstand, durch den die Bildung von Jahrestrieben ganz verhindert werden könnte. „Ein Baum, der nicht mehr austreibt, ist bereits tot...“ MITSCHERLICH (1970). Im Rahmen der weiteren Parametrisierung des Höhenzuwachsmodelles wurden deshalb diese Wertepaare nicht weiter berücksichtigt.

4.4.4.5 Modellansatz für die Baumart Buche

In Anlehnung an den o. g. Modellansatz von NEWNHAM u. SMITH (1964) wurde die Steuervariable „FKI“ als Konkurrenzindex in das Höhenzuwachsmodell für die Baumart Buche integriert, um den potentiellen Höhenzuwachs auf den gemessenen Höhenzuwachs zu reduzieren. In Anlehnung an den Modellansatz von KAHN u. PRETZSCH (1997) wurde dazu der Beschattungsindex FKI mit dem Quotient aus aktueller Höhe und der Asymptote A gewichtet (siehe 4-21). Im Gegensatz zu KAHN u. PRETZSCH (1997) wurde jedoch der Wert der Asymptote über dem Alter der jeweiligen Aufnahme abgegriffen (siehe Abbildung 4-64).

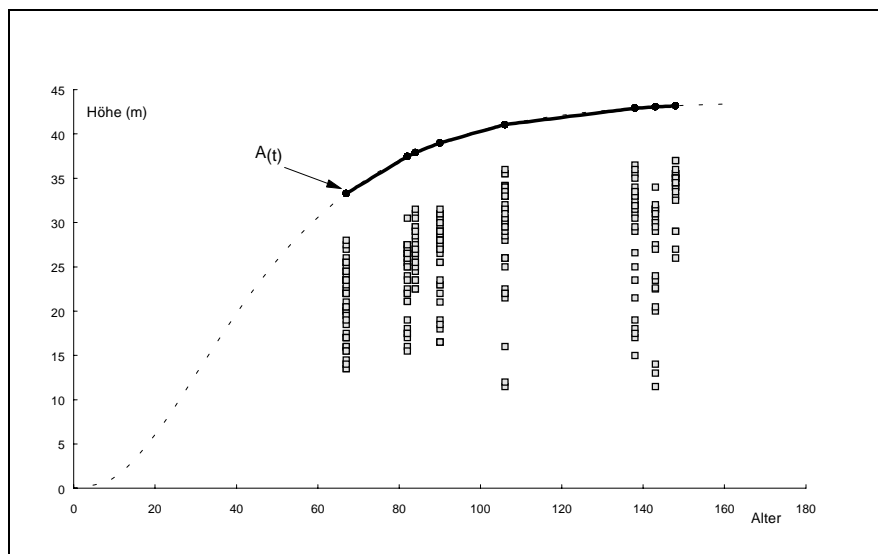


Abbildung 4-64: Herleitung des potentiellen Asymptotenwertes (A_t) als Gewichtungsfaktor für den Einfluss „historischer Konkurrenz“.

Der Gewichtungsfaktor setzt somit die gegenwärtige Höhe des Einzelbaumes als Ausdruck seiner sozialen Stellung in Relation zu seiner zum Zeitpunkt der Aufnahme möglichen potentiellen Höhe. Es gilt:

$$FKI_{\text{gew}} = FKI \cdot \left(1 - \frac{h}{A_t}\right) \quad \text{Formel (4-23)}$$

mit den Variablenbezeichnungen: FKI_{Gew} = gewichteter Konkurrenzindex
 h_t = tatsächliche Höhe zum Zeitpunkt t (m)
 A_t = potentielle Höhe zum Zeitpunkt t (m)

Im Gegensatz zu dem Ansatz von KAHN u. PRETZSCH (1997) wird der Quotient aus tatsächlicher Höhe zu potentieller Höhe von 1 subtrahiert und das Ergebnis mit dem aktuellen Konkurrenzindex FKI multipliziert. Biologisch plausibel wird dadurch erreicht, dass der Einfluss der Konkurrenz (Beschattung) auf den Höhenzuwachs umso geringer eingeschätzt wird, je höher der Bezugsbaum ist. Umgekehrt ist die Wirkung des Lichtes auf den Höhenzuwachs umso bedeutender, je niedriger ein Baum zum Zeitpunkt der Aufnahme ist. Für Bäume nahe oder gleich der maximalen potentiellen Höhe strebt der Gewichtungsfaktor gegen 1, der Gesamteinfluss des Beschattungsindex nähert sich in diesem Fall dem Wert 0.

Der Einfluss bzw. die Wirkung des gewichteten Beschattungsindex FKI_{gew} auf den potentiellen Höhenzuwachs ist Abbildung 4-65 zu entnehmen. Bestimmtheitsmaß, Standardfehler und Regressionskoeffizienten des linearen Ausgleichs sind Tabelle 4-25 zu entnehmen.

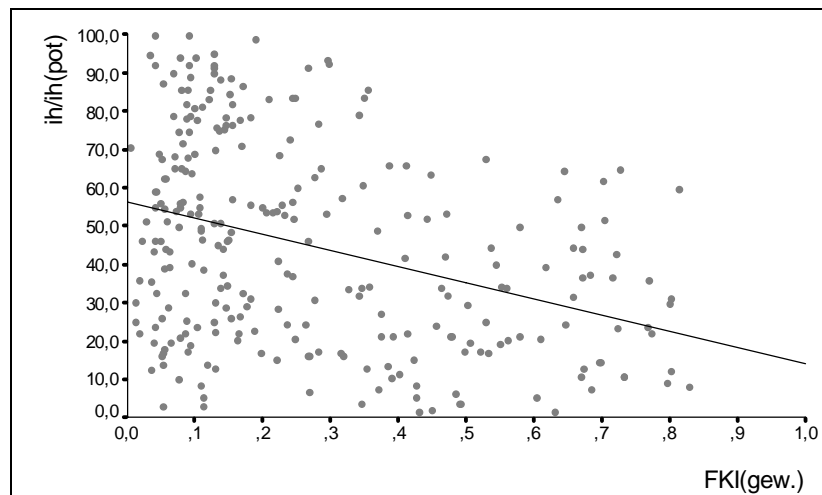


Abbildung 4-65: Einfluss von FKI_{Gew} auf den Höhenzuwachs der Baumart Buche.

Tabelle 4-25: Standardfehler und Regressionskoeffizienten der linearen Schätzfunktion für den Ausgleich des relativen Höhenzuwachses über dem gewichteten Beschattungsindex FKI für die Baumart Buche.

	Gewichtungsfunktion		
	Parameter	Standardfehler	r^2
b1	0,7374	0,1165	0,13
b2	-0,0488	0,0799	

Der Modellansatz für die Verknüpfung aus potentiellstem Höhenzuwachs und Reduktion des Zuwachses auf den tatsächlichen Zuwachs erfolgte in Anlehnung an den Ansatz von HASENAUER (1994a). Die Funktion ist Formel 4-24 zu entnehmen.

$$ih = b_1 \cdot ih_{pot} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-b_2}{FKI_{gew}}\right) \right) \quad (\text{Formel 4-24})$$

mit den Variablenbezeichnungen:

- ih = jährlicher Höhenzuwachs (m)
- ihpot = potentieller maximaler jährlicher Höhenzuwachs (m)
- FKI_{gew} = Fisheye-Konkurrenzindex
- b1, b2 = Funktionsparameter

Regressionskoeffizienten, Standardfehler sowie Bestimmtheitsmaß sind Tabelle 4-26 zu entnehmen. Abbildung 4-66 zeigt die Residualverteilung des Höhenzuwachsmodells für die Baumart Buche. Es wird ersichtlich, dass der Höhenzuwachs verzerrungsfrei und damit frei von systematischen Fehlern geschätzt werden kann. Als kritisch und äußerst unbefriedigend sind hingegen die vergleichsweise hohen Fehler der Einzelkoeffizienten sowie das geringe Bestimmtheitsmaß der Schätzfunktion zu beurteilen.

Tabelle 4-26: Regressionskoeffizienten, Standardfehler und Bestimmtheitsmaß der Schätzfunktion für die Höhenzuwachsprognose, Baumart Buche.

Höhenzuwachsmodell (Buche)			
	Parameter	Standardfehler	r ²
b1	0,5757	0,02818	0,20
b2	0,4102	0,05339	

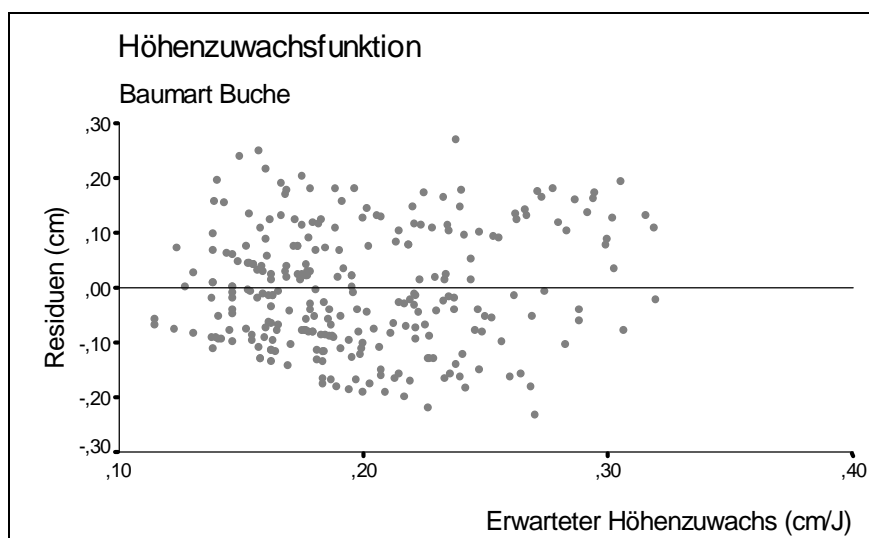


Abbildung 4-66: Residuen der an das Datenmaterial angepassten Schätzfunktion für den Höhenzuwachs über dem erwarteten Höhenzuwachs, Baumart Buche.

4.4.4.6 Modellansatz für die Baumart Lärche

Der Versuch, den o. g. Modellansatz für die Baumart Buche auf die Baumart Lärche zu übertragen, wurde verworfen, da sich im Rahmen der Parametrisierung zeigte, dass der Beschattungsindex FKI keinen Einfluss auf die Reduktion des Höhenzuwachses der Lärchen ausübt.

Auch die Gewichtung nach dem Modellansatz für die Baumart Buche führte zu keiner Verbesserung der Prognose. Dieser Umstand wird darauf zurückgeführt, dass nahezu alle Lärchen aufgrund ihrer Wuchsdynamik, mehr oder minder vertikal undifferenziert, am herrschenden Bestandesaufbau beteiligt sind (siehe dazu Abbildung 4-16). Es wurde deshalb ein einfaches Modell erstellt, das in Form einer Direktschätzung den Höhenzuwachs direkt aus der aktuellen Höhe des Einzelbaumes prognostiziert. Abbildung 4-67 zeigt den Verlauf der parametrisierten logarithmischen Funktion. Tabelle 4-27 sind die Regressionsparameter, Standardfehler und das Bestimmtheitsmaß des Modellansatzes zu entnehmen.

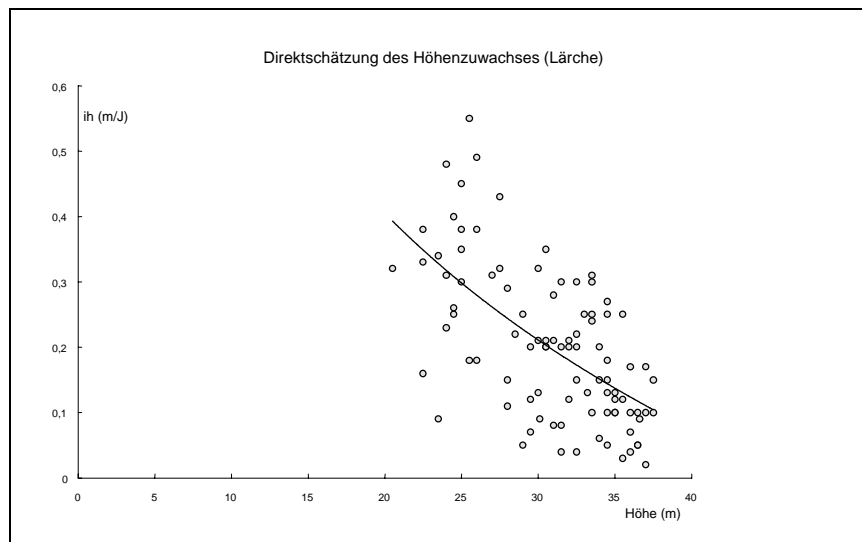


Abbildung 4-67: Direktschätzung des Höhenzuwachses aus der aktuellen Baumhöhe, Baumart Lärche.

Tabelle 4-27: Regressionskoeffizienten, Standardfehler und Bestimmtheitsmaß der logarithmischen Schätzfunktion für die Höhenzuwachsprognose, Baumart Lärche.

$ih = c \cdot \ln(h) + b$	Lärche Höhenzuwachsmmodell		
	Parameter	Standardfehler	r^2
$n = 125$			
c (konstant)	1,7719	0,2221	0,37
b	-0,4582	0,0648	

4.5 Untersuchungen zur waldbauliche Behandlung von Mischbestands-Wuchsreihen

4.5.1 Vorüberlegungen

Nach PRETZSCH u. SPELLMANN (1992b) hat die waldbauliche Behandlung der in jüngster Zeit durch die Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt angelegten Mischbestandsversuche das Ziel, möglichst unterschiedliche Wuchskonstellationen zu „erzeugen“. Vor dem Hintergrund, die Datengrundlage für die Reparametrisierung des Simulators „**BwinPro**“ (NAGEL 1999) im Vergleich zur bestehenden Datenbasis entscheidend zu verbessern, haben damit viele dieser Versuchsflächen einen stärker experimentellen Charakter bekommen. Ziel ist es, die Reaktionskinetik der Einzelbäume in Folge möglichst extremer Bestandesstellungen zu erfassen. Grundlage dafür sind waldbauliche Eingriffe, die im Gegensatz zu praxisüblichen Behandlungsvarianten möglichst „extreme“ Konkurrenzverhältnisse erzeugen (maximaler Dichtstand versus Solitärcharakter). Die jüngeren Mischbestandsversuche der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt unterscheiden sich demzufolge deutlich von den seit 1998 von der Forsteinrichtung angelegten „Weiserflächen“, die sowohl zur Veranschaulichung waldbaulicher Zielvereinbarungen als auch zur Abstimmung waldbaulicher Pflegekonzeptionen angelegt und beobachtet werden sollen (BÖCKMANN u. HÜSING 1999).

In vergleichbarem Sinne empfehlen v. GADOW u. STÜBER (1994) und v. GADOW u. SCHMIDT (1998) die Anlage von „Intervallflächen“, um kurzfristig möglichst zahlreiche Ausgangssituationen in unterschiedlich zusammengesetzten und unterschiedlich strukturierten Waldaufbauformen zu erfassen. Dem Ansatz liegt zugrunde, dass lediglich eine oder zwei Wiederholungsaufnahme nach einer definierten 5- bis 10jährigen Zuwachsperiode durchgeführt werden. Anschließend werden die Flächen wieder aufgegeben. Der Vielzahl von Beobachtungen auf Grundlage langfristiger Messreihen auf ein und derselben Versuchsfläche wird demnach die Vielzahl von Beobachtungen aus einem größeren, stetig wechselnden Pool von „Intervallflächen“ gegenübergestellt. Das Konzept wird jedoch insofern als kritisch beurteilt, da eine Vielzahl von waldwachstumskundlichen wie auch waldbaulichen Fragestellungen nur mit Hilfe langfristig beobachteter Versuchsflächen sowie auf Grundlage eindeutig definierter Behandlungsmodelle bearbeitet werden kann. Darüber hinaus ist zu prüfen, in welchem finanziellen Verhältnis die „wiederholte“ Erstanlage von Versuchsflächen zu langfristig beobachteten Dauerbeobachtungsflächen steht.

Um die für die Parametrisierung von Wachstumsmodellen erforderliche ausreichend breite Datengrundlage zu erfassen, sind bereits bei der Auswahl der in Frage kommenden Versuchsflächen eine Vielzahl von Kriterien zu berücksichtigen. Im Einzelnen wurde darauf in Kapitel 2.1 eingegangen. Im Idealfall wird demnach bereits im Rahmen der Erstaufnahme eine große Anzahl unterschiedlicher Konkurrenzsituationen aufgenommen. Mit der ersten Folgeaufnahme steht ein breites Spektrum unterschiedlicher Wuchsreaktionen in Form von Einzelbauminformationen zu Verfügung, das sowohl für die Parametrisierung der verschiedenen Zuwachsfunktionen als auch für waldbauliche Interpretationen genutzt werden kann. Darüber hinaus hat die weitere waldbauliche Behandlung der einzelnen Versuchsfläche den größten, durch den Versuchsansteller unmittelbar steuerbaren Einfluss auf den Informationsgehalt langfristig beobachteter Versuchseinheiten. Im Rahmen zahlreicher, aktueller Versuchskonzepte (PRETZSCH u. SPELLMANN 1992b, GUERICKE 1995, 1997) sind daher gerade solche waldbaulichen Eingriffe geplant, die nicht im Rahmen üblicher waldbaulicher Behandlungen liegen, da sie biologisch bedeutsame und für die Modellkonstruktion wichtige Informationen liefern sollen. So ist es denkbar, Teile der Versuchsflächen im Dichtstand zu belassen,

während andere Bestandespartien mäßig hochdurchforstet oder auch extrem freigestellt werden.

Aufgrund der praktischen Erfahrungen, die im Rahmen der Auszeichnung zahlreicher Mischbestands-Versuchsflächen gemacht werden konnten, stehen den genannten theoretischen Überlegungen im Einzelfall eine Vielzahl von Problemen bei der praktischen Umsetzung gegenüber. Als einer der begrenzenden Faktoren hat sich, insbesondere in höherem Alter, die bislang gewählte Flächengröße der Einzelversuche herausgestellt. Während bei geschickter Anlage der Versuchsflächen bis zum angehenden mittleren Baumholz i. d. R. alle Optionen für unterschiedliche Eingriffsvarianten gegeben sind, sind mit zunehmendem Alter allein aufgrund der Einzelbaumdimensionen (Kronengrößen) überproportional größere Versuchsflächen erforderlich, um ausreichend viele unterschiedliche Wuchskonstellationen zu erfassen. Als problematisch hat es sich darüber hinaus erwiesen, dass mit zunehmendem Bestandesalter die gewünschten fließenden Übergänge von der Einzelbaummischung bis hin zur flächigen Mischung der am Bestandaufbau beteiligten Baumarten aufgrund der vorangegangenen Bestandespflege wie auch der natürlichen zwischenartlichen Konkurrenzverhältnisse nicht mehr in allen Ausprägungen vorhanden sind. Losgelöst von den individuellen Ausgangsstrukturen ergibt sich darüber hinaus in allen älteren Beständen das Problem der Bestandeslabilisierung aufgrund extremer Eingriffsvarianten und damit die Gefahr, Versuchsflächen vorzeitig aufgeben zu müssen.

Der Einfluss der individuellen Ausgangsstrukturen auf die Bandbreite erfasster Konkurrenzsituationen lässt sich aus dem Vergleich der ermittelten inner- und zwischenartlichen Konkurrenzverhältnisse innerhalb der Wuchreihe Buche-Fichte (BIBER 1996) sowie den untersuchten Buchen-Lärchen-Mischbeständen erkennen (siehe Kapitel 4.5.2.2). So zeigt die Analyse der Konkurrenzsituationen für die Wuchreihe Buche-Fichte im Solling, dass ein großes Spektrum inner- als auch zwischenartlicher Konkurrenzsituationen für beide Baumarten im Rahmen der Ausweisung der Versuchsflächen erfasst wurde. Im Gegensatz dazu sind innerhalb der Wuchreihe Buche-Lärche bezogen auf die Baumart Lärche innerartliche Konkurrenzsituationen unterrepräsentiert. Umgekehrt sind, bezogen auf die Baumart Buche, zwischenartliche Konkurrenzsituationen unterrepräsentiert. Dieser Mangel ist auf die Auswahl der Versuchsflächen durch DIPPEL (1988) zurückzuführen, die unter vorrangig waldbaulichen Fragestellungen erfolgte (siehe dazu auch Kapitel 2.1).

Um den Einfluss der waldbaulichen Bestandesbehandlung hinsichtlich der Variationsmöglichkeiten und gezielten „Erzeugung“ unterschiedlicher Konkurrenzsituationen zu prüfen wurde eine Modellstudie durchgeführt. Am Beispiel einer Buchen-Lärchen-Mischbestandsparzelle wurden dazu verschiedene waldbauliche Eingriffsvarianten ausgezeichnet und hinsichtlich der Verschiebung der Konkurrenzsituationen zwischen Buche und Lärche analysiert.

4.5.2 Sensitivitätsstudie

Die der Studie zugrunde liegende Versuchsfläche stammt aus dem großen Pool von Versuchsflächen, die von DIPPEL (1988) in Buchen-Lärchen-Mischbeständen im Wuchsbezirk „Unterer Solling“ angelegt wurden, jedoch bei der Parametrisierung der Modellfunktionen im Rahmen der vorgelegten Untersuchungen keinen Eingang gefunden haben. Die Fläche befindet sich in einer Höhe von 350 m ü. NN auf einem schwach nach Norden geneigtem Oberhang. Der Standort ist frisch bis nachhaltig frisch und weist eine ziemlich gute Nährstoffversorgung auf. Die 88-jährige Buche ist aus Naturverjüngung hervorgegangen, die stamm- bis truppweise beigemischte 76-jährige Europäische Lärche ist gepflanzt. Die wichtigsten ertragskundlichen

Kenngrößen sind Tabelle 4-28 zu entnehmen. Darüber hinaus gibt die Durchmesserverteilung in Abbildung 4-68 einen Einblick in die Struktur des Bestandesaufbaus. Die für Buchen-Lärchen-Mischbestände typische Durchmesserverteilung zeigt, dass die Lärche in den stärkeren Durchmesserklassen dominiert, die Durchmesserverteilung der Buche hingegen durch eine ausgeprägte, typische Zweigipfeligkeit charakterisiert ist. Dies lässt den ausschließlich durch Buche geprägten Zwischen- und Unterstand des Bestandes erkennen.

Tabelle 4-28: Ertragskundliche Kennwerte für den Buchen-Lärchen-Mischbestand in Abt. 330, Rfö. Verliehausen (Aufnahme 1999). (Referenz: Ertragstafelsammlung Schober 1995, st. Df.)

Art	Alter	N/ha	dg (cm)	Hg (cm)	G/ha (m ²)	V/ha (m ³)	Ekl (hg)	Lkl	B ⁰	MA (%)
Buche	88	363	22,7	26,4	14,6	207	1,6	8	0,61	56
E.Lärche	76	75	48,5	34,5	13,8	202	0,0	12	0,48	44
Gesamt		438			28,4	409			1,1	

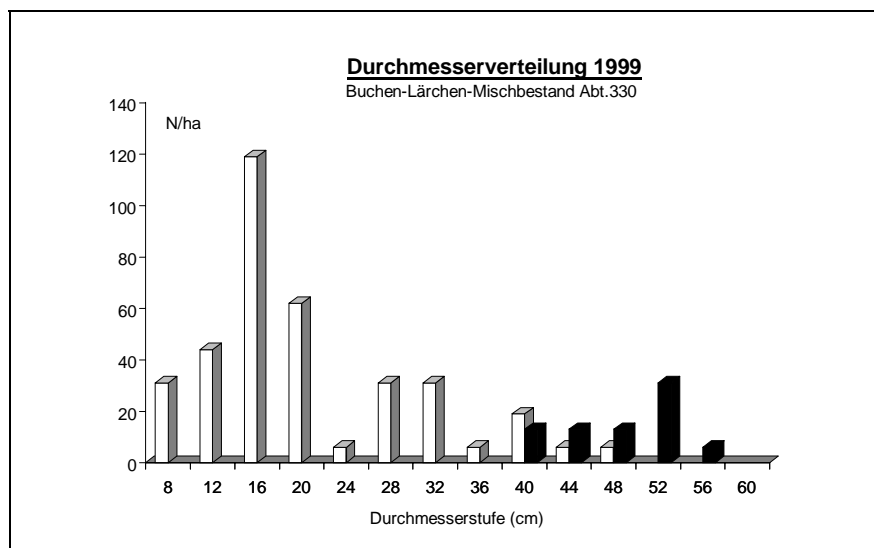


Abbildung 4-68: Durchmesserverteilung des Buchen-Lärchen-Mischbestandes in Abt. 330. (Buche weiß, Lärche schwarz).

Die unabhängig voneinander ausgezeichneten und in ihrer Zielsetzung deutlich unterschiedlichen Behandlungsvarianten können wie folgt beschrieben werden:

Variante I : Förderung der Lärche

Konsequente Entnahme herrschender wie auch mitherrschender Buchen zugunsten der Lärche.

Variante II : Förderung der Buche

Primär Entnahme herrschender Lärchen zugunsten der Buche; zusätzlich vereinzelte Entnahme von herrschenden Buchen zur Förderung anderer mitherrschender / beherrschter Buchen.

Variante III : Waldbauliche Praxisvariante

Auslesedurchforstung im Herrschenden. Sowohl Lärchen- als auch Buchentrupps werden zur Kronenpflege qualitativ besserer und vitalerer Nachbarn weiter aufgelöst.

Die jeweiligen Eingriffsstärken sowie die Verteilung der Durchforstungsmassen auf die beiden Baumarten Buche und Lärche im Vergleich der drei Behandlungsvarianten sind in Tabelle 4-29 zusammengestellt. Darüber hinaus ist der Tabelle die Entwicklung des verbleibenden Bestandes im Vergleich zum Ausgangszustand 1999 zu entnehmen.

Tabelle 4-29: Gegenüberstellung der Bestandesentwicklung getrennt nach unterschiedlicher Behandlungsvariante sowie nach verbleibendem / ausscheidendem Bestand.

Ausgangszustand 1999	Verbleibender Bestand				Ausscheidender Bestand		
	N/ha	G/ha	%	V/ha	N/ha	G/ha	V/ha
Buche	363	14,6	51	207			
Lärche	75	13,8	49	202			
Gesamt	438	28,4		409			
Variante I	N/ha	G/ha	%	V/ha	N/ha	G/ha	V/ha
Buche	319	10,8	44	146	44	3,8	61
Lärche	75	13,8	56	202			
Gesamt	394	24,6		348			61
Variante II	N/ha	G/ha	%	V/ha	N/ha	G/ha	V/ha
Buche	344	13,4	58	188	19	1,25	19
Lärche	50	9,6	42	136	25	4,25	66
Gesamt	394	23,0		324			85
Variante III	N/ha	G/ha	%	V/ha	N/ha	G/ha	V/ha
Buche	344	12,5	51	170	19	2,2	36
Lärche	63	11,8	49	173	13	2,1	29
Gesamt	407	24,3		343			65

Demnach wurden sowohl in Variante I (Förderung der Lärche) als auch in der waldbaulichen Praxisvariante (Variante III) mit 61 bzw. 65 fm/ha annähernd gleiche Durchforstungsmassen ausgezeichnet. Während jedoch in Variante I ausschließlich Buchen entnommen wurden, verteilt sich die Durchforstungsmasse der waldbaulichen Praxisvariante zu 55 % auf die Baumart Buche und zu 45 % auf die Baumart Lärche. Mit 85 fm/ha liegt der Durchforstungsansatz der Variante II (Förderung der Buche) 20 fm/ha über den Ansätzen der beiden anderen Varianten. Zurückzuführen ist dies auf die zusätzliche Entnahme einzelner Buchen zur Förderung anderer mitherschender / beherrschter Buchen. Im Vergleich zu praxisüblichen Durchforstungsstärken liegen die ausgezeichneten Durchforstungsansätze der Varianten I und III im Rahmen der regulären 10-jährigen Bestandesbehandlung vergleichbarer Mischbestände. Mit 85 fm/ha ist hingegen der geplante theoretische Durchforstungsansatz der Variante II als einmaliger Durchforstungseingriff im Jahrzehnt als zu hoch zu beurteilen. Darüber hinaus würde die deutliche Absenkung des Lärchenanteils auf annähernd 40 % einen in der Praxis nicht vertretbaren Wertverlust des Gesamtbestandes bedeuten.

In Ergänzung dazu verdeutlichen die Stammverteilungspläne in Abbildung 4-69 sowie die Durchmesserverteilungen des ausscheidenden Bestandes die unterschiedlich geführten Durchforstungseingriffe.

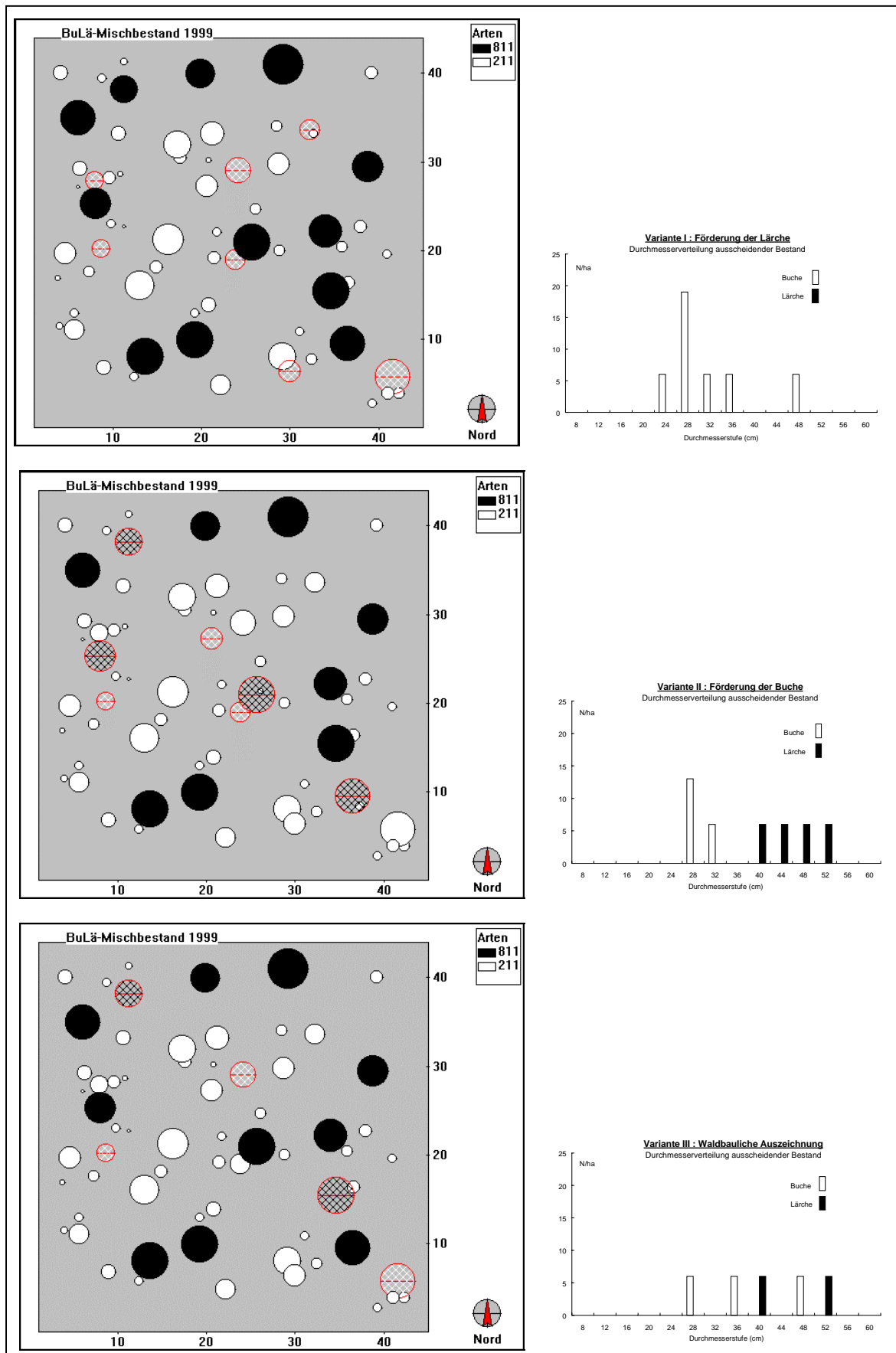


Abbildung 4-69: Stammverteilungspläne und Durchmesserverteilungen des ausscheidenden Bestandes getrennt nach Behandlungsvariante. (In den Stammverteilungsplänen sind die verbleibenden Buchen als weiße, die Lärchen als schwarze Kreise dargestellt. Der ausscheidende Bestand wird durch rote Kreise markiert.)

Um den Einfluss der unterschiedlich geführten Durchforstungseingriffe auf die Verschiebung der Nachbarschaftsverhältnisse zu analysieren, wurde der Programmbaustein „Fish-Plot“ verwendet. Der Programmbaustein ermöglicht es, die Beschattungssituation des Einzelbaumes getrennt nach Arten und Himmelsrichtungen zu analysieren. Für die vorliegende Modellstudie wurde die individuelle Beschattungssituation (Konkurrenzsituation) artenspezifisch vor bzw. nach dem jeweiligen Durchforstungseingriff analysiert. Das Ergebnis ist in Form von Säulendiagrammen, die die jeweiligen Anteile der beiden Baumarten Buche und Lärche an der Gesamtbeschattung repräsentieren, in Abbildung 4-70 dargestellt. Für die Bezugsbaumart Buche sind die Anteile der Bedeckung / Beschattung durch die Baumart Lärche in Form weißer Säulen, für die Bezugsbaumart Lärche die Anteile der Bedeckung / Beschattung durch die Baumart Buche in Form schwarzer Säulen dargestellt.

Die Ausgangssituation 1988 verdeutlicht, dass die individuellen Konkurrenzsituationen für die Baumart Buche vorrangig durch die Nachbarschaft zu Buche geprägt werden. Diese vorwiegend intraspezifische Konkurrenzsituation spiegelt sich in dem hohen Anteil (> 60 %) von Buchen wieder, die bis zu maximal 30 % von der Baumart Lärche beschattet werden. Umgekehrt ist der Anteil von Buchen, die zu 100 % von Lärche beschattet werden und damit ausschließlich interspezifischer Konkurrenz ausgesetzt sind, mit unter 5 % verschwindend gering. Für die Baumart Lärche stellt sich die Ausgangssituation hingegen umgekehrt dar. Hier dominieren zwischenartliche Konkurrenzsituationen. Mit einem Anteil von über 40 % sind für die Bezugsbaumart Lärche Bedeckungssituationen mit einem Anteil von 80 % Buche an der Gesamtbedeckung am verbreitetsten. Dies entspricht der waldbaulichen Ausgangssituation, wonach die Lärche dem Bestand überwiegend einzelstammweise beigemischt ist.

Die Förderung der Baumart Lärche gemäß Durchforstungsvariante I hat zur Folge, dass für die Bezugsbaumart Lärche der Anteil der Buche an der individuellen Beschattungssituation tendenziell geringer wird. Konkurrenzsituationen, in denen Lärchen ausschließlich von Buche beschattet werden, existieren nach dem Durchforstungseingriff nicht mehr. Hingegen nehmen Beschattungssituationen für die Bezugsbaumart Lärche mit einem vergleichsweise geringem Anteil von 30-40 % Buche deutlich zu. Noch deutlichere innerartliche Konkurrenzsituation bei der Baumart Lärche können jedoch aufgrund der waldbaulichen Ausgangssituation mit Hilfe der Durchforstung nicht „erzeugt“ werden. Im Fall der Baumart Buche lässt sich hingegen keine nennenswerte Veränderung der Konkurrenzsituationen im Vergleich zur Ausgangssituation beobachten.

Umgekehrt verschieben sich die Nachbarschaftsverhältnisse in Folge der Durchforstungsvariante II weitaus stärker. Mit der Zielsetzung, die Buche deutlich gegenüber der Lärche zu begünstigen, verschieben sich für die Bezugsbaumart Buche die Nachbarschaftsverhältnisse eindeutig in Richtung innerartlicher Konkurrenzsituationen. So steigt der Anteil von Bedeckungssituationen, an denen die Lärche zu lediglich 10 % beteiligt ist, auf annähernd 60 %, während umgekehrt Bedeckungssituationen mit ausschließlich Lärche nicht mehr existieren. Für die Lärche als Bezugsbaumart nimmt umgekehrt der Anteil stärker innerartlich geprägter Konkurrenzbeziehungen deutlich ab. Vielmehr dominieren zwischenartliche Konkurrenzbeziehungen, wobei die Baumart Buche zwischen 90 % bis 100 % an der jeweiligen individuellen Bedeckungssituation beteiligt ist. Im Vergleich zur Ausgangssituation wird ersichtlich, dass durch den Durchforstungseingriff die beiden Baumarten noch stärker voneinander isoliert wurden.

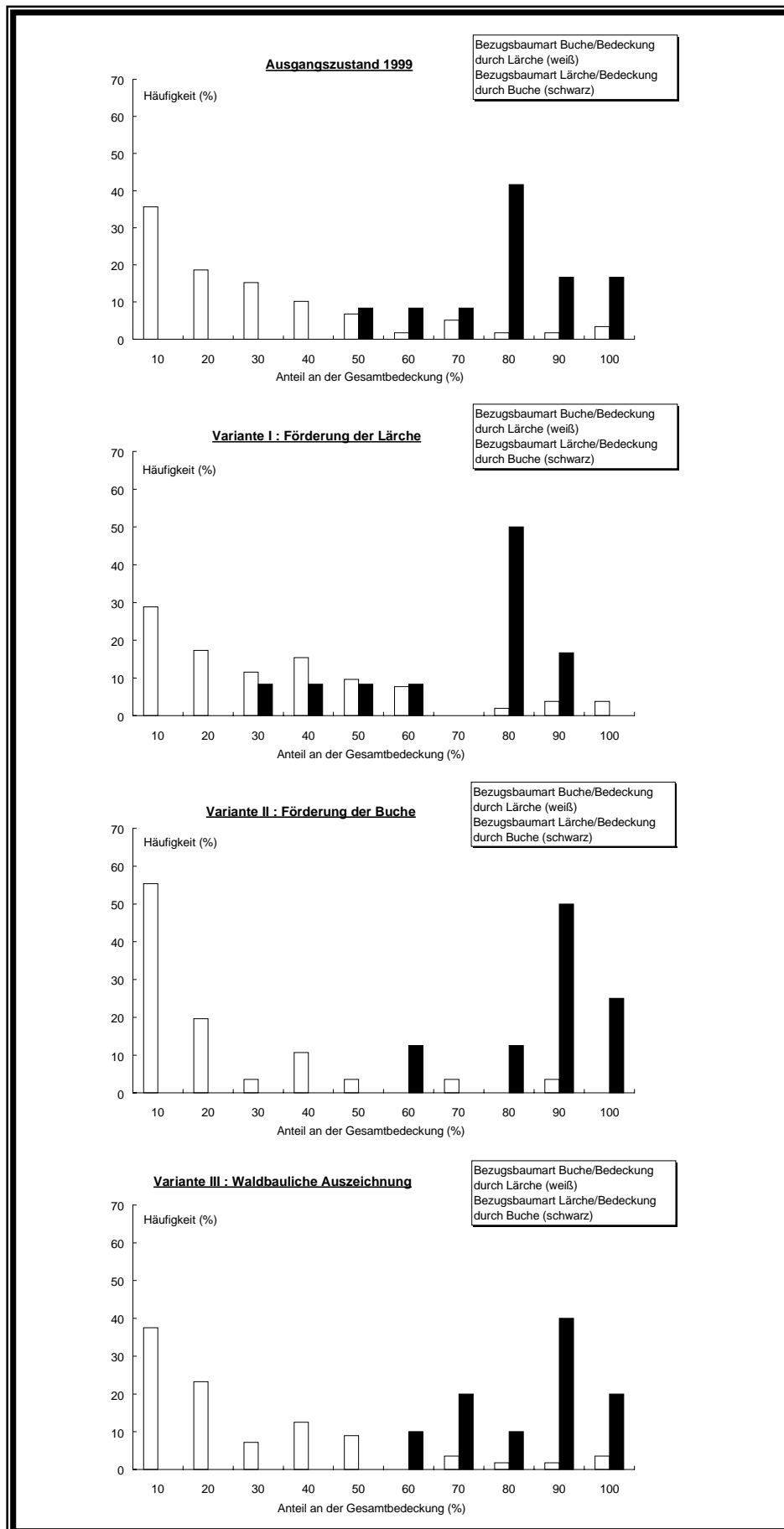


Abbildung 4-70: Entwicklung der Nachbarschaftsverhältnisse getrennt nach Buche und Lärche in Abhängigkeit von den Behandlungsvarianten.

Das Ergebnis der nach waldbaulichen Gesichtspunkten ausgezeichneten Praxisvariante lässt erkennen, dass sich die Konkurrenzverhältnisse zwischen der Ausgangssituation und dem Status nach dem Durchforstungseingriff nur unbedeutend verschoben haben. Für die Bezugsbaumart Buche bedeutet dies, dass auch nach der Durchforstung die Nachbarschaftsverhältnisse hauptsächlich durch innerartliche Konkurrenz geprägt werden, während umgekehrt im Fall der Bezugsbaumart Lärche zwischenartliche Konkurrenzsituationen dominieren.

5 Diskussion

Mit Einführung des Programms zur „Langfristigen ökologischen Waldentwicklung in den niedersächsischen Landesforsten“ (Nds. Landesforstverwaltung 1994) hat die Begründung und Pflege von Mischbeständen gegenüber der Reinbestandswirtschaft deutlich an Gewicht gewonnen. So wurde bereits durch die „Langfristige, ökologische Waldbauplanung“ von 1991 (OTTO 1991) planerisch festgelegt, langfristig auf rd. 88 % der Fläche der Niedersächsischen Landesforsten Mischbestände aus zwei oder mehr Baumarten zu entwickeln. Entsprechend diesem Ansatz steht auch im Rahmen der gegenwärtigen Aktualisierung der niedersächsischen Waldbauplanung die Begründung und Pflege von Mischbeständen im Mittelpunkt der konzeptionellen Überlegungen (Wollborn 1997, 2000, Janßen 2000).

Im Gegensatz zu anderen Mischungstypen, wie z. B. der Mischung aus Buche und Fichte, fällt der langfristig geplante flächenmäßige Anteil von Buchen-Lärchen-Mischbeständen mit knapp 5 % an der Gesamtbestockung der niedersächsischen Landesforsten vergleichsweise gering aus (OTTO 1991). Ähnlich zurückhaltend empfehlen die Grundsätze für den Waldbau im hessischen Staatswald die generelle Rücknahme des Lärchenanbaus aufgrund standorts- und pflegebedingter Waldschutz-Risiken (HESSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG 1997). Demgegenüber steht die immer wieder sowohl aus betriebswirtschaftlichen Gründen als auch zur Senkung des Produktionsrisikos erhobene Forderung, ein möglichst breites, den standörtlichen Verhältnissen angepasstes Spektrum von Baumarten zu bewirtschaften und dadurch die langfristige Marktflexibilität des Forstbetriebes sicherzustellen. (SPEIDEL 1967, JANßEN 1999).

Bis in die Gegenwart hinein wird der flächenmäßige Anteil der Lärche am Waldaufbau kontrovers diskutiert (KREMSER u. OTTO 1973, BECK 1988, OTTO 1991, MÜLLER-USING 1987, HERING 1995, v. LÜPKE, 1996). Eine rein betriebswirtschaftliche Analyse des Mischungstyps Buche-Lärche führt je nach aktuellen Kosten- und Ertragsverhältnissen zwangsläufig zu unterschiedlichen Bewertungen. So kommt Beck (1988) zu dem Ergebnis, dass aufgrund der schlechten Absatzverhältnisse der Lärche und der gleichzeitig guten Preise für die Buche der Mischbestand gegenüber dem Buchenreinbestand keinen ökonomischen Vorteil hat. Aufgrund der aktuellen Holzerlöse für die Baumart Buche sowie der unproblematischen Vermarktung von Lärchenholz auch schwächerer Dimensionen errechnet sich hingegen derzeit ein klarer ökonomischer Vorteil des Mischbestandstyps. Geästetes, starkes und damit furnierfähiges Lärchenholz lässt eine denkbar hohe Wertschöpfung erwarten, vergrößert das Angebot und die Marktflexibilität des Forstbetriebes und senkt gleichzeitig das Betriebsrisiko gegenüber Buchenreinbeständen.

Die derzeit überaus guten Absatzverhältnisse der Lärche lassen sich mit der „Wiederentdeckung“ ihrer herausragenden Holzeigenschaften begründen (SACHSSE 1979, TSCHERMAK 1935). Nach HERZOG (1999) zählt das Holz der Lärche zu den witterungsbeständigsten und dauerhaftesten heimischen Hölzern. Lärchenholz findet seine Verwendung vor allem im Außenbereich, wie bei Wasser-, Brücken-, Boots- und Waggonbauten. Darüber hinaus wird sich der Einsatzbereich durch die Abkehr von chemischen Holzschutzmitteln künftig auch im konstruktiven Holzbau deutlich erweitern (HERZOG 1999). Im Vergleich zur Kiefer neigt die Lärche zu stärkerer Verkernung, ihr gelblicher Splint wird zudem nicht vom Bläuepilz befallen. Von großer Bedeutung ist der vergleichsweise hohe Harzgehalt des Lärchenholzes, der ihm hohe Dauerhaftigkeit verleiht. Insbesondere im Außenverbau (z. B. Fassadenverkleidungen) hat daher Lärchenholz in jüngster Zeit eine ausgesprochene „Renaissance“ erfahren. Schließlich wird Lärchenholz in Schneide- und Furnierqualität aufgrund der Farbe und dekorativen Struktur für den Innenausbau und die Möbelherstellung geschätzt.

5.1 Leistung und Struktur von Buchen-Lärchen-Mischbeständen unter dem Einfluss von Standort und Konkurrenz

Im Zusammenhang mit der Baumart Lärche sehen die langfristigen waldbaulichen Zielvorstellungen die Entwicklung von annähernd gleichaltrigen Buchen-Lärchen-Mischbeständen mit führender Buche bzw. die Entwicklung von Lärchen-Buchen-Mischbeständen mit führender Lärche und nachangebauter jüngerer Buche im Unter- und Zwischenstand vor (siehe dazu auch Kapitel 1.2).

Standort

Sowohl die Wasserversorgung als auch der Wärmehaushalt lassen aus standörtlicher Sicht den Anbau beider Baumarten im Wuchsbezirk „Unterer Solling“ zu. Es muss jedoch beachtet werden, dass die Buche in ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet eindeutige Konkurrenzvorteile gegenüber der Lichtbaumart Lärche hat. So ordnet ELLENBERG (1986) die Klimabedürfnisse der Europäischen Lärche eher dem subkontinentalen Bereich zu. Vergleicht man die regionalen Klimadaten des Wuchsbezirks Unterer Solling mit denen des von SCHOBER (1981, 1985) empfohlenen Herkunftsgebietes Sudeten, fällt hingegen eine sommerkühlere und niederschlagsreichere, insgesamt atlantischere Klimatönung auf, die die Lärche in allen Wuchsbezirken des Sollings generell benachteiligt.

MÜLLER-USING (1995) betont, dass ausgehend von den standörtlichen Verhältnissen im südniedersächsischen Bergland, die richtige Wahl der Höhenlage sowie der Exposition die wesentlichen Voraussetzungen einer gelungenen, spannungsfreien Mischung aus Buche und Lärche sind. Für den Anbau der Europäischen Lärche empfiehlt er daher solche Lokalklimate, die ihren Ansprüchen entgegenkommen und für die Buche suboptimal sind, um dadurch die Wuchsüberlegenheit der Buche zu bremsen. In Anlehnung an die Erfahrungen von SCHOBER (1949) wird empfohlen, den Anbau der kontinental geprägten Baumart Lärche auf süd- bis südwestexponierte Ober- bis Mittelhanglagen zu konzentrieren. Sowohl höhere Lagen ab etwa 400-500 m über NN als auch Mulden- und Tallagen mit geringer Luftbewegung sind hingegen als Anbauflächen zu vermeiden, um dadurch den Standortsansprüchen der Europäischen Lärche entgegenzukommen, das Risiko von Lärchenkrebs zu senken und gleichzeitig die Konkurrenzsituation gegenüber der Buche zu entschärfen.

Massen- und Wertleistung

Die Leistung von Buchen-Lärchen-Mischbeständen wird in der Literatur je nach Bestandaufbau unterschiedlich beurteilt. **Ungleichaltrige Buchen-Lärchen-Mischbestände** werden von ASSMANN (1961) und SCHOBER (1949) sowohl hinsichtlich ihrer Massen- als auch ihrer Wertleistung gegenüber dem Reinbestand als überlegen eingestuft. Nach BURGER (1941) ist der Mischbestand dem reinen Schattholzbestand in der Trockenstoffleistung um 18 % überlegen. Aus ertragskundlicher Sicht ist es von besonderer Bedeutung, dass ungleichaltrige Lärchen-Buchen-Mischbestände durch eine zweite, i. d. R. voll produzierende, Bestandeschicht das vorhandene Standortpotential weitaus besser ausschöpfen und damit additiven Zuwachs gegenüber nicht unterbauten Lärchenreinbeständen leisten (LEIBUNDGUT 1992). Vergleichende ertragskundliche Untersuchungen zwischen einem 155-jährigen Lärchenbestand mit 95-jähriger Buche im Unter- und Zwischenstand und einem 149-jährigen, gleichaltrigen Buchen-Lärchen-Mischbestand bestätigen diese Ergebnisse (GUERICKE 1999a). So wurde für den gleichaltrigen Buchen-Lärchen-Mischbestand ein Vorrat von 488 fm/ha, für den ungleichaltrigen Lärchen-Buchen-Mischbestand hingegen ein Bestandesvorrat von

730 fm/ha ermittelt. Der enorme Bestandesvorrat ist dabei primär auf den 95-jährigen Buchenanteil des Mischbestandes zurückzuführen, der unter dem Schirm des Lärchenalt-holzes einen zusätzlichen Bestandesvorrat von annähernd 400 fm/ha akkumuliert hat.

Der **gleichaltrige Mischbestand** aus Buche und Lärche ist gegenüber dem reinen Buchenbestand in seiner Massen- und Wertleistung überlegen (WIMMENAUER 1941, ASSMANN 1961, BURGER 1941, SCHOBER 1952, DIPPEL 1988, LEIBUNDGUT 1992). Gegenüber dem geschlossenen Lärchenreinbestand lässt sich hingegen keine eindeutige Vorratsüberlegenheit feststellen (SCHOBER 1949). Als nachteilig betont SCHOBER (1949), dass der Vorrat des wertvollen Lärchenholzes im Mischbestand im Durchschnitt nur etwa 44 % des Lärchenreinbestandes erreicht.

Auch im Rahmen dieser Untersuchungen konnte die außerordentlich hohe Massenleistung gleichaltriger Buchen-Lärchen-Mischbeständen aufgezeigt werden (siehe Kapitel 4.1.2.3). Es wurde festgestellt, dass über das gesamte aufgenommene Altersspektrum hinweg die Bestandesvorräte der Buche für sich genommen nahezu dem Ertragstafelniveau entsprechen. In Ergänzung dazu leistet die Baumart Lärche bei einem durchschnittlichen grundflächenbezogenen Mischungsanteil von rd. 30 % einen zusätzlichen additiven Bestandesvorrat zwischen 100 Vfm/ha und 200 Vfm/ha. Absolut betrachtet akkumulieren sich die Bestandesvorräte bis zum Alter 153 auf annähernd 700 Vfm/ha. Im Vergleich dazu wurde von BIBER (1996) in einem 127-jährigen Buchen-Fichten-Mischbestand im Wuchsbezirk „Unterer Solling“ ein Bestandesvorrat von lediglich rd. 570 Vfm/ha ermittelt.

Struktur

Untersuchungen über die Bestandesstruktur speziell von Mischbeständen gewinnen zunehmend an Bedeutung im Zusammenhang mit der Beurteilung von Baumartenkombinationen und Waldaufbauformen (NAGEL 1994b, FÜLDNER 1995a, 1995b, DUCHIRON 2000). So empfehlen v. GADOW (1993) sowie ALBERT u. v. GADOW (1998) auch im Rahmen der Forsteinrichtung Bestandesstrukturen detailliert mit zu erfassen und damit als Element bzw. Indikator in die waldbauliche Entscheidungsfindung mit zu implementieren. ALBERT (1999) betont in diesem Zusammenhang die Bedeutung quantitativer Kennwerte zur Beschreibung der Bestandesstruktur in Mischwäldern. Er weist darauf hin, dass sowohl die Beurteilung waldbaulicher Handlungsalternativen als auch Aussagen über eingriffsbedingte Strukturveränderungen nur auf Grundlage objektiv messbarer Strukturwerte zulässig sind und abgesichert werden können.

Die Untersuchung der Bestandesstruktur in Buchen-Lärchen-Mischbeständen konzentrierte sich auf die Erfassung und Beschreibung der Horizontal- und Vertikalstruktur und ihre Veränderung mit dem Alter der Bestände. Die Horizontalstruktur wurde in diesem Zusammenhang mit Hilfe des Aggregations- und Segregationsindex beschrieben. Die Interpretation der Ergebnisse weist darauf hin, dass die Bestandesbegründung und -pflege über den gesamten Zeitraum der Bestandesentwicklung bis zum Alter 160 aufgrund des langfristig abstandsregulierenden Charakters einen nachweisbaren Einfluss auf die Horizontalstruktur hat. Aufgrund der engen Umfütterung der Lärchen durch Buche im Zwischen- und Unterstand kommt es auch mit zunehmendem Alter zu keiner Entmischung zwischen den beiden Baumarten. Für die Baumart Lärche lässt sich jedoch im Gegensatz zu den Ergebnissen von PRETZSCH (1993, 1995a) über die gesamte Altersentwicklung hinweg keine einheitliche Tendenz zur Klumpung bzw. Regelmäßigkeit feststellen. Vergleichbar mit diesen Ergebnissen wurde von BIBER (1996) in einer ähnlich aufgebauten Zeitreihe gleichaltriger Buchen-Fichten-Mischbeständen im Wuchsbezirk „Unterer Solling“ für die Baumart Buche

gleichermaßen die Tendenz zur regelmäßigen Verteilung mit zunehmendem Alter nachgewiesen. Im Gegensatz zur eingemischten Lärche ist jedoch die Horizontalverteilung der Fichtenmischungsanteile in der Buchen-Fichten-Mischbestandswuchsreihe „Solling“ über die gesamte Bestandesentwicklung hinweg durch die deutliche Tendenz zur „Klumpung“ charakterisiert.

Zur Erfassung der Vertikalstruktur wurde der Artprofilindex verwendet (PRETZSCH 1997). Mit Hilfe der aufgenommenen Zeitreihe konnte dabei festgestellt werden, dass die Veränderungen der Vertikalstruktur im Laufe der Bestandesentwicklung durch die unterschiedliche Wuchsdynamik der beiden Baumarten verursacht werden. In diesem Zusammenhang wird es als kritisch beurteilt, dass für die eindeutige Interpretation des Index zusätzliche Informationen über die jeweiligen Artenanteile erforderlich sind.

Im Zusammenhang mit der Beschreibung der Horizontalstruktur ist hingegen kritisch anzumerken, dass die verwendeten Indizes die Verteilungsstruktur der betrachteten Bäume zu einem einzigen Wert zusammenfassen. Bei einer Vollaufnahme des Bestandes charakterisieren somit die Indizes die räumliche Verteilung aller Bäume, ohne differenziertere Aussagen über kleinräumige Unterschiede in der Bestandesstruktur zu liefern. Zu einer ähnlichen Beurteilung kommen GLEICHMAR u. GEROLD (1998) im Rahmen eines Vergleiches verschiedener Strukturkennziffern in einem plenterartig aufgebauten Buchenbestand. Werden hingegen die Indizes auf Teilflächen im Rahmen von Stichprobeninventuren analysiert, können ggf. aus der Variation der Parameterwerte zwischen den Stichprobenpunkten erste Aufschlüsse über kleinräumige Strukturunterschiede herausgearbeitet werden (POMMERENING u. v. GADOW 2000).

Konkurrenz

Die unterschiedlichen Konkurrenzsituationen konnten mit Hilfe des weiterentwickelten Beschattungsindex FKI (BIBER 1996) erfasst und biologisch plausibel interpretiert werden. Sowohl die artspezifische Gewichtung der Konkurrenzwirkung auf den Kreisflächenzuwachs als auch der Einfluss von Konkurrenz aus unterschiedlichen Himmelsrichtungen ließen dabei eindeutige Konkurrenzvorteile der Schattbaumart Buche gegenüber der Lichtbaumart Lärche erkennen. Wie von SCHÜTZ (1999) gefordert, konnte darüber hinaus mit Hilfe des Konkurrenzindex FKI der inner- wie zwischenartliche Konkurrenzeinfluss auch numerisch quantifiziert werden. So verdeutlicht das Verhältnis der Gewichtungsfaktoren, dass sich die Konkurrenzrelationen zwischen Buche und Lärche bezogen auf den Einfluss auf den Kreisflächenzuwachs ca. 3 : 1 verhalten. Damit werden die bekannten ökologischen Unterschiede zwischen Licht- und Schattbaumarten bestätigt. Im Vergleich dazu wurden von BIBER (1996) die Konkurrenzrelationen zwischen Buche und Fichte im Mischbestand mit 0,8 : 1 quantifiziert, wobei er dies darauf zurückführt, dass die immergrüne Fichte in der Nachbarschaft zu Buchen vor deren Laubaustrieb bereits höheren Strahlungsgenuss erfährt und dies auch in Kreisflächenzuwachs umsetzen kann.

Hinsichtlich der Wirkung der Beschattung auf den Kreisflächenzuwachs in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung konnte festgestellt werden, dass die Schattbaumart Buche weitaus unempfindlicher reagiert, während die Baumart Lärche, biologisch plausibel, am deutlichsten auf die Beschattung in OSO- bis WSW-licher Richtung, d. h. auf sonnenseitige Konkurrenz, mit reduzierten Kreisflächenzuwachsen reagiert. Vergleichsweise unempfindlich gegenüber Beschattung reagiert die Baumart Buche auch in Buchen-Fichten-Mischbeständen. Im Gegensatz zu Buchen-Lärchen-Mischbeständen beobachtet jedoch BIBER (1996), dass die Buche in

Mischung mit Fichte ein Maximum der Konkurrenzempfindlichkeit in SSO-bis WSW-licher Richtung zeigt.

Von besonderer waldbaulicher Relevanz sind diese Ergebnisse hinsichtlich der Mischungsform der Lärchenanteile in gleichaltrigen Buchen-Lärchen-Mischbeständen. Die Frage der Mischungsform wird bereits von DIPPEL (1988) eingehend diskutiert. Er stellt heraus, dass sich die „optimale Mischungsform“ der Lärchenanteile in Buchenbeständen aus den standörtlichen Verhältnissen, der Altersrelation zwischen Buchen und Lärchen zum Zeitpunkt der Einbringung sowie den Ansprüchen an die Holzqualität der Lärchen ableitet.

Die waldbaulichen Probleme, die sich aus der Steuerung der Konkurrenzverhältnisse zwischen Buche und Lärche ergeben, werden durch die unterschiedliche Wuchsdynamik der beiden Baumarten verursacht. So wird aufgrund ihrer Vorwüchsigkeit gegenüber den Buchen die Konkurrenzsituation der Lärchen in der Jugend stark durch intraspezifische Konkurrenz, mit fortschreitendem Bestandesalter hingegen durch zunehmend interspezifische Konkurrenz geprägt. Einzelne Lärchen sind daher in der Jugend einem geringeren Konkurrenzdruck ausgesetzt, als dies für Lärchen in gruppen- oder horstweiser Einmischung der Fall ist. Die entspanntere Konkurrenzsituation gewährleistet in diesem Fall, dass die Lärchen ausreichend große Kronen ausbilden und in Folge die gewünschte Durchmesserleistung zeigen, andererseits fördert sie die Grobästigkeit und beeinträchtigt die natürliche Astreinigung. Im Verhältnis zwischen Buchen und Lärchen verschärft sich die Konkurrenzsituation in jüngerem Alter je optimaler die Standorte für die Buche sind und/oder je später die Lärchenbeimischung erfolgt. Mit zunehmendem Alter nimmt dagegen die Konkurrenzstärke der Buche automatisch zu, da die Höhendifferenz zwischen beiden Baumarten kontinuierlich abnimmt und die Buchenkronen weitaus plastischer sind. In der Praxis gilt es hiernach einen Kompromiss zu finden, der einerseits ausreichende Kronendimensionen der Lärchen sicherstellt, andererseits die natürliche Astreinigung, geringe Aststärken sowie eine gewisse Reservehaltung gewährleistet.

ZIMMERMANN (1985) befürwortet die gruppen- bis horstweise Mischung, bei mattwüchsiger Buche auch die truppweise Einmischung der Lärche. OTTO (1985) spricht sich hingegen für die trupp- bis gruppenweise Mischung der Lärchenanteile in Buche aus. Aufgrund der dargestellten deutlichen Konkurrenzwirkung der Buchen sowohl auf den Kreisflächenzuwachs (siehe Kapitel 4.4.3.3) als auch auf die Ausformung und Dynamik der Kronenbreitenentwicklung der Lärchen (siehe Kapitel 4.4.2.3) werden ausschließlich gruppen- bis horstweise Mischungsformen empfohlen. Einzelbaummischungen sind hingegen aufgrund der Konkurrenzrelationen zur Buche zu vermeiden. Darüber hinaus gilt es, durch frühzeitig einsetzende Läuterungen und rechtzeitige Durchforstungen innerhalb der Lärchenteilflächen Gruppen rechtzeitig aufzulösen und durch stete Kronenfreiheit für ausreichende Kronendimensionen der Lärchen zu sorgen (SCHÖBER 1981).

5.2 Qualitätsentwicklung und Kronenparameter im Mischbestand

Die Ergebnisse der Analyse der verbalen Stamm- und Kronenansprache verdeutlichen einerseits die methodischen Probleme im Zusammenhang mit der Aufnahme und Auswertung der umfangreichen, überwiegend nicht numerischen Datensätze. Andererseits zeigt sich, dass die Auswertung dieser zusätzlichen Informationen weitere Einblicke in den strukturellen Aufbau und die Entwicklungsdynamik von Buchen-Lärchen-Mischbeständen ermöglicht. Darüber hinaus werden Auswirkungen des Mischungsspezifischen Konkurrenzverhältnisses zwischen Buche und Lärche erkennbar. Weitere waldbauliche Aussagen lassen sich aus dem ermittelten

Umfang „potentieller Ausleseebäume“ als Entwicklungspotential für vergleichbare Buchen-Lärchen-Mischbestände ableiten.

Soziale Stellung

Die Ergebnisse spiegeln deutlich die Differenzierungsprozesse innerhalb des Buchenkollektivs im Laufe der Bestandesentwicklung wieder. Insbesondere in der Übergangsphase zwischen Stangenholz- und geringem Baumholzaltes lässt sich eine ausgeprägte Tendenz zur vertikalen Entmischung in ein herrschendes und ein unterdrücktes Buchenkollektiv beobachten. Parallel dazu reduziert sich der ohnehin vergleichsweise geringe Anteil zurückbleibender, aber schirmfreier Buchen. Beide Entwicklungstendenzen verdeutlichen die Eigenschaft der Schattbaumart Buche zur Ausprägung eines stufigen Bestandaufbaus. Im Gegensatz dazu dokumentiert die Ansprache der sozialen Stellung der beigemischten Lärche erwartungsgemäß, dass sie als Lichtbaumart nur im herrschenden Bestandeskollektiv vertreten ist.

Schaftqualität

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass es sich insbesondere bei den Qualitätsmerkmalen, mit denen die Stammform beurteilt wird, um bestandes- bzw. einzelbaumspezifische Merkmale handelt, deren Ursprung und Ausprägung stark genetisch bestimmt sind (RICHTER 1999, KLEINSCHMIT u. SVOLBA 1996). Dementsprechend eng kann der Rahmen sein, in dem sich, ausgehend von der jeweiligen Qualitätsstruktur des Ausgangsbestandes, die qualitative Zusammensetzung eines Bestandes durch intensive waldbauliche Bestandespflege beeinflussen lässt (WIEDEMANN 1951).

Kronenansprache

Der mit fortschreitender Bestandesentwicklung überproportional steigende Anteil einseitig ausgebildeter Lärchenkronen deutet auf die zunehmende Dominanz der Buche im Kronenraum hin. Indirekt lässt sich daraus die offensichtlich überlegene Konkurrenzstärke der Buchenkronen gegenüber der Kronenentwicklung der Lichtbaumart Lärche ableiten. Darüber hinaus weist der für beide Baumarten zu beobachtende hohe Anteil einseitig ausgebildeter, asymmetrischer Kronen darauf hin, dass kreisrunde Rotationskörper als Kronenformmodelle die individuellen Nachbarschaftsverhältnisse im dreidimensionalen Kronenraum stark vereinfacht abbilden. Die deutliche Abnahme gut ausgebildeter Lärchenkronen bereits ab dem geringen Baumholzaltes muss unter waldbaulichen Gesichtspunkten als kritisch beurteilt werden, da die Förderung und Pflege der Lärchenkronen im Buchengrundbestand im Mittelpunkt zielgerichteter Bestandespflege stehen sollte.

Umfang und Verteilung „potentieller Ausleseebäume“

Maßstab für die Bestandesqualität im engeren Sinn ist das Potential an qualitativ besseren, förderungswürdigen Bäumen in den einzelnen Entwicklungsphasen eines Bestandes. Im Falle der untersuchten Buchen-Lärchen-Mischbestände zeigt die Analyse der Stammansprachen, dass bis ins mittlere Baumholzaltes hinein eine ausreichend hohe Anzahl „potentieller Ausleseebäume“ mit weitgehender Fehlerfreiheit und ausbaufähigen Kronen vorhanden ist, die theoretisch herausgepflegt werden könnten.

Die verbreiteten „klassischen“ waldbaulichen Zielvorstellungen gehen von 200 bis max. 400 Ausleseebäumen/ha in der Stangenholzphase aus, deren Anzahl in der Baumholzphase auf 120 bis 160 Buchen/ha abnimmt (FLEDER 1987, NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG 1980, PETRI

1987). Neuere waldbauliche Konzepte sehen hingegen vor, bereits nach Abschluss einer „Qualifizierungsphase“, die bei einer grünastfreien Stammlänge von 25 % der standortsabhängigen „Endhöhe“ erreicht ist, alle weiteren Pflegeeingriffe auf lediglich 70 bis 100 Buchen/ha zu konzentrieren (WILHELM et al. 1999a, b, EBERT 1999).

Im Sinne einer zielgerichteten Bestandespflege verschieben sich dabei im Laufe der Bestandesentwicklung die Mischungsverhältnisse zwischen Buche und Lärche zunehmend zugunsten der Lärche. In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass der waldbaulich angestrebte 20-30 %ige Mischungsanteil der Lärche im Waldentwicklungstyp Buche-Lärche (WET 28) ohne Zugeständnisse an die Einzelbaumqualität der Lärchen problemlos erreicht wird. Die steigende Wertleistung der untersuchten Buchen-Lärchen-Mischbestände mit zunehmendem Alter ist demnach in erster Linie auf die Verschiebung der Mischungsanteile zugunsten der Lärche zurückzuführen.

Als weiteres wertbestimmendes Merkmal wurden die astreinen Schaftlängen der potentiellen Auslesebäume ermittelt. Nach FLEDER (1987) hat die Buchenwirtschaft auf besseren Standorten in Süddeutschland zum Ziel, 10 bis 15 m lange, äußerlich astfreie und hinreichend gerade Stämme mit Mittendurchmessern von 40-70 cm zu produzieren. Die niedersächsischen Entscheidungshilfen zur Behandlung und Entwicklung von Buchenbeständen (NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG 1980, 1997) enthalten als Zielvorgabe das Erreichen von 6-9 m astfreier und gerader Stammlänge. Die potentiell besseren Buchen in den aufgenommenen Buchen-Lärchen-Mischbeständen im Solling entsprechen diesen Zielvorgaben. Für die unterschiedlich hoch geästeten Lärchen errechnet sich am Beispiel des erntereifen Modellbaumes (Zielstärke 70 cm BHD) eine mittlere astreine Schaftlänge von 12 m Länge. Sie lassen damit eine gleichermaßen hohe Wertschöpfung erwarten.

Überschirmung

Im Vergleich zu den Untersuchungen von NÜBLEIN (1995), der in unterschiedlich alten, länger undurchforsteten Buchen-Edellaubholzmischbeständen überschirmte Flächenanteile zwischen 90 % und 95 % ermittelte, ist die Gesamtüberschirmung in den aufgenommenen Buchen-Lärchen-Mischbeständen um 15 % bis 20 % geringer. BADOUX (1939) errechnete für hochdurchforstete reine Buchenbestände ebenfalls Überschirmungsgrade bis zu 96 %. Die vergleichsweise geringe Überschirmung der aufgenommenen Bestände von durchschnittlich nur 76 % begründet sich in den jüngsten Durchforstungsmaßnahmen und entspricht damit der Überschirmungssituation durchschnittlich gepflegter Buchen-Lärchen-Mischbestände. Im Vergleich dazu wurde von WIEDEMANN (1932 zit. n. MITSCHERLICH 1970) im Durchforstungsversuch Johannsburg 62 (starke Hdf.) ein Überschirmungsgrad von 80 % in einem reinen Buchenbestand beobachtet.

Die Entwicklung der Häufigkeiten der Überschirmung zeigt, ähnlich den Untersuchungen von NÜBLEIN (1995), dass mit zunehmendem Alter der Buchen-Lärchen-Mischbestände der Anteil drei- und mehrfach überschirmter Fläche kontinuierlich von durchschnittlich 10 % in der Stangenholzphase bis auf weniger als 4 % im starken Baumholzalter abnimmt. Der Anteil zweifach überschirmter Fläche schwankt hingegen über die gesamte Bestandesentwicklung hinweg zwischen 15 % und 35 %, wobei dies insbesondere auf die hohe Vertikalstruktur der aufgenommenen Buchen-Lärchen-Mischbestände zurückgeführt wird (siehe dazu auch die Kronenprojektionen in der Anlage 3).

Kronenausformung

Im Vergleich zu den Voruntersuchungen (siehe Kapitel 4.2.1) zeigen die Buchen in den aufgenommenen Buchen-Lärchen-Mischbeständen eine ähnliche Kronenausformung wie die Buchen im Durchforstungsversuch Dillenburg Abt. 33. Es konnte beobachtet werden, dass die Buchen in den unterschiedlich stark durchforsteten Behandlungsvarianten ihre stärkste Kronenausprägung in süd-, südwestlicher bis westlicher Richtung entwickeln. Die gleiche Tendenz zeigen die herrschenden Buchen in den aufgenommenen Mischbeständen.

Im Gegensatz dazu widersprechen sich im Fall der Baumart Lärche die Ergebnisse der Voruntersuchungen mit den Beobachtungen an den Lärchen im Mischbestand. So weisen die Kronen der Japanlärchen auf der Versuchsfläche Bederkesa (siehe Kapitel 4.2.2) eine stärkere Ausprägung in nördlicher bis südöstlicher Richtung auf. Ursächlich wird dies auf die (west-)windexponierte Lage des Lärchenreinbestandes zurückgeführt. Im Gegensatz dazu sind die Lärchenkronen in den aufgenommenen Mischbeständen, ähnlich wie bei der Buche, in süd- bis südwestlicher Richtung stärker ausgeformt. Das Ergebnis wird dahingehend interpretiert, dass im Fall gleichmäßiger, abstandsregulierender Durchforstungseingriffe beide Baumarten ihr Verzweigungssystem und damit ihre assimilierende Blattoberfläche bevorzugt in Richtung der Hauptsonneneinstrahlung ausrichten.

Vergleichbare Untersuchungen zur richtungsspezifischen Kronenausformung wurden von VORREYER (1997) in unterschiedlich alten Buchen-Douglasien-Mischbeständen durchgeführt. Er kommt zu dem Ergebnis, dass sowohl die Buchen der Oberschicht als auch die der Mittelschicht mehr oder weniger stark asymmetrische Kronen ausbilden. Im Gegensatz zu den Beobachtungen dieser Untersuchung stellt VORREYER (1997) jedoch fest, dass die Buchenkronen am stärksten in östlicher bis südöstlicher Richtung ausgebildet sind. Er betont jedoch, dass die Ausformung der Buchenkronen aufgrund der exponierten Lage der einzelnen Versuchsflächen insbesondere durch den Faktor Wind beeinflusst wird.

Zahlreiche Untersuchungen weisen darauf hin, dass sich richtungsspezifische Kronenausformungen primär auf unmittelbare Umgebungskonkurrenz zurückführen lassen (MITSCHERLICH 1970, DIPPEL 1988). Auch die detaillierten Untersuchungen von PETRI (1966) in Fichten-Buchen-Mischbeständen belegen, dass sich Kronen am stärksten in die Richtung ausdehnen, in der der geringste Konkurrenzdruck durch Nachbarkronen herrscht. „Die Krone ist damit nicht nur schlechthin exzentrisch, sondern weist eine in eine bestimmte, gesuchte Richtung ausgeprägte und damit messbar gewordene Kronenexpansion auf“ (PETRI 1966).

Kronendurchmesser und Kronenbreitenveränderungen

Die Ergebnisse bestätigen die bekannte straffe funktionale Beziehung zwischen BHD und Kronendurchmesser (SPIECKER 1991, HILLEBRAND 1998, EULE 1959, FARR et al. 1989, GOELZ 1996, LAROCQUE u. MARSHALL 1994a, b, UTSCHIG 1999 u. 2000, EBERT u. RIEGER 2000). Im Vergleich zu den aktuellen Untersuchungen von UTSCHIG (1999) zur Entwicklung von Dimensionsgrößen der Buche auf bayerischen Versuchsflächen lässt sich eine hohe Übereinstimmung hinsichtlich der Beziehung zwischen BHD und Kronendurchmesser feststellen. So beobachtet UTSCHIG (1999) bei einem BHD von 60 cm Maximalwerte des Kronendurchmessers von 13 m. Dieser maximale Kronendurchmesser konnte auch an den Buchen in den aufgenommenen Mischbeständen gemessen werden (siehe Abbildung 4-27). Vergleichbar mit den Ergebnissen von UTSCHIG (1999) streuen jedoch die Kronendurchmesser bei gleichem

BHD in beträchtlichem Maße. Dies deutet einerseits darauf hin, dass die Standraumökonomie von Einzelbäumen sehr unterschiedlich sein kann, andererseits wird die Streuung der Kronendurchmesser über gleichem BHD auf die individuellen Konkurrenzsituationen der Buchenkronen zurückgeführt. Sie spiegeln sich in den aktuellen Kronendimensionen weitaus stärker wieder als in der akkumulierten Größe des BHD. Somit hat der generelle Pflegezustand und damit auch indirekt die jüngere Bestandesgeschichte einen wesentlichen Einfluss auf die Dimension der Kronenbreiten. Bei der Parametrisierung von repräsentativen Kronenbreitenfunktionen ist es daher von Bedeutung, dass die Datenerfassung in, entsprechend der baumartenspezifischen Entwicklungsdynamik, ausreichend gepflegten Beständen erfolgt.

Darüber hinaus weisen die Ergebnisse darauf hin, dass es nicht unerheblich ist, ob das Datenmaterial für die Parametrisierung von Kronenbreitenfunktionen in Rein- oder Mischbeständen erhoben wurde. So prognostiziert bspw. die aus den Mischbestandsdaten hergeleitete Kronenbreitenfunktion für die Baumart Lärche vergleichsweise geringere Kronenbreiten als die identische Funktion, die primär mit Hilfe von Datensätzen aus Reinbeständen ermittelt wurde (NAGEL 1999). Dieser Umstand wird auf die spezifischen Konkurrenzverhältnisse zugunsten der Schattbaumart Buche zurückgeführt, die die Kronenbreitenentwicklung der Lichtbaumart Lärche in gleichaltrigen Buchen-Lärchen-Mischbeständen offensichtlich a priori einschränkt.

Die bei beiden Baumarten festgestellten Kronenbreitenveränderungen entsprechen in ihrer absoluten Größenordnung von +/- 40 cm Radienzuwachs je Jahr den Ergebnissen, die im Rahmen der Voruntersuchungen an unabhängigem Datenmaterial ermittelt werden konnten. Indirekt wird damit das Ergebnis der rechnerischen Kronentransformation abgesichert (siehe Kapitel 3.3). Darüber hinaus decken sie sich mit den Ergebnissen, die von BARTSCH (1999), KAHLE et al. (1997) und MEYER (1998) in Buchenbeständen beobachtet wurden.

Im Zusammenhang mit Untersuchungen zur Lückendynamik amerikanischer Buchenwälder wurden von RUNKLE u. YETTER (1987) an *Fagus grandifolia* horizontale Kronenbreitenveränderungen von durchschnittlich 17 cm/Jahr (maximal 47 cm/Jahr) gemessen. RUNKLE u. YETTER (1987) weisen zudem auf negative „Wachstumsraten“ hin, die sie auf mechanische Einwirkungen oder das Absterben von Asttrieben zurückführen. Vergleichsweise geringere horizontale Kronenbreitenzuwächse von maximal 20 cm/Jahr wurden hingegen von PRETZSCH (1992d) an Buchen in Mischung mit Fichte beobachtet. Diese geringen Zuwächse werden einerseits auf die Aufnahmemethodik mit Hilfe der „Tangential-Hochblick-Methode“, die bekannterweise mit einem relativ großen Fehler behaftet ist (RÖHLE u. HUBER 1985), andererseits auf den großen zeitlichen Abstand von 28 Jahren zwischen den beiden Aufnahmezeitpunkten zurückgeführt. Aufgrund der Dynamik und Plastizität der Kronenentwicklung, insbesondere die der Schattbaumart Buche, sind über einen solchen Zeitraum aufgrund der sich laufend verändernden Konkurrenzverhältnisse im Kronenraum gegensätzliche Wachstumsreaktionen, d. h. Kronenvergrößerungen wie auch Kronenverkleinerungen, zu erwarten, die sich in ihrer Summe gegeneinander aufheben können. Die über dem Ausgangsradius aufgetragenen Kronenbreitenzuwächse zeigen hingegen einen mit den Beobachtungen von PRETZSCH (1992d) vergleichbaren Trend. So nimmt mit steigendem Ausgangsradius der Anteil von Beobachtungen „negativer Kronenbreitenzuwächse“ tendenziell zu, was auf die abnehmende Dynamik weiterer Kronenexpansion mit zunehmend größerem Kronenradius hindeutet.

Kronenschirmfläche, Zuwachs und Standraumbedarf

Analog zu den beobachteten straffen Beziehungen zwischen BHD und Kronenbreite zeichnen sich auch die funktionalen Zusammenhänge zwischen BHD und Kronenschirmfläche durch

hohe Bestimmtheitsmaße zwischen 0,7 und 0,9 aus (siehe Kapitel 4.3.4). Der daraus abgeleitete „theoretische Standraumbedarf“ respektive die „Stammzahlhaltung“ decken sich mit den Ergebnissen von UTSCHIG (2000), der bei einem Zieldurchmesser von 65 cm BHD und einem unterstellten Überschirmungsprozent von 70 % eine Zielstammzahl von 65 Buchen/ha errechnet. UTSCHIG (2000) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass die Zielstammzahl als theoretisch abgeleitete Größe um mindestens 10 % bis 20 % zu erhöhen ist, um einen ausreichenden Anteil von Reservebäumen vorhalten zu können und damit die Flächenproduktivität sicherzustellen.

Darüber hinaus belegen zahlreiche waldwachstumskundliche Untersuchungen, dass sich auch vergleichsweise „homogene“ Bestandeskollektive wie das Z-Baum-Kollektiv durch eine mehr oder minder starke Durchmesserspreitung und individuelle Durchmesserentwicklung auszeichnen (SPELLMANN 1995, 1997). So erreichen nicht alle Z-Bäume zum gleichen Zeitpunkt die angestrebte Zielstärke. Im Sinne **gestreckter Zielstärkennutzungen** als waldbaulich sinnvolles Nutzungskonzept zur Verjüngung und Entwicklung von Mischbeständen erscheinen daher a priori etwas höhere Z-Baumzahlen sinnvoll, um einerseits die Flächenproduktivität auszuschöpfen und andererseits das Verjüngungsgeschehen mit Hilfe von Licht und Schatten steuerbar zu halten.

Als theoretisch abgeleitete Z-Baum-Anzahl kann im Rahmen dieser Untersuchung für die Baumart Buche in wüchsigen und qualitativ vergleichbar guten Beständen empfohlen werden bei einem BHD von 20 cm rd. 200 Buchen/ha, bezogen auf den Reinbestand, als Z-Bäume erstmalig zu kennzeichnen und herauszupflegen. Der aktuelle Erlass der NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG (2000) sieht im Gegensatz dazu für die Baumart Buche Z-Baumzahlen zwischen 100 und 160 Buchen/ha vor. Diese unter stärker betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten hergeleiteten Z-Baumzahlen sind sowohl unter waldwachstumskundlichen Gesichtspunkten hinsichtlich der Massen- und Wertleistung als auch unter dem Aspekt der Risikoverteilung als kritisch zu beurteilen.

Die abgeleiteten Beziehungen zwischen Kronenschirmfläche und Kreisflächenzuwachs verdeutlichen darüber hinaus, dass sowohl die individuelle Standraumökonomie als auch die unterschiedliche Wuchsdynamik der verschiedenen Baumarten im Zusammenhang mit der Festlegung von Z-Baumzahlen berücksichtigt werden müssen.

Plumpheitsgrad und Ausladungsverhältnis

Die beobachteten Plumpheitsgrade steigen bei der Buche ab einem BHD von 40 cm kontinuierlich von 0,5 bis auf Werte um 0,8 an. Die Ergebnisse decken sich mit den Beobachtungen von FREISE u. SPIECKER (1999) an „konkurrenzfrei“ erwachsenen Solitär Buchen, an denen Plumpheitsgrade zwischen 0,5 und 1,4, im Mittel von 0,8 ermittelt wurden. Der mittlere Plumpheitsgrad von 0,8 deutet darauf hin, dass die beobachteten Buchenkronen keine Kugel- bis Halbkugelformen besitzen (Plumpheitsgrade $> 1,3$), sondern weitaus schlanker gebaut sind und damit paraboloidähnliche Kronenformen aufweisen. Die hohen Plumpheitsgrade der Buche im Durchmesserbereich zwischen 10 cm und 20 cm werden durch das Kollektiv der unterständigen Buchen verursacht, die sich durch geringe Kronenbreiten und zugleich hohe Kronenansätze auszeichnen.

Im Gegensatz dazu verdeutlichen die bis auf Werte um 0,9 bei einem BHD von 80 cm kontinuierlich steigenden Plumpheitsgrade bei der Lärche, dass die Entwicklung von Kronenbreite und Kronenlänge in annähernd konstanten Proportionen zueinander verläuft.

Die an den Buchen festgestellte kontinuierliche Abnahme des Ausladungsverhältnisses von 0,3 bei einem BHD von 10 cm bis auf unter 0,2 bei einem BHD von 80 cm deckt sich relativ genau mit den Beobachtungen v. SEEBACHS (1845). Er ermittelte für reine Buchenbestände im Solling eine vergleichbare kontinuierliche Abnahme des Ausladungsfaktors mit zunehmendem Bestandesalter von 0,2 im Alter 40 bis auf 0,15 im Alter von 120. MARTIN (1918, in EULE 1959) beobachtet für freistehende Buchenoberholzstämme im Mittelwald Ausladungsfaktoren um 0,2 bei einem BHD zwischen 51 und 70 cm. Für geschlossene, 85- bis 140-jährige Buchenbestände errechnet GOLZ (1933, in EULE 1959) hingegen Ausladungsfaktoren von 0,12 bis 0,18 bei Kronendurchmessern zwischen 5 und 9 m. Zugleich weist GOLZ (1933, in EULE, 1959) darauf hin, dass in „lichteren“ Buchenbeständen die Ausladungsfaktoren bei gleichem Kronendurchmesser auf Werte um 0,2 ansteigen. FREISE u. SPIECKER (1999) beobachten an Solitärbuchen Ausladungsfaktoren zwischen 0,15 und 0,31, die einem vergleichbaren Alterstrend unterliegen.

Im Gegensatz dazu wurde für die Baumart Lärche über das gesamte beobachtete Durchmesserpektrum zwischen 20 cm und 80 cm BHD hinweg ein nahezu konstantes Ausladungsverhältnis von 0,14 beobachtet. Dies lässt sich auf die nahezu proportionale Entwicklung von Kronendurchmesser und BHD (siehe Abbildung 4-27) und das Unvermögen der Lichtbaumart Lärche, mit zunehmendem Alter ihre Krone gleichermaßen plastisch wie die Buche zu vergrößern (siehe Abbildung 4-28), zurückführen. Im Ergebnis verdeutlichen die Beobachtungen in den untersuchten Buchen-Lärchen-Mischbeständen, dass der Ausladungsfaktor sowohl von der baumartenspezifischen Wuchsdynamik als auch vom Bestandesalter beeinflusst wird.

5.3 Kritische Diskussion des Wachstumsmodells

5.3.1 Beurteilung des Datenmaterials

Das der Arbeit zugrunde liegende Datenmaterial ist sehr differenziert zu beurteilen und zeichnet sich durch eine Vielzahl von individuellen Stärken und Schwächen aus. Als besondere Stärken sind positiv hervorzuheben:

- Das Datenmaterial ist vergleichsweise umfangreich und von befriedigender Qualität.
- In Ergänzung zu klassischen ertragskundlichen Parametern wurden bereits im Rahmen der Erstaufnahme 1984 Stammfußkoordinaten und Kronenablotungen durchgeführt. Dadurch konnten weitaus differenziertere Auswertungen vorgenommen und in Ergänzung zu klassischen Bestandesparametern auch Aussagen über die Wuchsdynamik und das Konkurrenzverhalten des Einzelbaumes hergeleitet werden.
- Die hohe Aussagequalität wird darüber hinaus durch den methodischen Ansatz des Aufnahmeverfahrens in Form einer „unechten Zeitreihe“ bedingt. Mit dem erhobenen Datenmaterial wird dadurch ein außerordentlich breites Altersspektrum in der Bestandesentwicklung gleichaltriger Buchen-Lärchen-Mischbestände abgedeckt
- Mit Hilfe der umfangreichen Folgeaufnahme einschließlich Kronenablotungen konnten eine Vielzahl „originär gemessener“ Zuwachsdaten für die Parametrisierung des Wachstumsmodells verwendet werden. Im Gegensatz zu einer „ad hoc“ Parametrisierung auf Grundlage einer einmaligen Aufnahme wurden dadurch die Auswertungsmöglichkeiten vervielfacht.

Als besondere Schwächen des Datenmaterials sind kritisch hervorzuheben:

- Mit wenigen Ausnahmen wurden auf allen Versuchsflächen in dem 10-jährigen Zeitraum zwischen Erst- und Zweitaufnahme Durchforstungen im Rahmen der regulären Bestandespflege vorgenommen. Die Durchforstungen wurden von den zuständigen Revierleitern in Anlehnung an die waldbaulichen Entwicklungsziele für den Mischungstyp Buche-Lärche durchgeführt. Während sich die Durchforstungszeitpunkte für die i. d. R. einmaligen Durchforstungseingriffe im Jahrzehnt rekonstruieren ließen, wurde der ausscheidende Bestand zum Zeitpunkt der Entnahme nicht erfasst. Volumen und Stärkeklassenverteilung des ausscheidenden Bestandes konnte daher nicht korrekt hergeleitet werden.
- Aufgrund der Durchforstungseingriffe haben sich innerhalb des 10-jährigen Beobachtungszeitraumes die Konkurrenzverhältnisse zwischen den einzelnen Bestandegliedern verschoben. Im Rahmen der Parametrisierung der Zuwachsfunktionen musste daher die Eingangsvariable Konkurrenz als „integrale Größe“ über den beobachteten Zeitraum der Bestandesentwicklung unterstellt werden und damit methodisch bedingte Unschärfen in Kauf genommen werden.
- Als weitere Schwäche des Datenmaterials ist das Fehlen jüngerer Versuchsflächen kritisch anzumerken. Dieser Mangel trifft insbesondere für die Baumart Lärche zu, die als Lichtbaumart durch die frühe Kulmination ihrer Zuwächse charakterisiert ist. Um diesen Mangel zu beheben, wurden im Rahmen dieser Untersuchungen zwei zusätzliche Versuchsflächen in jüngeren Buchen-Lärchen-Mischbeständen angelegt. Aufgrund fehlender Zuwachsdaten konnten die beiden Flächen jedoch nur eingeschränkt in die Auswertungen integriert werden.
- Aufgrund der Flächenauswahl, die in Anlehnung an die waldbaulichen Fragestellungen der Untersuchungen von DIPPEL (1988) erfolgte, repräsentiert das Datenmaterial durchschnittliche Verhältnisse des Mischungstyps Buche-Lärche. Extreme Bestandesstellungen, d. h. starke Überbestockung oder Lichtwuchssituationen, beinhaltet das Datenmaterial hingegen nicht. Das Fehlen von Extremen trifft auch für die erfassten Mischungsformen zu. So sind die meisten Lärchen trupp- bis gruppenweise den Buchengrundbeständen beigemischt, während die aus Sicht der Modellparametrisierung wichtigen Extreme „Einzelbaum- bzw. flächige Mischung“ zumindest für die Baumart Lärche nur unzureichend abgedeckt werden.
- Als problematisch ist darüber hinaus der Wechsel der Aufnahmemethodik im Zusammenhang mit den Kronenablotungen zu beurteilen. Um den vorhandenen Datenpool dennoch auswerten zu können, mussten umfangreiche methodische Vorarbeiten geleistet werden. Auch hierdurch ist das analysierte Datenmaterial mit zusätzlichen Fehlern und Unschärfen belastet.
- Ein weiteres, vorrangig aufnahmetechnisches Problem stellten die unterschiedlichen Definitionen des Kronenansatzes dar. Infolgedessen war es nicht möglich, die Kronenansatzmessungen zu einem dynamischen Kronenansatzmodell zu verschneiden.

5.3.2 Diskussion der entwickelten Modellansätze

Folgende Leitgedanken wurden bei der Entwicklung der verschiedenen Modellansätze zugrunde gelegt:

- **Biologische Plausibilität:** Die in den verschiedenen Teilmodellen verwendeten Grundfunktionen und aggregierten Modellansätze sollten sowohl den Wachstumsgang des Einzelbaumes als auch den Einfluss der individuellen Konkurrenzsituation im Bestandesgefüge biologisch plausibel abbilden und entsprechend interpretierbar sein.

- **Einfacher Modellaufbau:** Die regressionsanalytischen Modellansätze sollten möglichst einfach gehalten werden, um die waldwachstumskundlichen Wirkungszusammenhänge eindeutig interpretieren zu können (SHARPE 1990).
- **Übertragbarkeit:** Es sollten flexible Modellansätze mit eindeutigen Schnittstellen entwickelt werden, um dadurch das Gesamtmodell jederzeit um zusätzliche Wachstumsroutinen erweitern zu können sowie langfristig weitere Baumarten und Baumartenmischungen integrieren zu können.

Unabhängig von den drei Teilmodellen, mit denen der Kronenbreitenzuwachs sowie der Durchmesser- und Höhenzuwachs prognostiziert werden, ist hervorzuheben, dass sämtliche Wachstumsfunktionen mit den Daten eines 10-jährigen Aufnahmeintervalles zwischen 1984 und 1994 parametrisiert wurden. Im Gegensatz dazu wurden sowohl der Wachstumssimulator „BwinPro“ (NAGEL 1999) als auch der bayerische Simulator „Silva“ (PRETZSCH 1992c) auf Grundlage von Datensätzen parametrisiert, denen 5-jährige Aufnahmeintervalle zugrunde liegen. Analog dazu werden als standardmäßige Prognoseintervalle die Ergebnisse für 5 Jahres-Zyklen berechnet. KING et al. (1990) weisen in diesem Zusammenhang auf die Problematik zwischen der Wahl des zeitlichen Aufnahmeintervalls und der Verknüpfung mit verschiedenen forstlichen Veränderungsgrößen wie Zuwachs, Verjüngung und Mortalität in unterschiedlich ausgerichteten Wachstumsmodellen hin. So basieren bspw. physiologisch orientierte Modelle auf einer vergleichsweise feinen zeitlichen Auflösung (< 1 Stunde), während waldwachstumskundliche Einzelbaum- oder Bestandesmodelle auf zeitlich längere, periodische Zuwachsmessungen zurückgreifen.

HASENAUER (1999a) weist im Zusammenhang mit der Validierung von Höhenzuwachsmodellen für die Hauptbaumarten Österreichs auf den Einfluss der Niederschlags- und Temperaturverhältnisse auf die im Rahmen der Parametrisierung verwendeten Datensätze und Aufnahmeperioden hin. So können in regressionsanalytisch hergeleiteten Wachstumsmodellen durch abweichende Witterungsverhältnisse zwischen dem Zeitpunkt der Datenaufnahme und dem Prognoseintervall erhebliche Verzerrungen verursacht werden (HASENAUER 1999a).

Die zugrunde liegende Problematik lässt sich unter dem Begriff der „Periodizität“ zusammenfassen. Abbildung 5-6 zeigt dazu vereinfacht den Einfluss der Variablen Konkurrenz, Witterung, Standort und Genetik in Abhängigkeit vom Aufnahmezeitraum respektive Prognoseintervall. Es wird deutlich, dass mit zunehmendem Aufnahmeintervall der Einfluss der Konkurrenz auf die unterschiedlichen Zuwachsgrößen steigt. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn die Aufnahmeintervalle in jüngeren Bestandesentwicklungsphasen, d. h. zum Zeitpunkt der Hauptzuwachsdynamik, verlängert werden. Darüber hinaus kann es mit länger werdendem Aufnahmeintervall insbesondere hinsichtlich „empfindlich“ reagierender Zuwachsgrößen zunehmend schwieriger werden, den Einfluss der Konkurrenz zu quantifizieren. Im Extremfall hat dies zur Konsequenz, dass in Jungwüchsen jährliche Zuwachsmessungen erforderlich sein können, um Konkurrenzeinflüsse erfassen und quantifizieren zu können (WAGNER u. SPELLMANN 1993).

Umgekehrt ist der Einfluss der Variablen „Witterung“ im Zusammenhang mit der Frage der optimalen Länge des Aufnahmeintervalls zu bewerten. So werden mit zunehmendem Aufnahmeintervall Witterungsschwankungen bzw. Witterungsextreme stärker nivelliert, während kürzere Aufnahmeintervalle zu Verzerrungen der Zuwachsprognosen führen können (HASENAUER 1999a). STERBA (1995) weist im Zusammenhang mit der Validierung des österreichischen Wachstumssimulators „Prognaus“ Zuwachsdifferenzen zwischen

Beobachtung und Vorhersage nach, die sich auf die günstigen Witterungsverhältnisse der der Parametrisierung zugrunde gelegten Zuwachsperiode zurückführen lassen.

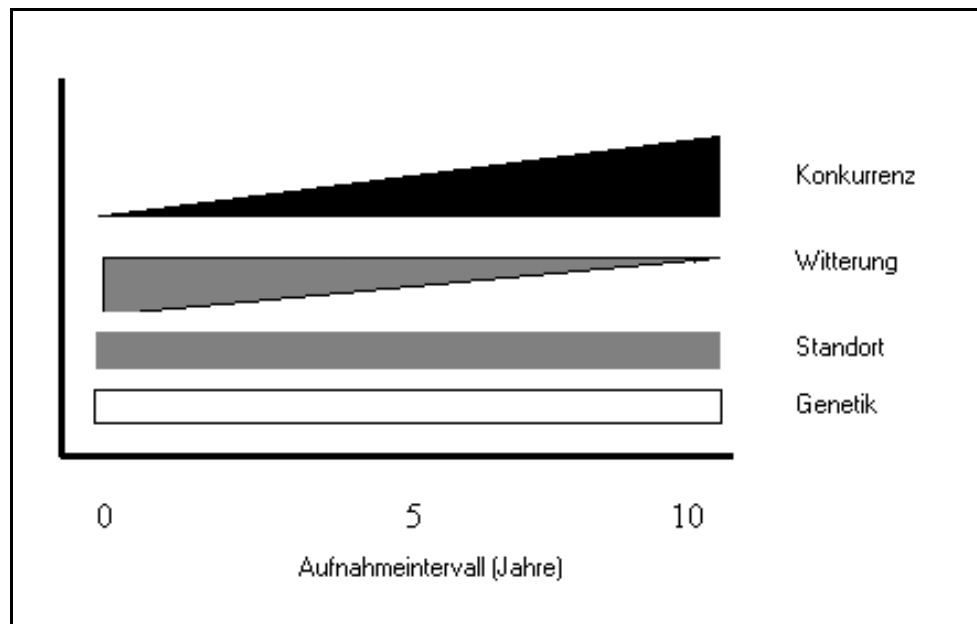


Abbildung 5-1: Schematische Darstellung zum Einfluss der Variablen Konkurrenz, Witterung, Standort und Genetik in Abhängigkeit vom Aufnahmezeitraum respektive Prognoseintervall.

Vergleichsweise gering wird der Einfluss der beiden Variablen Genetik und Standort im Rahmen 5- bis 10-jähriger Aufnahmeintervalle beurteilt. Dennoch ist im Rahmen der Wachstumsmodellierung zu berücksichtigen, dass auch die Variablen Standort und Genetik langfristig nicht als konstant angenommen werden können (RÖHLE 1994, PRETZSCH 1992e, SPIECKER 1990). Insofern sind standortssensitive Modellelemente wie das Standort-Leistungsmodell von KAHN (1994) als zielführende Ansätze einzuschätzen. STERBA (1997a) betont in diesem Zusammenhang eindringlich, dass die künftige ertragskundliche Forschung nicht mehr „mit dem alleinigen Messen von Brusthöhendurchmessern und Baumhöhen auskommt“. Vielmehr wird es erforderlich sein, Messvariablen zu erheben, auf deren Grundlage „Waldökosystemmodelle“ erstellt werden können. Modelle, die ausreichend flexibel sind und dadurch auch Veränderungen der Standortsgüte und deren Einfluss auf die Hauptzuwachsgrößen abbilden können.

5.3.2.1 Dynamisches Kronenmodell

Im Zusammenhang mit der Entwicklung von Wachstumssimulatoren haben insbesondere die beiden Kronenparameter **Kronenvolumen** und **Kronenmantelfläche** als zentrale, „zuwachs-treibende“ Eingangsvariablen eine wichtige biologisch plausible Bedeutung erlangt. Von besonderem Interesse sind dabei einerseits Untersuchungen, mit deren Hilfe möglichst realistische geometrische, baumartenspezifische Kronenmodelle abgeleitet werden können (PRETZSCH 1992c, VORREYER 1997). Andererseits sind Untersuchungen zur Dynamik der Kronenentwicklung in Abhängigkeit der Nachbarschaftsverhältnisse von zentraler Bedeutung, um die Eingangsparameter Kronenvolumen und/oder Kronenmantelfläche noch besser als

bislang möglich und zudem unabhängig vom BHD ableiten zu können (siehe dazu Kapitel 3.3).

Entwicklung von Kronenmodellen

Im Zusammenhang mit der Baumkrone als Assimilationsorgan zählen die Arbeiten von BURGER (1939a, b) und BADOUX (1939, 1946) zu den ersten grundlegenden und systematischen Untersuchungen. Ziel ihrer umfangreichen Untersuchungen war es, Vorstellungen über den morphologischen Aufbau und die Kronenarchitektur zu entwickeln. Darüber hinaus wurden Blattflächen und Blattflächenverteilungen innerhalb der Krone analysiert, um Beziehungen zwischen Assimilationsgröße und Zuwachs ableiten zu können (BURGER 1940, 1945). Speziell zur Beschreibung der äußeren Kronenform für die Baumart Buche wurden von BADOUX (1939) 200 Buchen in einem hochdurchforstungsartig behandelten Bestand liegend vermessen. Abbildung 5-7 zeigt die aus diesen Daten abgeleitete Entwicklung der Höhe, des Kronenansatzes sowie der maximalen Kronenbreite als Übergang zwischen Licht- und Schattkrone in Abhängigkeit vom BHD. Im Zusammenhang mit den Modellannahmen zum Aufbau und Form von Buchenkronen, wie sie bspw. in dem Wachstumssimulator SILVA verwendet werden, orientiert sich PRETZSCH (1992c) an diesen Kronenuntersuchungen.

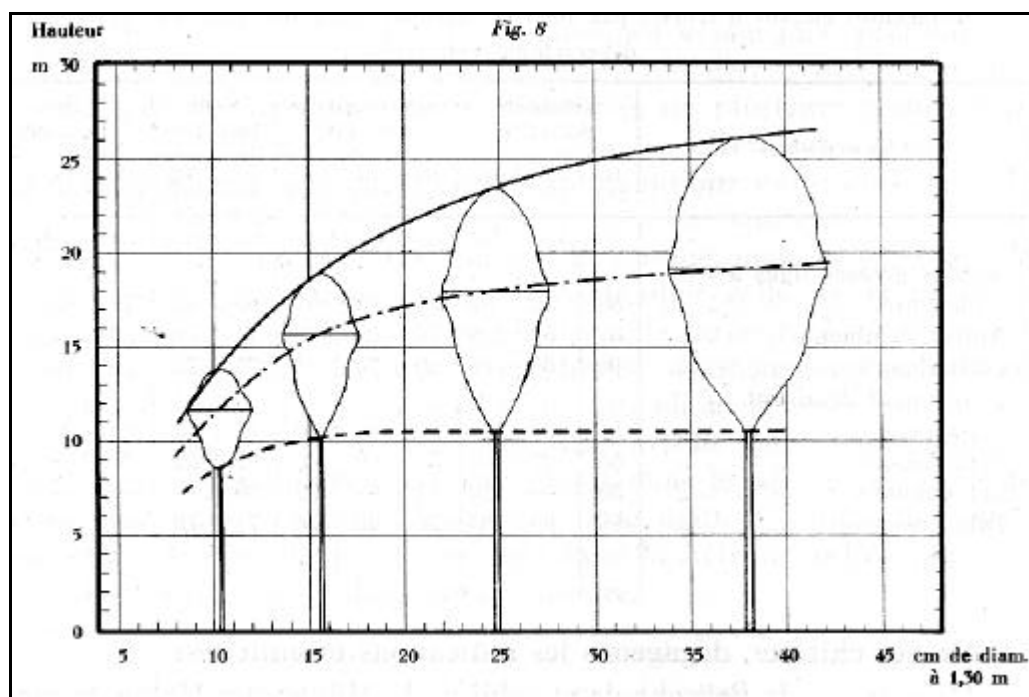


Abbildung 5-2: Entwicklung der Kronendimensionen und Veränderung der Kronenform in Abhängigkeit vom Durchmesser am Beispiel eines hochdurchforsteten Buchenreinbestandes (aus BADOUX 1939).

Umfangreiche Untersuchungen zur Kronenausformung der Buche wurden zuletzt von NÜBLEIN (1995) in unterschiedlich alten Buchen-Edellaubholzmischbeständen durchgeführt. Dabei wurde die relative Höhe der maximalen Kronenausdehnung okular eingeschätzt und seitliche Kronenphotographien ausgewertet. NÜBLEIN (1995) kommt aufgrund dieser Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass die Lichtkrone der Buche am besten durch ein kubisches Paraboloid abgebildet wird. Der Übergang zwischen Licht- und Schattkrone wird von NÜBLEIN (1995) für die Baumart Buche bei 40 % der Kronenlänge vom Wipfel aus angenommen, wodurch er die beste Annäherung an die wahre Kronenform feststellt. Die Schatt-

krone wird hingegen von NÜBLEIN (1995) als ein auf den Kopf gestelltes kubisches Paraboloid angenähert. Als Erklärung hierfür vermutet NÜBLEIN (1995), dass die Buche in Mischung mit den lichtdurchlässigeren Edellaubhölzern in der Lage ist, ihre Schattkrone bereits am Kronenansatz stärker aufzufächern und auf diese Weise den unteren Kronenraum intensiver zu erschließen.

Auch VORREYER (1997) kommt zu dem Ergebnis, dass der kubische Paraboloid als Modellkörper zur Beschreibung der Lichtkrone der Buche am besten geeignet ist. Der Lichtkronenanteil wird von Vorreyer jedoch weitaus größer eingeschätzt. In den von ihm untersuchten Buchen-Douglasien-Mischbeständen haben die Buchen im Mittel einen prozentualen Lichtkronenanteil von 58 %. Diese sind demzufolge wesentlich größer als die von Pretzsch (1992b) eingeschätzten Anteile.

Im Gegensatz zu den Untersuchungen von VORREYER (1997) wurde in den aufgenommenen Buchen-Lärchen-Mischbeständen im Fall der Baumart Buche der durchschnittliche Lichtkronenanteil an der Gesamtkrone mit lediglich 32 % ermittelt und damit weitaus geringer eingeschätzt. Im Fall der Baumart Lärche wurde die durchschnittliche Höhe der Lichtkronenbasis in 71 % der Kronenlänge von der Baumspitze aus errechnet. Die Ergebnisse bestätigen demzufolge die geometrischen Modellannahmen von PRETZSCH (1992c) und NÜBLEIN (1995).

In Ergänzung dazu ist die Modellierung der relativen Lageveränderung der Höhe der Lichtkronenbasis in Abhängigkeit von der Baumhöhe ein wichtiges, vergleichsweise einfaches Modellelement zur Dynamisierung von Kronenmodellen. Im Gegensatz dazu stehen weitaus komplexere Ansätze, wie die von CESCATTI (1997) oder CLUZEAU et al. (1994). So werden bspw. in dem Wachstumssimulator „FOREST“ (CESCATTI 1997) flexible, ggf. auch stark asymmetrische Kronenformen berücksichtigt, die sich jedoch auf modifizierte geometrische Grundkörper zurückführen lassen. Kronenmodelle wie die von CLUZEAU et al. (1994) basieren hingegen auf der Modellierung des individuellen Astlängenwachstums und der baumartenspezifischen Verzweigungssysteme in Abhängigkeit vom Alter und der sozialen Stellung im Bestand. Vergleichbar beschreiben ROLOFF (1991) und GRUBER (1991) die Entwicklung der Kronenmorphologie und –architektur am Beispiel von Nadelbaumarten bzw. LÜCK et al. (1982), BARKER et al. (1973), HONDA et al. (1981) und WOODCOCK et al. (1995) allgemeine Modellbildungen pflanzlicher Verzweigungssysteme. Ergebnis dieser Untersuchungen sind überaus differenzierte Modellansätze zur Beschreibung der Kronenarchitektur und Astlängenentwicklung, die jedoch aufgrund ihrer Komplexität bislang keinen Eingang in die vorrangig als Managementmodelle entwickelten Wachstumssimulatoren gefunden haben (SORRENSEN-COTHERN et al. 1993).

Untersuchungen zur Kronendynamik

As the tips of whorls come into competition with one another, the amount and quality of light is severely reduced. Growth of the whorl drops off due to this competition and, in taller stands, because of physical abrasion of lateral buds in neighboring trees (ARNEY 1972).

.... that crowns of well released and dominant trees expand rapidly after thinning. Moreover, crown expansion can slow down rapidly if the zone of crown contact becomes important, although beech crowns can develop beyond the limits of the crowns of neighbouring trees. (LE GOFF et al. 1995).

..... die Entwicklung der Seitenäste (von Lärchen) sich schon deutlich reduziert, wenn der Abstand der Äste zum Nachbarn 40 cm unterschreitet (SCHÖNBÄCHLER 1982).

Spezielle Untersuchungen zur Kronendynamik im Sinne richtungsspezifischer Kronenexpansion sind bislang nur in vergleichsweise geringem Umfang durchgeführt worden. Im Zusammenhang mit **Untersuchungen zur Lückendynamik** in amerikanischen Laubholzwäldern beobachteten RUNKLE (1981, 1982) und RUNKLE u. YETTER (1987) die Dynamik des Kronenschlusses verschiedener Laubbaumarten. Methodisch basieren diese Arbeiten auf wiederholten Kronenmessungen an Randbäumen von Bestandeslücken im zeitlichen Abstand von 7 Jahren, wobei die maximalen Kronenausdehnungen in Richtung der aufgenommenen Lückenzentren erfasst wurden. Im Ergebnis verdeutlichen die Beobachtungen die ausgeprägte Dynamik der untersuchten Laubhölzer, Lücken im Kronendach rasch zu schließen. So beobachten RUNKLE u. YETTER (1987) an den erfassten Laubbaumarten eine mittlere horizontale Kronenbreitenveränderung von 17,9 cm/Jahr, die maximale horizontale Kronenbreitenveränderung wird mit 58,6 cm/Jahr (*Acer rubrum*) ermittelt.

Im Zusammenhang mit der **Entwicklung von Wachstumssimulatoren** berücksichtigt ARNEY (1972) bei der Parametrisierung eines Wachstumssimulators für Douglasienbestände in Oregon erstmals einen Faktor, mit dem die Kronenbreitenfunktion in Abhängigkeit von der Konkurrenzsituation modifiziert wird. Dazu leitet ARNEY (1972) eine nicht lineare exponentielle Reduktionsfunktion ab, die mit einsetzender Konkurrenz den Kronenbreitenzuwachs reduziert. SMITH et al. (1992) stellen im Rahmen einer Kronenanalyse an 191 Bäumen fest, dass die Kronenausformung der von ihnen untersuchten Kiefern vorrangig durch den Abstand zwischen Bezugsbaum und Nachbarbaum beeinflusst wird, die Himmelsrichtung des Nachbarbaumes hingegen ohne stärkeren Einfluss auf die Kronenexzentrizität ist.

Unter **waldbaulich/experimentellen Aspekten** beobachteten hingegen LE GOFF u. OTTORINI (1995) das Reaktionsvermögen von Buchenkronen nach gezielter Freistellung. Anhand von Einzelbaumbeobachtungen in sieben Durchforstungsgruppen können sie bereits nach einem Beobachtungszeitraum von lediglich 4 Jahren aufzeigen, wie plastisch Buchenkronen reagieren können und dadurch in der Lage sind, in die entstandenen Bestandeslücken hinein zu expandieren. Zugleich beobachten LE GOFF u. OTTORINI (1995), dass mit zunehmender Annäherung der Buchenkronen untereinander das Expansionsvermögen nachlässt.

Besonders erwähnenswerte **Einzeluntersuchungen**, die sich mit der Dynamik von Kronenbreitenveränderungen beschäftigen, sind die Arbeiten von LÄSSIG (1991) und SCHÖNBÄCHLER (1982). LÄSSIG (1991) beobachtet an Fichtensolitären einen mittleren jährlichen Längenzuwachs aller im Bereich der größten Kronenbreite untersuchten Äste von 15 cm/Jahr. Mit Hilfe von Jahrringzählungen kann er zudem einen Alterstrend für die ermittelten Längenzuwächse nachweisen. So sinken die jährlichen Längenzuwächse von über 20 cm/Jahr im Astalter 5 bis auf unter 10 cm/Jahr im Astalter 70 ab.

Aufgrund von Untersuchungen in Lärchenreinbeständen kann SCHÖNBÄCHLER (1982) nachweisen, dass der Seitenzuwachs einzelner Äste abnimmt, sobald sich konkurrierende Kronen annähern. Methodisch basieren diese Untersuchungen auf der Erfassung der unmittelbaren Raumkonkurrenz von zehn ausgewählten Lärchen im Alter von 13 Jahren. Dabei wird „Raumkonkurrenz“ von SCHÖNBÄCHLER (1982) als Zwischenraum oder Überlappungszone zwischen dem untersuchten Astende des Probestandes und dem ihm entgegengesetzten Astende des Konkurrenten definiert. Signifikant gesichert weist SCHÖNBÄCHLER (1982) nach, dass Raumkonkurrenz im Bereich von + 20 cm bis – 20 cm zu einer Abnahme des Seitenzuwachses von rd. 25 % gegenüber „unbeeinflusstem“ Seitenwachstum führt. Analog zu LÄSSIG (1991) nimmt darüber hinaus der Seitenzuwachs der Lärchen mit zunehmendem relativen Alter ab.

Im Gegensatz zu dieser dynamischen Betrachtungsweise verdeutlichen die umfangreichen Untersuchungen von PETRI (1966) anhand einmaliger Zustandsaufnahmen in Buchen-Fichten-Mischbeständen die Wechselwirkungen zwischen Kronenentwicklung und nachbarschaftlicher Konkurrenz. PETRI (1966) unterscheidet dabei zwischen „positiver“ und „negativer“ Kronenexzentrizität, wobei sich die „biologisch stärkere“ Baumart gegenüber der „biologisch schwächeren“ durchsetzt. In diesem Zusammenhang unterscheidet PETRI (1966) zwischen „vertikaler dynamischer Entwicklung“, die sich in den unterschiedlichen Höhenwachstumsgängen von Buche und Fichte widerspiegelt, und einer „horizontalen dynamischen Entwicklung“, die sich aus der räumlichen Kronenausformung/Dominanz der betrachteten Baumpaare zueinander ableiten lässt. Im Vergleich zur Fichte beschreibt PETRI (1966) dabei die Buche als plastischere Baumart mit vergleichsweise stark ausgeprägter „Kronenelastizität“.

Die methodischen Ansätze der vorgelegten Untersuchung zur Modellierung der horizontalen Kronendynamik in Buchen-Lärchen-Mischbeständen basieren auf den Untersuchungen von PRETZSCH (1992d) im Zusammenhang mit Untersuchungen zur Kronenkonkurrenz von Fichte und Buche in Rein- und Mischbeständen. Datengrundlage für die Untersuchungen von PRETZSCH (1992d) sind wiederholte Kronenablotungen mit Hilfe der „Tangential-Hochblick-Methode“ (RÖHLE u. HUBER 1985). Die Kronenablotungen wurden erstmals im Alter 80 (des Buchenmischungsanteils) durchgeführt und nach 28 Jahren wiederholt.

Im Gegensatz zu den von PRETZSCH (1992) abgeleiteten linearen Potentialfunktionen, die er als Grundlage für die Berechnung des jährlichen horizontalen Kronenbreitenzuwachses für die Baumart Buche verwendet, deuten sowohl die Ergebnisse aus anderen Untersuchungen (s. o.) als auch die Beobachtungen in Buchen-Lärchen-Mischbeständen auf ein weitaus größeres Kronenreaktionsvermögen der Buche hin. So wurden von PRETZSCH (1992d) in Abhängigkeit vom Ausgangsradius für die Buche maximale jährliche Kronenradienzuwächse zwischen 8 cm und 12 cm abgeleitet. Im Gegensatz dazu konnten für die Buchen in den untersuchten Buchen-Lärchen-Mischbeständen maximale „potentielle“ Kronenbreitenveränderungen zwischen 10 cm und 40 cm berechnet werden.

Gründe für die abweichenden Ergebnisse sind einerseits in der vergleichsweise fehlerbehafteten Aufnahmemethodik mit Hilfe der „Tangential-Hochblick-Methode“ zu suchen. So stellt RÖHLE (1986) fest, dass Kronenablotungen, die durch freies Abloten gewonnen werden, aufgrund ihrer Ungenauigkeit für die Erfassung von Kronenwachstumsprozessen völlig ungeeignet sind. Andererseits ist zu vermuten, dass durch den langen Zeitraum von 28 Jahren zwischen den beiden Folgeaufnahmen in den bayerischen Buchen-Fichten-Mischbeständen die tatsächliche Dynamik der Kronenbreitenentwicklung nivelliert wurde. Als dritter Gesichtspunkt ist zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse von PRETZSCH (1992d) aus den Beobachtungen in über 80-jährigen Beständen abgeleitet wurden, in denen ein altersbedingtes Nachlassen der Wuchsdynamik auch hinsichtlich der Kronenausbreitung zu erwarten ist.

Sowohl die Untersuchungen von PRETZSCH (1992d) als auch die Beobachtungen in Buchen-Lärchen-Mischbeständen deuten hingegen gleichgerichtet auf den Einfluss nachbarschaftlicher Konkurrenz auf den Kronenbreitenzuwachs hin. „Raumkonkurrenz“ im Sinne von SCHÖNBÄCHLER (1982) konnte jedoch in beiden Untersuchungen nur indirekt mit Hilfe der Stammpositionen und Kronenablotungen geometrisch abgeleitet werden. In Ergänzung zu den geometrischen Kronenmodellen von PRETZSCH (1992d) konnte hierzu durch die Dynamisierung der Höhe der Lichtkronenbasis in Abhängigkeit von der Baumhöhe eine weitere wichtige Funktion parametrisiert und integriert werden (siehe Kapitel 4.4.2.2).

Im Unterschied zu den Untersuchungen von PRETZSCH (1992d) weisen die vorgelegten Ergebnisse darauf hin, dass die Buche zu geringeren Kronenverzahnungen neigt, als dies von PRETZSCH (1992d) in Buchen-Fichten-Mischbeständen beobachtet wird. So wurden im Kontaktbereich zwischen Buche und Buche mittlere Kronenverzahnungen von lediglich 80 cm Tiefe abgeleitet, während die parametrisierten Abstandsfunktionen von PRETZSCH (1992d) bis zu einer Kronenverzahnung/-überlappung von annähernd 2 m positive Kronenbreitenveränderungen prognostizieren. Als eine Ursache für den deutlichen Unterschied der Ergebnisse zwischen den beiden Untersuchungen wird der unterschiedliche geometrische Ansatz bei der Herleitung der „Raumkonkurrenz“ vermutet.

Als Konsequenzen aus den Erfahrungen, die im Rahmen der Datenaufnahme und -analyse gemacht werden konnten, lassen sich die folgenden Empfehlungen ableiten:

- Für die Ableitung und Parametrisierung von Modellansätzen zur Beschreibung der Kronendynamik in Abhängigkeit von nachbarschaftlichen Konkurrenzsituationen sind in größerem Umfang als bislang üblich wiederholte Kronenablotungen durchzuführen.
- Da offensichtlich unterschiedliche baumartenspezifische Reaktionsmuster existieren, sind Kronenablotungen in allen bedeutsamen Mischbestandstypen und Waldaufbauformen durchzuführen.
- Um kausale Zusammenhänge eindeutiger und mit geringerem Aufwand herausarbeiten zu können, wird empfohlen, nicht wie bislang üblich Kronenablotungen auf Basis eines festen Winkelsystems durchzuführen, sondern mit flexiblen Winkeln zu arbeiten. Nur dadurch ist gewährleistet, dass konkrete Nachbarschaftssituationen und in Folge das Reaktionsvermögen der Kronen eindeutig erfasst werden können.
- Um die „Raumkonkurrenz“ besser zu erfassen, ist zu überprüfen, ob in Ergänzung zu den Kronenablotungen selbst auch die Abstände zwischen den Kronenrändern mit vertretbarem Aufwand eingemessen werden können.
- In Anlehnung an die Untersuchungen und methodischen Ansätze von LONG u. SMITH (1992) ist zu überprüfen, welche mechanischen Einwirkungen zwischen benachbarten Kronen wirksam sind und in welchem Umfang dadurch die Kronenausformung beeinflusst wird.
- Um die Datenbasis zu verbessern und mögliche Fehlerquellen zu eliminieren, ist darüber hinaus zu überprüfen, ob und mit welcher Technik einzelne Zweige dauerhaft markiert werden können, um im Rahmen von Folgeaufnahmen Verwechslungen ausschließen zu können.
- Analog zu den Untersuchungen von BIGING u. GILL (1997) sowie DORUSKA u. MAYS (1998) wird angeregt, ergänzende Untersuchungen zur Beschreibung des vertikalen Kronenprofils durchzuführen.
- Vergleichbar mit den Untersuchungen von LÄSSIG (1991) wird angeregt, „Astanalysen“ durchzuführen, um weitere methodische Ansätze zu testen und ggf. eine bessere Datengrundlage zu erarbeiten, mit der alternative Modellansätze zur Beschreibung von Kronenbreitenentwicklungen erarbeitet werden können. Dabei erscheinen Modellansätze wie die von KELLOMÄKI u. KURTTIO (1991), KÜRTH (1991, 1995) oder BEREZOVSKAYA et al. (1997) als zielführend. Diesen Ansätzen liegt zugrunde, dass die Kronenentwicklung äußerst differenziert mit Hilfe „modularer“ Wachstumsprozesse im dreidimensionalen Raum auf Ebene des Einzeltriebes modelliert wird.

5.3.2.2 Durchmesserzuwachsmo­dell

Das Durchmesserzuwachsmo­dell basiert biologisch plausibel auf der einfachen Verknüpfung aus Kronenmantelfläche als zuwachstreibende Eingangsvariable einerseits und dem Konkurrenzindex (FKI) als zuwachsreduzierende Variable andererseits. Dadurch wird vermieden, den Durchmesserzuwachs aus dem Durchmesser selbst abzuleiten, wie es bspw. in den Modellansätzen von BIBER (1996) und STERBA (1995) der Fall ist. So wird in dem Modellansatz von BIBER (1996) als dritte Eingangsvariable der h/d-Wert verwendet, während das Kreisflächenzuwachsmo­dell von STERBA (1995) einen Vektor „Größe“ enthält, der sich aus BHD und Kronenprozent zusammensetzt.

Die Prognose des 10-jährigen Grundflächenzuwachses ist nach dem entwickelten Modellansatz für die Baumart Buche mit einem mittleren quadratischen Fehler (MSE) von $68,9 \text{ cm}^4$ behaftet (siehe Tabelle 4-21). Im Fall der Baumart Lärche beinhaltet die Schätzung des Grundflächenzuwachses einen mittleren quadratischen Fehler (MSE) von $197,8 \text{ cm}^4$. Um die Genauigkeit des Modellansatzes mit dem komplexen, standortsensitiven Durchmesserzuwachsmo­dell von KAHN u. PRETZSCH (1997) zumindest näherungsweise vergleichen zu können, wurde aus dem quadratischen Fehler des Grundflächenzuwachses der Fehler in Form des Durchmesserzuwachses abgeleitet. Für einen 5-jährigen Prognosezeitraum schätzt demnach der Modellansatz den Durchmesserzuwachs für die Buche mit einem mittleren Fehler von 0,46 cm, der Modellansatz von KAHN u. PRETZSCH (1997) beinhaltet einen unwesentlich geringeren mittleren quadratischen Fehler von 0,43 cm. Im Fall der Baumart Lärche wird der 5-jährige Durchmesserzuwachs mit einem mittleren Fehler von 0,79 cm prognostiziert, während nach dem Modellansatz von KAHN u. PRETZSCH (1997) die Prognose des Durchmesserzuwachses für die Baumart Fichte mit einem Fehler von 0,97 cm behaftet ist. Der Vergleich deutet darauf hin, dass mit dem vergleichsweise „einfachen“ Modellansatz der periodische Durchmesserzuwachs von Buchen und Lärchen in gleichaltriger Mischung mit ausreichender Genauigkeit prognostiziert werden kann.

Sowohl die Arbeit von BIBER (1996) als auch die vorgelegten Untersuchungen in Buchen-Lärchen-Mischbeständen weisen darauf hin, dass sich der abgeleitete Konkurrenzindex (FKI) als Steuervariable eignet, um in abstandsabhängigen Einzelbaumsimulatoren in Verbindung mit der Kronenmantelfläche der Lichtkrone den Durchmesserzuwachs prognostizieren zu können. Darüber hinaus wird der verwendete Ansatz zur Beurteilung der Konkurrenzsituation mit Hilfe der individuellen Beschattungssituation als überaus zielführend beurteilt, da die Konkurrenz im Wurzelraum mit den derzeit zur Verfügung stehenden technischen Mitteln und Methoden nicht hinreichend genau quantifiziert werden kann, während hingegen die photosynthetisch aktive Strahlung die wichtigste oberirdisch verteilte Ressource für das Pflanzenwachstum darstellt.

So weist BRUNNER (1999) am Beispiel von älteren, 30-50-jährigen Douglasien-, Kiefern- und Fichtenbeständen nichtlineare Beziehungen zwischen Grundflächenzuwachs und Lichtabsorption nach. Dabei kommt er zu dem Ergebnis, dass die bisher in Wuchsmodellen verwendeten Konkurrenzindizes durch ein Lichtmodell ersetzt werden sollten, welches das Lichtangebot oder die Lichtabsorption für Einzelbäume im Bestand beschreibt. Insbesondere für die Modellierung der Wachstumsgänge in ungleichaltrigen Wäldern, in denen der geringe Lichtgenuss das Wachstum des Unterstandes wesentlich stärker beschränkt als das des Oberstandes, wird ein solcher Ansatz als biologisch plausibel und zielführend beurteilt.

5.3.2.3 Höhenzuwachsmodell

Für die Prognose des Höhenzuwachses finden sich in der Literatur zahlreiche unterschiedliche Modellansätze. Methodisch lassen sich die verschiedenen Ansätze in drei Kategorien unterteilen.

1. Schätzung des Höhenzuwachses mit Hilfe „indirekter“ Modellansätze

In diese Gruppe fallen die Höhenzuwachsmodele von KNIELING (1994), HASENAUER (1999b) sowie das Modell von BIBER (1996). Der Ansatz von KNIELING (1994) schätzt den Höhenzuwachs mit Hilfe der Variablen BHD, Höhe sowie dem Durchmesserzuwachs ein. Eine ähnliche Vorgehensweise findet sich bei BIBER (1996). Sein Höhenzuwachsmodell basiert auf einem geschichteten Höhenkurvensystem, mit dessen Hilfe aus bekannten Durchmesserzuwachsen der Höhenzuwachs des Einzelbaumes rechnerisch abgeleitet wird. Wie HASENAUER (1999a, b) betont, können solche Modellansätze zu systematischen Verzerrungen führen, die sich u. a. auf die klimatischen Bedingungen innerhalb der zugrunde liegenden Wachstumsperiode zurückführen lassen. BIBER (1996) erklärt die verzerrte Anpassung seines Modellansatzes u. a. mit Fehlern im Verlauf und in der Altersabfolge der konstruierten Bestandeshöhenkurven. Neben diesen zahlreichen Einzelaspekten besteht die wesentliche Gefahr bei der Konstruktion und Anwendung vergleichbarer Modellansätze darin, dass der gesamte abzubildende Wachstumsprozess von nur einer wirklich unabhängigen Eingangsvariable, nämlich dem gemessenem BHD, abhängt.

2. Schätzung des Höhenzuwachses auf Grundlage eines „historischen“ Potentials

Die Ansätze von HASENAUER (1994a) und NAGEL (1999) greifen bei der Modellierung des Höhenzuwachses auf bekannte Höhenwachstumsverläufe aus Ertragstafelsammlungen zurück. So liegen dem Höhenzuwachsmodell des Wachstumssimulators „Moses“ (HASENAUER 1994a) die Oberhöhenverläufe aus den Ertragstafeln von KENNEL (1972), ASSMANN u. FRANZ (1963) und MARSCHALL (1975) zugrunde. Die von HASENAUER (1994a) nachgewiesenen regionalen Abweichungen im Oberhöhenverlauf zum Ertragstafelmodell werden durch einen Korrekturfaktor (q) berücksichtigt, der sich aus dem Verhältnis von gemessenen zu den aus der Tafel ermittelten Höhenzuwachsen errechnet. Auch das Höhenmodell von NAGEL (1999) basiert auf der funktionalen Beschreibung der Oberhöhenentwicklung aus Ertragstafelsammlungen für die verschiedenen Baumarten (SCHOBER 1995). Im Gegensatz zu HASENAUER (1994a) definiert jedoch NAGEL (1999) den „potentiellen“ Höhenzuwachs als Spitzenhöhenzuwachs bei gegebener Bonität und Alter. NAGEL (1999) wie auch HASENAUER (1994a) greifen damit einerseits auf ein breites, abgesichertes Datenmaterial zurück und berücksichtigen andererseits individuelle, regional bedingte Abweichungen vom Oberhöhenverlauf mit Hilfe von Korrekturfaktoren.

3. Schätzung des Höhenzuwachses auf Grundlage eines „standortsabhängigen“ Potentials

Das Höhenzuwachsmodell von KAHN u. PRETZSCH (1997) leitet „direkt standortsabhängige“ Höhenzuwächse über ein Datenset aus 9 Standortvariablen her. Das Modell basiert auf baumartenspezifischen potentiellen Altershöhenbeziehungen, deren Verlauf durch die Standortvariablen Nährstoff-, Wärme- und Wasserversorgung determiniert wird. Mit Hilfe dieser Funktionen lassen sich potentielle maximale Höhenzuwächse für definierte Standorts- und Klimaverhältnisse sowie unter optimalen Wuchsbedingungen herleiten. Der potentielle Höhenzuwachs hat demzufolge als oberen Rahmenwert zugleich eine modellinterne

Begrenzerfunktion. In einem zweiten Modellteil wird darauf aufbauend der maximale Höhenzuwachs auf den tatsächlichen Höhenzuwachs des Einzelbaumes reduziert, indem sowohl Konkurrenz- als auch Baum- bzw. Kronenparameter zur Beschreibung der individuellen Wuchssituation verdichtet werden.

Wie beschrieben konnten mit Hilfe des Oberhöhenkollektivs sowie des Transformationsverfahrens nach KAHN (1994) „potentielle Altershöhenbeziehungen“ für Buche und Lärche hergeleitet werden. Im Gegensatz zu PRETZSCH (1992c), der für die Parametrisierung ein Kollektiv von 40-70 ausgesuchten „biologischen Oberhöhenbäumen“, d. h. Höhenmessbäume, die in dem gesamten Wachstumszeitraum der herrschenden oder vorherrschenden Schicht angehörten, verwendet, wurde für die Parametrisierung der potentiellen Altershöhenbeziehungen im Rahmen dieser Arbeit das Oberhöhenkollektiv nach WEISE herangezogen. Aufgrund der Datenbasis und des methodischen Ansatzes der unechten Zeitreihe musste so verfahren werden, wohl wissend, dass dem nach WEISE definierten Oberhöhenkollektiv im Einzelfall nicht konstant herrschende, sondern nur zum Zeitpunkt der Aufnahme herrschende Bäume angehören. Es wird daher sowohl aus biologischen als auch aus statistischen Gründen die Verwendung von „biologischen Oberhöhenbäumen“ als Datengrundlage für die Parametrisierung von Altershöhenbeziehungen als vorteilhaft beurteilt. Diese Datensätze können jedoch nur mit Hilfe langfristig beobachteter Versuchsflächen, auf denen eine periodische Ansprache der sozialen Stellung des Einzelbaumes im Bestandesgefüge erfolgt, bereitgestellt werden.

Indirekt konnten die Funktionsverläufe aus der Ableitung der potentiellen Höhenzuwächse und dem Vergleich mit den tatsächlich gemessenen Höhenzuwächsen abgesichert werden. Zugleich weisen die Ergebnisse auf die bekannten, vergleichsweise „großen“ Messfehler im Zusammenhang mit der Höhenmessung im Laubholz hin. Darüber hinaus hat die Datengrundlage, sprich die Herleitung der Höhenzuwächse, auf denen die eigentliche Modellparametrisierung basiert, entscheidenden Einfluss auf die „statistische Qualität“. HASENAUER u. MONSERUD (1997) weisen auf den Fehlereinfluss in Höhenzuwachsmoellen unter Verwendung ausgeglichener Einzelbaumdaten aus Durchmesser-Höhenbeziehungen hin. Erwartungsgemäß kommen sie zu dem Ergebnis, dass sich Höhenzuwachsmoelle, in denen fehlende Höhen über Ausgleichsfunktionen hergeleitet werden, im Gegensatz zu Höhenzuwachsmoellen, die ausschließlich mit tatsächlich gemessenen Höhen parametrisiert werden, durch höhere Bestimmtheitsmaße und geringere Standardfehler auszeichnen. Zurückzuführen ist dieser Umstand auf Messungenauigkeiten von bis zu +/- 1-2 % bei der Höhenmessung am stehenden Stamm (KRAMER u. AKÇA 1995).

Aus methodischer Sicht muss des Weiteren die verwendete Wachstumsfunktion als kritisch beurteilt werden. KAHN (1994) hebt hervor, dass die Funktionsparameter der Wachstumsfunktion nach v. Bertalanffy im Gegensatz zu mehrparametrisierten Funktionen, wie z. B. die vielfach angewandte Chapman-Richards-Funktion, biologisch eindeutig interpretiert und verglichen werden können. Demgegenüber weist WINDHAGER (1999a) zu Recht darauf hin, dass Asymptote und Wendepunkt der Wachstumsfunktion nach v. Bertalanffy unmittelbar miteinander gekoppelt sind. So zeichnet sich ein guter Standort durch einen höheren Asymptotenwert und damit zwangsläufig durch eine spätere Kulmination des Höhenzuwachses aus, während umgekehrt auf schlechteren Standorten der Höhenzuwachs funktionsbedingt früher kulminiert. Aus waldwachstumskundlicher Sicht ist die Funktion deshalb nur eingeschränkt als biologisch plausibel zu beurteilen.

Als völlig unbefriedigend muss die Verwendung des Konkurrenzindex FKI zur „Reduktion“ des potentiellen Höhenzuwachses auf den beobachteten Höhenzuwachs beurteilt werden. Die

Ergebnisse deuten vielmehr darauf hin, dass in den beobachteten natürlichen Altersstufen (Stangenholz bis Baumholz) der Höhenzuwachs des Einzelbaumes zu weitaus größeren Anteilen durch kleinstandörtliche und witterungsbedingte Einflussfaktoren (Niederschlag, Bodenfeuchtigkeit, Temperatur) sowie individuelle genetische Veranlagung beeinflusst wird als durch unmittelbare Konkurrenz um Licht. Die Ergebnisse stehen damit im Widerspruch zu zahlreichen Beobachtungen über den starken Einfluss von Strahlung auf den Höhenzuwachs verschiedener Baumarten in der ersten Phase der Bestandesentwicklung (WAGNER 1994, WAGNER u. SPELLMANN 1993, v. LÜPKE 1982). Stark vereinfacht wird zudem in den verbreiteten Modellansätzen die gleichgerichtete Wirkung einzelner Einflussfaktoren über den gesamten Zeitraum der Einzelbaumentwicklung unterstellt. Die Ergebnisse der Untersuchungen von WAGNER u. RÖKER 1999 zeigen hingegen, dass die gleichgerichtete Wirkung einzelner Faktoren auf das Einzelbaumwachstum über einen längeren Zeitraum nicht unterstellt werden kann. Die Sensitivität der einzelnen Faktoren kann zudem je nach Charakter der betreffenden Baumart (Schatt- oder Lichtbaumart) in seiner Wirkung unterschiedlich sein. Darüber hinaus überlagert insbesondere bei der Höhenentwicklung der natürliche Alterstrend und damit die individuelle Wuchsdynamik der beiden Baumarten den möglichen Einfluss von Konkurrenzparametern auf den Höhenzuwachs.

Als Ergebnis der Untersuchungen wird im Zusammenhang mit der Parametrisierung künftiger Höhenzuwachsmodele empfohlen, in größerem Umfang als bislang üblich mit Hilfe von Stammanalysen das Datenmaterial zu verbessern. In Frage kommen dafür sowohl Bäume, die im Rahmen von Durchforstungen auf beobachteten Messparzellen entnommen werden als auch Bäume in unmittelbarer Nachbarschaft der Versuchsflächen. Um weitere signifikante Einflussfaktoren (Standorts- und/oder Klimavariablen) in künftige Modellansätze integrieren zu können, sollten darüber hinaus insbesondere komplexere Versuchsanlagen, wie bspw. die Level II – Flächen, unter waldwachstumskundlichen Aspekten intensiver als bislang geschehen analysiert werden. Vergleichbare Empfehlungen trifft die Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Level II“ im Zusammenhang mit der Datenaufnahme und –auswertung der bundesweit eingerichteten Dauerbeobachtungsflächen zur forstlichen Umweltkontrolle (BML 2000).

5.3.3 Übersicht und Gültigkeitsbereich der Modellfunktionen

Abbildung 5-3 zeigt in Form einer schematischen Übersicht die unterschiedlichen Teilmodelle und gewählten Funktionen des parametrisierten Wachstumsmodells für Buchen-Lärchen-Mischbestände.

Teilmodell	Kapitel	Wuchsmodell für Buchen-Lärchen-Mischbestände	
Kronenmantelfläche	4.4.2.1 u. 4.4.2.2	I) Höhe der Lichtkronenbasis $h_{kr\ max} = 0,7874 \cdot h + 0,5442$ (Buche) $h_{kr\ max} = 0,8926 \cdot h - 2,8279$ (Lärche)	II) Kronenmantelfläche der Lichtkrone $km_{Lk} = \frac{2 \cdot p \cdot kl \cdot kr_{max}}{3}$ (Lärche) $km_{Lk} = \frac{3 \cdot p \cdot kl \cdot kr_{max}}{5}$ (Buche)
Konkurrenzfaktor	4.4.1	FKI	skyview index (modifiziert nach BIBER 1996, wobei die asymmetrische Kronenausformung berücksichtigt wird. Baumarten- und himmelsrichtungsspezifische Gewichtung fließt mit ein).
Höhenzuwachs	4.4.4	I) Modellansatz für die Baumart Buche: Grundlage: potentielle Altershöhenbeziehung (ih_{pot}) $ih = b_1 \cdot ih_{pot} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-b_2}{FKI_{gew}}\right) \right)$	II) Modellansatz für die Baumart Lärche: Direktschätzung aus der Höhe $ig = c \cdot \ln(h) + b$
Durchmesserzuwachs	4.4.3	$ig = e^{\left(c_1 \cdot \left(\frac{c_2}{km_{Lk}}\right)\right)} \cdot e^{-c_3 \cdot FKI}$	Identischer Modellansatz für beide Baumarten. Als Eingangsvariablen werden ausschließlich die Kronenmantelfläche der Lichtkrone und der Konkurrenzfaktor FKI verwendet.
Veränderung des Kronenansatzes	4.4.2.4	$ka_i = h_i \cdot \left[1 - e^{-\left(c_0 + c_1 \cdot \frac{h_i}{d_i}\right)^2} \right]$	Identischer Modellansatz für beide Baumarten.
Kronenbreitenveränderung	4.4.2.3	I) Ableitung der potentiellen Kronenbreitenveränderungen für Buche und Lärche $ir_{pot} = c \cdot \ln(kr) + b$	II) Zuwachsreduktion der Kronenbreitenentwicklung aufgrund der „Raumkonkurrenz“ (D) im dreidimensionalen Kronenraum $ir / ir_{pot} = (a \cdot D^2) - (b \cdot D) + c$

Abbildung 5-3: Übersicht der unterschiedlichen Teilmodelle und gewählten Funktionen des Wuchsmodells für Buchen-Lärchen-Mischbestände.

Mit Ausnahme des Teilmodells für die Prognose des Kronenansatzes unterscheidet sich das entwickelte Wuchsmodell von den Modellansätzen des Einzelbaumsimulators **BwinPro** (NAGEL 1999) sowohl hinsichtlich der funktionalen Ansätze für die Prognose der Zuwachsgrößen Durchmesser, Höhe und Kronenbreite als auch hinsichtlich des verwendeten Konkurrenzfaktors.

Der zugrunde liegende *abstandsabhängige Einzelbaumansatz* gewährleistet ein ausreichend flexibles Modellverhalten und hohe Aussagequalität hinsichtlich unterschiedlicher Mischungsformen. In Bezug auf die Simulation unterschiedlicher Behandlungsvarianten ist hingegen die Aussagequalität des Modells als eingeschränkt zu beurteilen, da das verwendete Datenmaterial weder extremen Dichtstand noch Lichtwuchssituationen beinhaltet. Vielmehr repräsentiert das zugrunde liegende Datenmaterial den durchschnittlichen waldbaulichen Pflegezustand und praxisübliche Bestockungsgrade vergleichbarer Buchen-Lärchen-Mischbestände.

Aufgrund der regressionsanalytischen Modellansätze ist darüber hinaus zu betonen, dass sich der Anwendungsbereich der parametrisierten Modellfunktionen auf annähernd gleichaltrige Buchen-Lärchen-Mischbestände im Alter zwischen 40 und 160 Jahren beschränkt, die zudem vergleichbare standörtliche und klimatische Verhältnisse aufweisen.

5.4 Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf

5.4.1 Der Wachstumssimulator als Gesamtmodell

Im Unterschied zu den im Rahmen der Arbeit hergeleiteten Funktionen des Wuchsmodells wurde durch die SEKTION ERTRAGSKUNDE IM VERBAND DER FORSTLICHEN VERSUCHSANSTALTEN (2000) festgeschrieben, dass unter dem Begriff „Wachstumssimulator“ umfassende und praktikable EDV-Programme subsumiert werden. Konsequenterweise sind daher im Rahmen weiterer Entwicklungsarbeit die verschiedenen Funktionen und Teilmodelle in entsprechende Programmroutinen zu übersetzen bzw. in Verbindung mit vorhandenen Programmroutinen zu einem lauffähigen Wachstumssimulator zu verknüpfen. Umgekehrt gilt es, zu überprüfen, welche Schnittstellen innerhalb des niedersächsischen Wachstumssimulators BwinPro bestehen, um die parametrisierten Funktionen zu integrieren und damit die Simulation und Prognosegenauigkeit der Wachstumsfunktionen für Buchen-Lärchen-Mischbestände zu verbessern.

Unabhängig davon, in welcher Richtung die Modellansätze weiterverwendet bzw. integriert werden, gewährleistet der zugrunde gelegte „positionsabhängige Einzelbaumansatz“ in jedem Fall die Weiterentwicklung eines überaus flexiblen Analyse- und Prognoseinstrumentes, mit dem treffsichere Aussagen zur Dimensions- und Vorratsentwicklung simuliert werden können. PRETZSCH (1994b) wie auch PUKKALA (1989) weisen darauf hin, dass insbesondere positionsabhängige Einzelbaum-Wuchsmodelle durch ihre Anpassungsfähigkeit an verschiedene Bestandesaufbauformen und Behandlungsalternativen den „bestmöglichen Zugang zur Konstruktion von Managementmodellen für Mischbestände gestatten“. So können einfachere, positionsunabhängige Modelle strukturbedingte Zuwachsreaktionen, wie sie bspw. als Folge geklumpfter Stammverteilungsmuster zu beobachten sind, nicht ausreichend genau erfassen und damit zu gravierenden Fehleinschätzungen des Bestandeszuwachses führen (PRETZSCH 1994b).

Die Grundstruktur des möglicherweise zu programmierenden Wachstumssimulators ist Abbildung 5-4 zu entnehmen. Demnach setzt sich der Simulator aus drei unabhängigen Einzel-

bausteinen zusammen. Im Mittelpunkt des Gesamtmodells steht ein „dynamisches“ Kronenmodell, mit dessen Hilfe horizontale richtungsspezifische Kronenbreitenveränderungen in Abhängigkeit von der Ausformung der Krone des Einzelbaumes im dreidimensionalen Kronenraum prognostiziert werden. Eingangsgrößen für diesen zentralen Modellteil sind die Position des Einzelbaumes, richtungsspezifische Kronenbreiten sowie die Höhe der maximalen Kronenbreite. Die Veränderungen der Kronenbreiten (-dimensionen) werden darauf aufbauend über die bestehenden Nachbarschaftsverhältnisse ermittelt, und die jeweilige Lichtkronenmantelfläche wird als weitere Steuergröße berechnet. Im zweiten Modellteil wird mit Hilfe der Lichtkronenmantelfläche sowie dem Konkurrenzindex FKI der Kreisflächen- bzw. Durchmesserzuwachs prognostiziert. Als dritte Hauptzuwachsgröße wird der Höhenzuwachs des Einzelbaumes im dritten Modellteil mit Hilfe der Eingangsgrößen Höhe und Konkurrenzindex FKI abgeleitet.

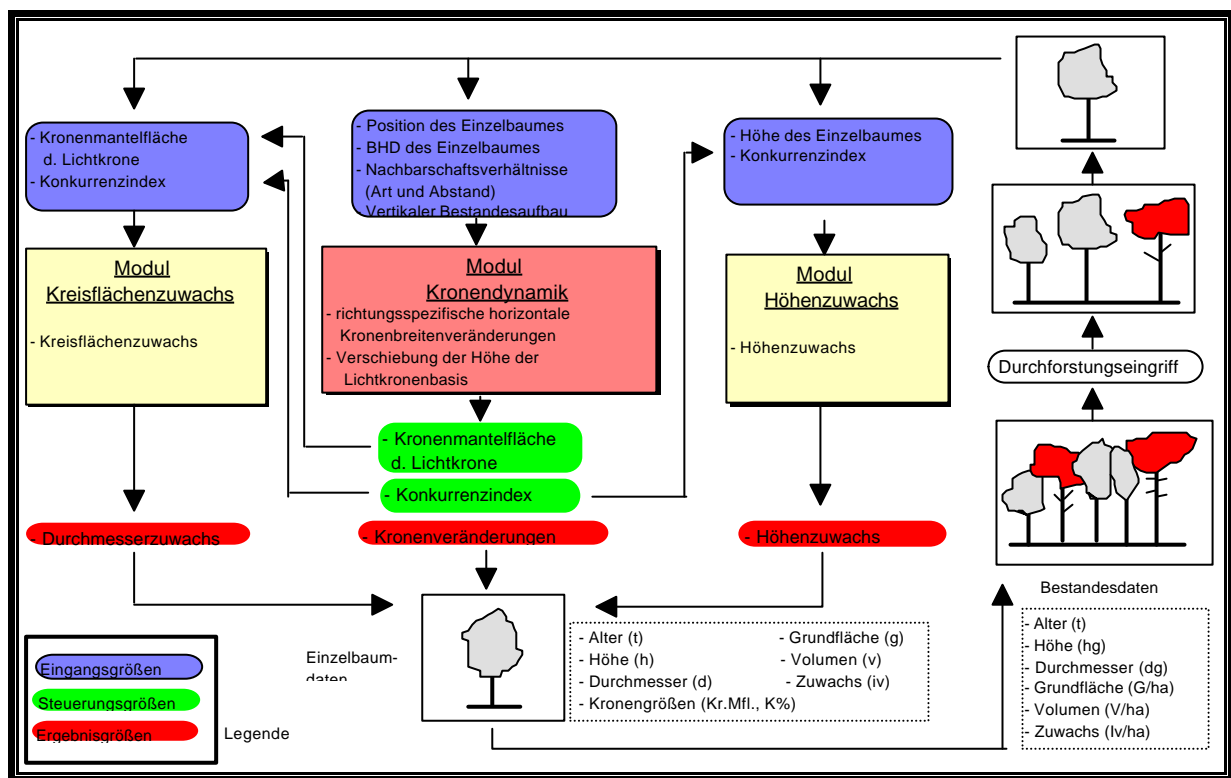


Abbildung 5-4: Schematische Darstellung zum Aufbau des Wachstumssimulators als Gesamtmodell.

Mit jedem Prognoseintervall werden auf Ebene des Einzelbaumes die horizontalen Kronenbreitenveränderungen sowie die Durchmesser- und Höhenzuwächse berechnet. Klassische Bestandesparameter, wie Bestandesvorrat und Grundflächenhaltung, Mischungsanteile sowie auch Durchmesser- und Höhenverteilungen, können darauf aufbauend aus den aggregierten Einzelbaumergebnissen abgeleitet werden.

5.4.2 Konzeptionelle Überlegungen zu künftigen Forschungsschwerpunkten

Mit steigenden Anforderungen bzw. Erwartungen der forstlichen Praxis an die bislang regressionsanalytisch hergeleiteten Wachstumsmodelle gerät die waldwachstumkundliche Forschung zunehmend in das Spannungsfeld zwischen theoretischem Anspruch und derzeit praktisch umsetzbaren Modellansätzen. So fordert EDER (1997) die Entwicklung dynamischer Informationssysteme, die nicht nur die Wuchsdynamik von Mischbeständen zutreffend

abbilden sollen, sondern zugleich Standortveränderungen und die damit einhergehenden Änderungen der Wachstumsrelationen sowie waldbauliche und betriebswirtschaftliche Simulationen ermöglichen sollen. STERBA (1997a) warnt eindringlich vor der hohen Erwartungshaltung seitens der Praxis hinsichtlich der Anwendungsmöglichkeiten der gegenwärtigen Einzelbaumsimulatoren (siehe Kapitel 1.1), wobei er darauf hinweist, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt Anspruch und Realität der vorhandenen Datengrundlagen extrem voneinander abweichen.

Neben der anzustrebenden grundsätzlichen Verbesserung der Datengrundlage (siehe dazu Kapitel 5.6) erscheinen sowohl mit der allgemeinen Weiterentwicklung von Einzelbaumsimulatoren als auch speziell mit der weiteren Verbesserung des parametrisierten Wachstumsmodells für Buchen-Lärchen-Mischbestände die folgenden Forschungsschwerpunkte von besonderem, vorrangigem Interesse:

Modellierung des Standort-Leistungsbezuges

Aufgrund der Veränderungen ökosystemarer Rahmenbedingungen (THOMASIIUS 1988, ULRICH et al. 1979) sowie der feststellbaren standörtlichen Veränderungen (PRETZSCH 1992e, 1999, KELLER 1992) sind die vorhandenen Ansätze zur Modellierung des Standort-Leistungsbezuges zu evaluieren und ggf. auf Grundlage einer breiten, aktuellen Datenbasis zu verbessern. Dies gilt sowohl für die regressionsanalytisch hergeleiteten Ansätze (MOOSMAYER et al. 1996) als auch für den regelorientierten, auf Fuzzy-Logik basierenden Ansatz von KAHN (1994). Insbesondere im Zusammenhang mit der Modellierung des Standort-Leistungsbezuges fordert STERBA (1998) eine grundlegende Verbreiterung der Datengrundlage, die Rückschlüsse auf das Standortpotential zulässt. Besonders vielversprechend erscheint dabei die waldwachstumkundliche Bearbeitung der bundesweiten Level II-Flächen, auf denen sowohl klassische ertragskundliche Parameter als auch eine Vielzahl standörtlicher und klimatischer Variablen mit hoher zeitlicher Auflösung erfasst werden. Darüber hinaus erfolgen auf diesen Flächen regelmäßige Vitalitätsansprachen hinsichtlich des Kronenzustandes, die als weitere Eingangsvariablen bei der Parametrisierung von Zuwachsfunktionen zusätzlichen, biologisch plausiblen Erklärungsgewinn leisten könnten.

Weiterentwicklung der Mortalitätsmodelle

Konkurrenzbedingte Mortalitätsprozesse werden im Wachstumssimulator SILVA 2.1 (PRETZSCH 1997) mit Hilfe des Ansatzes von DURSKY et al. (1996) modelliert. Es handelt sich dabei um eine Modellkonstruktion, die logistische Regression (Logit-Funktionen), Wahrscheinlichkeitsfunktionen und stochastische Auswahl miteinander verknüpft. Die Grundlage bilden A-Grad-Parzellen langfristiger bayerischer Versuchsflächen. Um in Ergänzung dazu auch Aussagen über die Risikobelastung von Waldbeständen durch Schneebruch oder Windwurf treffen zu können, wird derzeit auf der Grundlage von Versuchsflächen und Forsteinrichtungsdaten untersucht, in welcher Form funktionale Zusammenhänge zwischen Bestandes-, Baum- und Standortvariablen und der Eintrittswahrscheinlichkeit vergleichbarer Schadereignisse erfasst und in den Wachstumssimulator SILVA 2.1 übernommen werden können (PRETZSCH 1997). Im Gegensatz dazu beinhaltet der Niedersächsische Wachstumssimulator „Bwin-Pro“ (NAGEL 1999) keine Mortalitätsfunktion im oben beschriebenen Sinne. Stattdessen werden auf Grundlage des Ansatzes von REINECKE (1933) und STERBA (1981) über den maximalen Kronenschlussgrad Modellgrenzen definiert, mit deren Überschreiten die Stammzahlen automatisch abgesenkt werden. NAGEL (1999) selbst weist darauf hin, dass dieser Ansatz keine Mortalitätsfunktion ersetzen kann. Es erscheint daher als sinnvoll, einen der künftigen Forschungsschwerpunkte auf die Analyse der undurchforsteten A-Grad-Flächen

im ertragskundlichen Versuchsnetz der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt zu setzen, um mittelfristig den derzeitigen Modellansatz durch wirksame und biologisch plausible Mortalitätsfunktionen zu ersetzen.

Entwicklung und Integration von Verjüngungsmodellen in Einzelbaumsimulatoren

Um langfristige Bestandesentwicklungsszenarien modellieren zu können, ist es erforderlich, die derzeit lauffähigen Einzelbaumsimulatoren um Verjüngungsmodelle zu ergänzen, die es ermöglichen, das Ankommen und die Jugendentwicklung des Nachwuchses zu prognostizieren (STERBA et al. 1997b). Zahlreiche Untersuchungen, wie die von WAGNER (1994, 1999) und BRUNNER (1994, 1999), weisen dabei auf die überaus komplexen ökologischen Zusammenhänge bei der modellhaften Nachbildung des Naturverjüngungsprozesses hin. So wird das Ankommen der Verjüngung u. a. durch den Fruktifikationseintritt, den Samenfall und die Samenausbreitung beeinflusst. Am Beispiel von Buchen-Eschen-Naturverjüngungen stellt WAGNER (1999) heraus, dass die weitere Entwicklung der Verjüngung insbesondere durch das Strahlungsangebot und die Altholzwurzelkonkurrenz beeinflusst wird. In diesem Zusammenhang stellen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bezüglich der Beziehung zwischen Kronenentwicklung und Kronenausformung einerseits und der individuellen Nachbarschaftsverhältnisse andererseits eine wichtige Modellschnittstelle zwischen Hauptbestand und Verjüngung dar (MCPHERSON u. ROWNTREE 1988). BRUNNER (1997) stellt bei der Kalibrierung des Lichtmodells „tRAYci“ fest, dass ein Großteil der Streuung der Lichtwerte im Vergleich zwischen Simulation und hemisphärischen Fotos auf unrealistische Kronenrepräsentationen in Form symmetrischer Rotationskörper zurückzuführen ist. Es wird daher angeregt, vergleichbare Untersuchungen mit dem entwickelten „dynamischen Kronenmodell“ am Beispiel von Buchen-Lärchen-Mischbeständen durchzuführen mit dem Ziel, weitere Wissenslücken und Unzulänglichkeiten bei der Repräsentation von Kronenmodellen in Einzelbaumsimulatoren zu schließen. Ergänzend ist zu überprüfen, ob und mit welcher Genauigkeit sich der „Diffuse Site Factor (DIFFSF)“ auch rechnerisch bestimmen lässt und welche Verbesserung der Prognosegenauigkeit durch die Verwendung von acht Kronenablotungsradien anstelle des Mittelwertes erreichbar ist (NAGEL et al. 1996b).

Modellierung der Qualitätsentwicklung

Im Gegensatz zur Baumklassifikation nach KRAFT (1884), die rein biologisch ausgerichtet sowohl die soziale Stellung als auch den Kronenzustand der einzelnen Bestandesglieder sehr differenziert anspricht, wurde die Baumklasseneinteilung des Vereins Forstlicher Versuchsanstalten von 1902 um die Ansprache der Stammform und sonstiger Eigenschaften/Fehler erweitert mit dem Ziel, die durchzuführenden Pflegemaßnahmen in den Durchforstungsversuchen besser beschreiben zu können. Mit den Auswertungen dieser Kronen- und Stammansprachen im Rahmen der Untersuchungen in Buchen-Lärchen-Mischbeständen konnte aufgezeigt werden, dass mit Hilfe der standardmäßig erhobenen Merkmale die Qualität des Einzelstammes nur unzureichend beschrieben werden kann. Insofern ist auch zu bezweifeln, dass auf Grundlage der auf allen ertragskundlichen Versuchsflächen regelmäßig durchgeführten verbalen Stammansprachen Programmroutinen entwickelt werden können, mit denen ergänzende qualitative Bestandesmerkmale erfasst bzw. umgekehrt prognostiziert werden können. Vielmehr wird es für erforderlich gehalten, weitaus detailliertere Stamm- und Kronenanalysen durchzuführen, um sowohl die äußeren Holzqualitäten, wie bspw. Ästigkeit und Formfehler, als auch die inneren Holzqualitäten, wie bspw. Jahringaufbau und Rohdichte, erfassen zu können. In diesem Zusammenhang wird angeregt, zu überprüfen, ob sich die von WIEGARD et al. (1997) entwickelte Erdstückmethode der Wertinventur eignet, um die

Qualitätsentwicklung auf den langfristigen ertragskundlichen Versuchsflächen besser zu erfassen.

5.5 Überlegungen zur Versuchsmethodik – Waldbauliche Behandlung von Mischbestands-Wuchsreihen

Die Ergebnisse der Fallstudie verdeutlichen, dass je nach waldbaulicher Ausgangssituation auf der Einzelfläche nur eingeschränkte waldbauliche Möglichkeiten bestehen, „gezielte“ Konkurrenzsituationen zu erzeugen, die für die Modellparametrisierung von Bedeutung sein können. Vielmehr ist die waldbauliche Ausgangssituation, die durch die Mischungsanteile und die Mischungsform der beteiligten Baumarten im Einzelfall vorgegeben wird, von ausschlaggebender Bedeutung. Die waldbauliche Ausgangssituation ist damit neben der standörtlichen Vergleichbarkeit eines der wichtigsten Kriterien bei der Auswahl von Einzelflächen, mit deren Zuwachsdaten flexible Mischbestandssimulatoren parametrisiert werden können. Darüber hinaus hat das Alter der beobachteten Mischbestände einen limitierenden Einfluss hinsichtlich der waldbaulichen Steuerungsmöglichkeiten durch den Versuchsansteller.

Es wird ebenfalls deutlich, dass nur auf Grundlage von originär experimentellen Versuchsanstellungen Datensätze „erzeugt“ werden können, die als Extremwerte für die Reparametrisierung von Wachstumssimulatoren wie BWINPro (NAGEL 1999) künftig zur Verfügung stehen sollten. Konsequenterweise wurde deshalb damit begonnen „ertragskundliche Einzelbaumexperimente“ anzulegen (GUERICKE u. SPELLMANN 2000). Dem Konzept liegt die Überlegung zugrunde, dass Freistellungsreaktionen von Bäumen unterschiedlicher sozialer Klassen beobachtet werden sollen, die entweder überhaupt nicht oder der Ausgangssituation angepasst möglichst extrem freigestellt werden. Es orientiert sich stark an den „Empfehlungen für ertragskundliche Versuche zur Beobachtung der Reaktion von Bäumen auf unterschiedliche Freistellung“, die von der SEKTION ERTRAGSKUNDE IM DEUTSCHEN VERBAND FORSTLICHER FORSCHUNGSANSTALTEN 1986 gemeinsam erarbeitet wurden.

So wurden bei der Anlage des ersten Einzelbaumexperimentes für die Baumart Douglasie die beobachteten „Zentralbäume“ proportional zu ihrer Ausgangsdimension und damit vergleichbar freigestellt, wobei die gewählten Freistellungsvarianten mit Hilfe des A-Wertes von JOHANN (1982) definiert wurden. Die Auswahl der zu beobachtenden „Zentralbäume“ erfolgte auf Grundlage der Durchmesservertelung des Gesamtbestandes mit dem Ziel, ein möglichst breites Durchmesserspektrum abzudecken.

Ergänzend zu den klassischen Versuchsflächen, die als langfristig beobachtete Zeitreihen derzeit noch die wichtigste Datengrundlage für die Modellparametrisierung an der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt darstellen, werden künftig sowohl die in jüngster Zeit angelegten Mischbestandswuchsreihen als auch in verstärktem Umfang Einzelbaumexperimente einen entscheidenden Beitrag zur Verbreiterung der waldwachstumskundlichen Datengrundlage und damit für die Weiterentwicklung von Einzelbaumsimulatoren leisten.

6 Waldbauliche Konsequenzen für die Behandlung von Mischbeständen aus Buche und Europäischer Lärche im südniedersächsischen Bergland

„Möge auch dieser edlen Lichtholzart daher ein ihrem hohen Anbauwert entsprechender Anteil auf geeigneten Standorten des deutschen Waldes gegeben werden“ (SCHOBER 1977).

In diesem Sinn sollen die Ergebnisse der vorgelegten Untersuchung zum waldwachstumskundlichen Verständnis über den Wuchs und die Dynamik von Buchen-Lärchen-Mischbeständen beitragen. Auf Grundlage der Ergebnisse der Versuchsflächenanalysen, der Algorithmen, die im Rahmen der Modellparametrisierung entwickelt wurden sowie der Konkurrenzuntersuchungen und ergänzender Literaturrecherchen werden abschließend die wichtigsten waldbauliche Konsequenzen für die Behandlung von Buchen-Lärchen-Mischbeständen abgeleitet. Damit wird die Bedeutung zielgerichteter waldbaulicher Pflege als Dreh- und Angelpunkt für die erfolgreiche Bewirtschaftung von Buchen-Lärchen-Mischbeständen unterstrichen.

6.1 Begründung und Pflege von gleichaltrigen Buchen-Lärchen-Mischbeständen

Bestandesbegründung

Im Idealfall ist die Lärche im Rahmen eines Voranbaus oder durch natürliche Vorausverjüngung auf Bestandeslöchern in die Buche einzubringen. Dadurch wird der notwendige Wuchsvorsprung gegenüber der Buche sichergestellt und gewährleistet, dass die Konkurrenzverhältnisse über einen längeren Zeitraum in der Bestandesentwicklung entspannt bleiben. In der forstlichen Praxis stellt jedoch das nachträgliche Auspflanzen und die Ergänzung unvollkommener Buchennaturverjüngungen den Regelfall dar. Bei diesen Ausgangssituationen ist die Höhe der Buchennaturverjüngung, die je nach Standort, Exposition und Überschildung variieren kann, von ausschlaggebender Bedeutung für die weitere Bestandesentwicklung. MÜLLER-USING (1987) empfiehlt die Einbringung der Lärche in bis maximal kniehohe Buchennaturverjüngungen, damit die Lärche den Anschluss an die Buche behält bzw. rasch vorwüchsig werden kann. Optimale Flächengrößen für die Einbringung der Lärche sind 20 x 20 m bis 30 x 30 m große Flächen, auf denen die Buchennaturverjüngung ausgeblieben ist (STÄDTLER 1995). Dies entspricht einer mindestens gruppen- bis horstweisen Beimischung der Lärche. Umgekehrt dürfen weder gut gelungene, dichte Buchennaturverjüngungen mit Lärche überpflanzt werden noch darf die Lärche als „Lückenbüßerin“ nur einzelstammweise eingebracht werden (SCHOBER 1977). Auch OTTO (1985) empfiehlt unter den Verhältnissen in Norddeutschland die mindestens trupp- bis gruppenweise Mischung der Lärche zur Buche, um dadurch die Konkurrenzverhältnisse zwischen Buche und Lärche zu entspannen.

Die entstehenden Mischungsformen und Mischungsanteile sind demnach primär von der Größe der auszupflanzenden Fehlstellen abhängig. Die vorgezeichneten Flächen sind möglichst vollständig ohne größeren Abstand zur Buche auszupflanzen. Die i. d. R. qualitativ schlechteren Randbuchen können vielmehr zu einem späteren Zeitpunkt der Bestandesentwicklung zur natürlichen Astreinigung der Lärchen beitragen. Die zu verwendenden Lärchensortimente richten sich nach der vorhandenen Begleitvegetation sowie der Höhenrelation zur vorhandenen Buche. RÖHRIG (1974) empfiehlt 2-4-jähriges, verschultes Pflanzenmaterial, wobei sich als gebräuchliche Sortimente 1+1, 1+2 bzw. 2+2-jährige Lärchen mit Größen von 80 cm bis 120 cm bewährt haben. Die Lärchen sind im 1,5 x 1,5 m bis maximal 2 x 2 m Verband einzubringen. Weitere Verbände verschlechtern die Schaftform, begünstigen die Ast-

stärkenentwicklung und Verzögern die natürliche Astreinigung (BONNEMANN et al. 1971, FRÖMSDORF u. MAGNUSSEN 1980, LANGERFELDT 1987, RÖHRIG 1995, SUCHOCKAS u. MALINAUSKAS 1997). Darüber hinaus gewährleisten die Verbandsweiten mit Pflanzenzahlen zwischen 3500 und 4500 Lärchen/ha eine gewisse Reservehaltung, da auch bei Wahl geeigneter Herkünfte in der Lärche im Regelfall eine größere Anzahl ungeeigneter Bäume bereits in der Jugendphase entnommen werden muss. Zudem sind etwas höhere Pflanzenzahlen empfehlenswert, da die zur Ergänzung vorgesehenen Kleinstflächen meist vergrast oder verkrautet sind und i. d. R. stärker vom Wild frequentiert werden. Nachbesserungen mit Lärche sind hingegen zu vermeiden, da sie sowohl in ihrer Höhen- als auch Durchmesserentwicklung gegenüber der Erstkultur keinen Anschluss mehr bekommen (SCHMALTZ 1986).

Im Zusammenhang mit der Herkunftswahl der Lärchen weisen die Untersuchungen von SCHOBER u. FRÖHLICH (1967), SCHOBER (1977) und KLEINSCHMIT (1988) darauf hin, dass nur die vier Herkunftsgruppen Sudeten, Ost-Alpen, Wienerwald und Hohe Tatra für den Anbau der europäischen Lärche im zentraleuropäischen Raum in Frage kommen. Speziell für das niedersächsische Bergland sind Herkünfte aus den Ostalpen und der Hohen Tatra geeignet, die sich durch mittleres bis gutes Wachstum bei überwiegend guter Stammform und relativ guter Krebsresistenz bewährt haben.

Falls die Lärche nicht gezielt vorausverjüngt wird, entscheidet die Flächengröße der unbestockten Bestandesteile über ihren künftigen Mischungsanteil im Altbestand. Waldbauliche Erfahrungen aus dem südniedersächsischen Bergland haben gezeigt, dass bei der künstlichen Begründung von Buchen-Lärchen-Mischbeständen 500 bis 600 Lärchen/ha ausreichen, um grundflächenbezogene Mischungsanteile der Lärche in Altbeständen zwischen 30 % und 40 % herauspflegen zu können (STÄDTLER 1991). Bei einer geringeren Zielvorgabe von lediglich 20 % bis 30 % grundflächenbezogenen Mischungsanteils der Lärche im Waldentwicklungstyp Buche-Lärche (WET 28) werden 400 bis maximal 500 Lärchen/ha als ausreichend angesehen, um das Bestandes- und Produktionsziel waldbaulich umsetzen zu können.

Vergl. dazu Kapitel 4.2.2.2 Die Stammzahl- und Grundflächenentwicklung der aufgenommenen Buchen-Lärchen-Mischbestände weisen darauf hin, dass die empfohlenen 400 bis maximal 500 Lärchen/ha eine ausreichende Reserve beinhalten, um Buchen-Lärchen-Mischbestände mit einem grundflächenbezogenen Mischungsanteil der Lärche zwischen 20 % und 30 % entwickeln zu können. So lässt Abbildung 4-12 erkennen, dass die Stammzahlen der beigemischten Lärchen im Alter zwischen 30 und 80 Jahren zwischen 100 und maximal 250 Lärchen/ha schwanken. Ab Alter 80 liegen die Stammzahlen der Lärche konstant unter 100 Lärchen/ha und sinken mit zunehmendem Alter auf rd. 30 Lärchen/ha im Endbestand ab. Gleichzeitig nimmt die Lärche bis zum Alter 80 grundflächenbezogene Mischungsanteile zwischen 35 % und 45 % ein. Erst ab Alter 80 sinken die beobachteten Grundflächenanteile der Lärche auf Einzelflächen bis auf nahezu 20 % ab.

Im Durchschnitt der älteren Bestände hält die Lärche jedoch einen grundflächenbezogenen Mischungsanteil von 30 %. Die waldbauliche Entwicklung der aufgenommenen Mischbestände entspricht demzufolge dem angestrebten Produktionsziel des WET 28 (Buche-Lärche).

Bei einem unterstellten mittleren Pflanzverband von 1,7 x 1,7 m sowie der idealen gruppen- bis horstweisen Beimischung der Lärche entspricht dies planerisch vier Gruppen bzw. zwei Horsten, die für eine zielgerichtete Ergänzung von Buchengrundbeständen mit Lärche ausreichen.

Hinsichtlich der Stellung und des Schlussgrades des Altbestandes weisen die Untersuchungen durch v. LÜPKE (1982, 1992) darauf hin, dass auch die Lichtbaumart Lärche durchaus in femelartigen Verjüngungsgängen eingebracht werden kann. Der Voranbau auf Femellücken erhöht die Qualität des Jungwuchses, schützt gegen Spätfröste und erlaubt es, den Lichtungszuwachs im Altbestand mit abzuschöpfen. Je nach Ausgangssituation sind jedoch die Höhen- und Durchmesserentwicklungen der eingebrachten Lärchen im Vergleich zum Buchen- nachwuchs laufend zu beobachten und rechtzeitige Nachlichtungen zugunsten der Lärche durchzuführen.

Neben der künstlichen Einbringung der Lärche ist in verjüngungswürdigen Altbeständen auch die Übernahme guter Lärchen-Naturverjüngung denkbar. Dies setzt jedoch eine ausreichende Flächengröße sowie günstige Mischungsformen voraus. Darüber hinaus muss die verjüngte Lärche einen ausreichenden Wuchsvorsprung gegenüber der Buche erkennen lassen.

Grundsätze zielgerichteter Bestandespflege

Unabhängig von Bonität und Alter müssen sich aus waldbaulicher Sicht die Zeitpunkte der erforderlichen Pflegemaßnahmen in Buchen-Lärchen-Mischbeständen in erster Linie an der **Oberhöhenentwicklung der Lärchenmischungsanteile** orientieren. Dadurch wird sowohl der unterschiedlichen Wuchsdynamik der Lichtbaumart Lärche und der Schattbaumart Buche als auch der unterschiedlichen Konkurrenzstärke beider Baumarten Rechnung getragen. Die waldbauliche Behandlung des **Buchengrundbestandes** erfolgt hingegen zeitlich nachlaufend. Abbildung 6-1 verdeutlicht die unterschiedlichen Oberhöhenwachstumsgänge der beiden Baumarten Lärche und Buche, wie sie unter Abschnitt 4.4.4.2 für den Wuchsbezirk „Unterer Solling“ hergeleitet wurden. Es wird ersichtlich, dass der Höhenzuwachs der Lärche im Vergleich zur Buche früher, nämlich bereits im Alter 20, und auf höherem absoluten Niveau (0,9 m/Jahr) kulminiert. Danach fallen die Höhenzuwächse der Lärche rasch unter das Niveau der Buche, die ab Alter 40 kontinuierlich größere Höhenzuwächse als die Lärche zu leisten vermag. Ab Alter 120 lässt die Altershöhenentwicklung die Dominanz der Buche erkennen, die sich auf vergleichbaren Standorten und unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen gegenüber der Lärche langfristig durchsetzt.

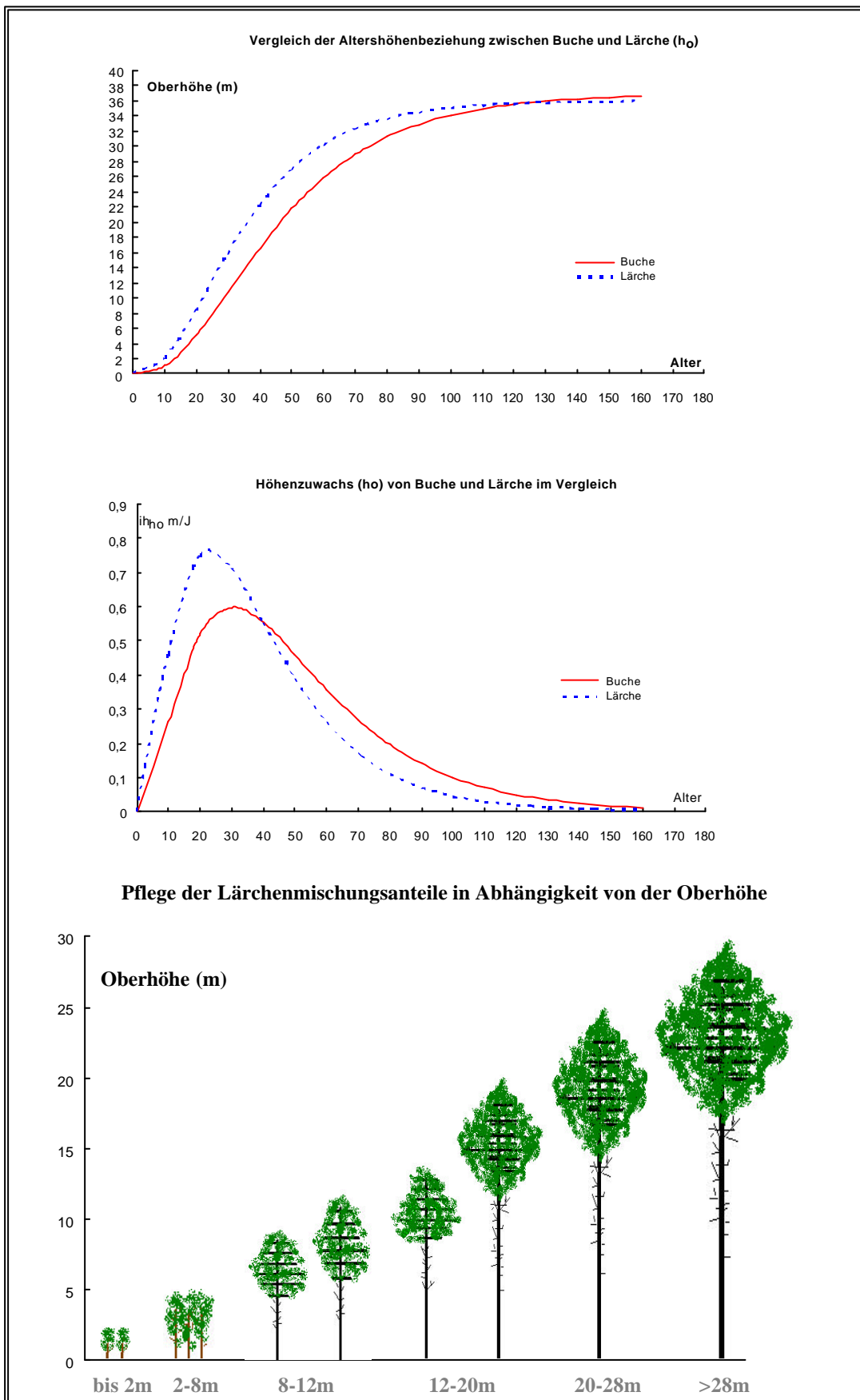


Abbildung 6-1: Vergleich der Altershöhenbeziehungen und Oberhöhenzuwächse für die beiden Baumarten Buche und Lärche im Wuchsbezirk „Unterer Solling“ sowie die abgeleiteten Eingriffszeitpunkte für die Pflege der Lärchenmischungsanteile in Abhängigkeit von der Oberhöhe.

Jungwuchs - Verjüngung bis durchschnittlich 2 m Höhe

Die eingebrachten *Lärchen* sollen möglichst geschlossen und dicht aufwachsen, um Geradschaftigkeit zu fördern und die einsetzende natürliche Astreinigung zu gewährleisten. Je nach Dichte und Konkurrenz der Krautflora kann auf den Lärchenteilflächen das Freischneiden der Kultur erforderlich sein. Dabei sind ggf. bedrängende Weichlaubhölzer sowie bereits offensichtlich krumm- und säbelwüchsige Lärchen mit zu entnehmen, da sich Krümmungen allen praktischen Erfahrungen nach nicht „auswachsen“ (MÜLDER 1979). Je nach Wildstand sind die eingebrachten Lärchen in der Anwuchsphase durch Verbiss- und Fegeschutzmittel zu schützen. Überdichte Lärchennaturverjüngungshorste sind rechtzeitig zu vereinzeln, um die Stabilität z. B. gegenüber Nassschneeauflagen zu erhöhen (siehe Abbildung 6-2).



Abbildung 6-2: Horstweise angekommene Lärchenvorverjüngung in einem hiebsreifen Buchen-Lärchen-Mischbestand.

Im **Buchengrundbestand** sind individuelle Pflegeeingriffe zu vermeiden, da sie arbeitsaufwendig und teuer sind. Nur fallweise kann es angebracht sein, qualitativ sehr schlechte Vorwüchse oder hiebsgeschädigte Buchen auf den Stock zu setzen. Große, unüberschaubare Jungwuchs- und angehende Dickungskomplexe sind rechtzeitig durch gemulchte Pflegelinien (2 m) im Abstand von rd. 20 m zu erschließen. Dadurch wird die weitere Arbeitsorganisation vereinfacht und insbesondere das spätere Auffinden der Lärchenteilflächen gewährleistet.

Jungbestand - Bestände von über 2 m Höhe bis zum Erreichen der Derbholzstärke von 7 cm BHD, Oberhöhe 2-8 m, Wuchsvorsprung der Lärche rd. 3 m

Je nach Wüchsigkeit und Qualitätsentwicklung sind im Rahmen von einem bis maximal zwei Läuterungseingriffen schlechtformige, säbelwüchsige Lärchen zu entnehmen. Die Eingriffe sollen bereits auf die später vorzunehmende Auswahl von Z-Bäumen hinarbeiten und so dosiert werden, dass einerseits das Kollektiv der herrschenden, vitalen und qualitativ gut veranlagten Lärchen eine erste aktive Förderung erfährt, andererseits ein Mindestmaß innerartlicher Konkurrenz erhalten bleibt, um die natürliche Astreinigung zu unterstützen (siehe Abbildung 6-3). Bedrängende Weichlaubhölzer und vitale Buchen, die sich innerhalb der Lärchenteilflächen als offensichtliche Konkurrenten entwickeln, sind zu entfernen bzw. zu köpfen.

Der umgebende *Buchengrundbestand* soll in dieser Phase der Bestandesentwicklung stammzahlreich, gleichmäßig und geschlossen aufwachsen, wodurch die natürliche Astreinigung der Schäfte gefördert wird. Pflegemaßnahmen in der Buche sind daher lediglich im Einzelfall auf die Entnahme von Protzen zu beschränken.



Abbildung 6-3: Lärchenjungbestand aus künstlichem Voranbau.

Stangenholz – **Bestände oberhalb der Derbyholzstärke bis 14 cm BHD, Oberhöhe 8-12 m, Wuchsvorsprung der Lärche rd. 4-5 m**

In der weiteren Bestandesentwicklung schließt sich die Stangenholzphase im Oberhöhenbereich zwischen 8 bis 12 m Oberhöhe an. Aus waldwachstumskundlicher Sicht beginnt damit die wichtigste Entwicklungsphase für die Lichtbaumart Lärche, deren Höhen- und Durchmesserzuwachs frühzeitig kulminieren (siehe Abbildung 6-1). Durch frühzeitige, gezielte Eingriffe gilt es, mit Beginn des Stangenholzalters bis zum ausgehenden geringen Baumholzalter den wichtigsten Grundstein für die weitere Dimensions- und Wertentwicklung der Lärche zu legen.

Je nach Entwicklung und bislang erfolgter Pflege innerhalb der Lärchenteilflächen sind bei Oberhöhen zwischen 8-10 m die ersten Z-Baum-bezogenen Pflegeeingriffe durchzuführen, um frühzeitig und gezielt die Kronen der Lärche herauszupflegen. Nach der aktuellen, waldbaulichen Erlasslage sind dazu derzeit 100 bis maximal 150 Lärchen/ha im Reinbestand als Z-Bäume zu kennzeichnen (Nds. LANDESFORSTVERWALTUNG 2000).

Vergl. dazu Kapitel 4.3.4 und 4.2.4.4

Die aus der Beziehung zwischen BHD und Kronenschirmfläche abgeleiteten Standraumüberlegungen verdeutlichen, dass im Fall der Baumart Lärche bei einem angestrebtem Zieldurchmesser von 60 cm bis zu maximal 70 cm BHD eine mittlere Kronenschirmfläche von 60 m² bis 80 m² zu unterstellen ist. Rein rechnerisch lassen sich daraus Z-Baumzahlen in Höhe von 125 bis 165 Lärchen/ha errechnen. Inklusive einer ausreichenden Reservehaltung von rd. 30 % entspricht dies theoretisch rd. 150 bis maximal 200 Lärchen/ha im Reinbestand, die zum Ende der Stangenholzphase als Z-Bäume zu markieren und freizustellen sind. Bezogen auf den Mischbestand entspricht dies einer anzustrebenden Z-Baum-Zahl von minimal 35 bis maximal 50 Lärchen/ha, die im Buchen-Lärchen-Mischbestand auszuwählen sind.

Im Zusammenhang mit der Analyse der Stammansprachen konnte für die Lärche aufgezeigt werden, dass unter den aufgenommenen qualitativen Verhältnissen im Solling in der Stangenholzphase 45 Lärchen als „potentielle Auslese-bäume“ angesprochen werden konnten. Die abgeleiteten Z-Baum-Zahlen in Höhe von 35 bis zu maximal 50 Lärchen/ha sind demnach in qualitativ vergleichbaren Beständen ohne Probleme zu realisieren und werden deshalb als Richtzahlen empfohlen.

Im Gegensatz dazu wird aufgrund der Beobachtungen in den aufgenommenen Buchen-Lärchen-Mischbeständen empfohlen, rd. **35 bis maximal 50 Lärchen je ha Mischbestand** als **Z-Bäume** zu markieren, wobei diese Zahlen eine ausreichende Reservehaltung von 30 % beinhalten. Dies unterstellt Schirmflächen des Einzelbaumes von 60-80 m², die zum Erreichen von Zielstärken von 60-70 cm BHD erforderlich sind. Rechnerisch ergeben sich daraus Abstände von 8-10 m zwischen den auszuwählenden Z-Bäumen. Die Auswahl der Z-Stämme erfolgt primär nach den Kriterien Vitalität, Qualität und Verteilung. Bei der Qualität ist auf gute Stammformen und Feinästigkeit zu achten. Darüber hinaus ist speziell bei der Lichtbaumart Lärche auf eine annähernd gleichmäßige räumliche Verteilung der Z-Bäume innerhalb der Teilflächen zu achten, um im Laufe der weiteren Bestandesentwicklung eine möglichst gleichmäßige Kronenentwicklung des Einzelbaumes zu fördern.

Bei der Auswahl und Ästung der Z-Bäume innerhalb der Lärchenteilflächen ist darüber hinaus die künftige Feinerschließung zu berücksichtigen, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Für die schadfreie Bringung des anfallenden Lärchenholzes konzentriert sich die Feinerschließung je nach räumlicher Situation des Gesamtbestandes zunächst noch vorrangig auf die Lärchenteilflächen. Dazu können die vorhandenen Pflegelinien zu 4 m breiten Rückegassen aufgehauen werden.

Die gekennzeichneten Z-Bäume sind im Rahmen einer hochdurchforstungsartigen Läuterung/Jungdurchforstung herauszuarbeiten. Konsequenterweise ist die gleichmäßige Kronenentwicklung der geästeten Lärchen durch die Entnahme bedrängender Lärchen im Herrschenden zu fördern. Nach DIPPEL (1988) müssen die Lärchen zur optimalen Kronenentwicklung in dieser

Phase untereinander einen Baumabstand von etwa 3,5-4 m Abstand haben und dementsprechend vereinzelt werden. Vergleichbar betonen THOMASIUŠ u. HELBIG (1976) sowie LEIBUNDGUT (1992) im Zusammenhang mit der Pflege von Jungwüchsen und Jungbeständen der Lärche die Notwendigkeit steter Kronenfreiheit der Lärche. Diese Empfehlungen können aufgrund der Beobachtungen hinsichtlich der horizontalen Kronenbreitenveränderungen in den aufgenommenen Buchen-Lärchen-Mischbeständen bestätigt werden. Es wird empfohlen, die Kronen der zu fördernden Lärchen so freizustellen, dass sie mindestens 2 m Abstand zu benachbarten Kronen haben. Aufgrund der Empfindlichkeit der Lärchenkronen gegenüber Seitendruck ist zur vollen Kronenentwicklung der Lärchen darauf zu achten, dass dieser Abstand sowohl zwischen den Lärchenkronen als auch in den Kontaktzonen zwischen Lärche und Buche konsequent erhalten bleibt.

Vergl. dazu Kapitel 4.4.1, Im Zusammenhang mit der Konkurrenzschätzung mit Hilfe des Programmbausteins FISHPLOT II konnte die vergleichsweise hohe Konkurrenzempfindlichkeit der Lichtbaumart Lärche aufgezeigt werden. So ist der Einfluss der Beschattung durch die Schattbaumart Buche auf den Kreisflächenzuwachs der Lärche im Vergleich zur Wirkung der Lärche auf den Kreisflächenzuwachs der Buche rd. dreimal so stark einzuschätzen. Als besonders starke Konkurrenten für die Lichtbaumart Lärche sind gleichstarke Buchen einzuschätzen, die in südöstlicher bis südwestlicher Richtung vorgelagert sind und dadurch die Lärchenkronen gegenüber der Sonnenbahn besonders intensiv abschirmen.

Die Modellierung der horizontalen Kronenbreitenveränderungen verdeutlicht darüber hinaus den starken Einfluss von Seitendruck auf die Kronenentwicklung der Lichtbaumart Lärche. Sowohl nachbarschaftlicher Kronenkontakt zwischen Lärchen als auch - noch ausgeprägter - der seitliche Kronenkontakt zwischen Lärchen- und Buchenkronen hat zur Folge, dass die Lärchenkronen nicht weiter expandieren. Die Funktionsverläufe zur Beschreibung der horizontalen Kronenbreitenveränderungen verdeutlichen, dass die Lärche weder inner- noch zwischenartliche Kronenverzahnungen toleriert.

Die volle Kronenfreiheit fördert zudem frühzeitig die Vitalität und Stabilität des Einzelbaumes gegenüber Windwurf, Lärchenkrebs sowie weiteren biotischen Schaderregern. Je nach individueller Konkurrenzsituation des zu fördernden Z-Baumes kann es daher im Rahmen der ersten Eingriffe erforderlich sein, jeweils zwei bis drei Bedränger zu entnehmen. Auch vitale Buchen, die ausgewählte Lärchen in ihrer Kronenentwicklung bedrängen, sind in jedem Fall zu entnehmen. Dies gilt insbesondere in den Kontaktzonen zwischen Buche und Lärche an den Rändern der Lärchenteilflächen. Innerhalb der Lärchenteilflächen sind lediglich unterständige Buchen zu tolerieren. Der verbleibende Füllbestand ist gleichermaßen hochdurchforstungsartig zu pflegen. Hierbei sind qualitativ bessere Lärchen durch die Entnahme bedrängender Nachbarn zu fördern sowie qualitativ schlechte Bäume zu entnehmen.

Die zeitlich nachlaufende Wuchsdynamik des Buchengrundbestandes erfordert im Gegensatz zur intensiven Beobachtung und Pflege der Lärchenteilflächen auch in dieser Phase der Bestandesentwicklung nur geringe waldbauliche Eingriffe in der Buche. So sind in stamm-

zahlreichen und homogen erwachsenen Bestandesteilen keine Eingriffe erforderlich. Vielmehr soll die natürliche Selbstausscheidung ungestört ablaufen und der Buchengrundbestand bis zum Zeitpunkt der ersten Durchforstung bei 7-9 m astreiner Schaftlänge im dichten Bestandesschluss erwachsen (NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG 1980, v. LÜPKE 1986). Lediglich in ungleichwüchsigen und vergleichsweise stammzahlärmeren Bestandesteilen kann es sinnvoll sein, tiefzwieselige, stark astige oder krumme konkurrenzstarke Vorwüchse zu läutern, wenn dadurch gleichzeitig gute Buchen begünstigt werden können. Vereinzelt vorkommende Mischbaumarten sind aufgrund ihrer Seltenheit gezielt zu fördern.

Ästung

Um die höhere Wertleistung gegenüber dem reinen Buchenbestand zu gewährleisten, ist die Mischbaumart Lärche zu ästen. Als ästungswürdig gelten Lärchen mit guter Wuchsleistung ab LKL 7 ($h_b > 30$ im Alter 100), die das Erreichen einer ausreichenden Zielstärke erwarten lassen und bis ins Erntealter gesund bleiben. Bezogen auf den Einzelbaum sind vorwüchsige, vitale, gesunde und geradschaftige Lärchen für eine Ästungsmaßnahme auszuwählen. Darüber hinaus soll die Krone der zur Ästung ausgewählten Lärchen möglichst gleichmäßig und gut ausgeformt sein.

Die Ästung der Lärche ist in zwei Eingriffen bis zu einer Höhe von insgesamt 6 m durchzuführen, wobei sich die manuelle Ästung mit der „Dauner Aufastungssäge“ bewährt hat (STÄDTLER 1991). Die **erste Ästungsstufe** bis zu einer Höhe von 3 m bis 3,5 m ist in Verbindung mit der ersten Durchforstungsmaßnahme spätestens gegen Ende der Stangenholzphase abzuschließen. Die Bestandesoberhöhe liegt zu diesem Zeitpunkt zwischen 10 und 12 m, die zu ästenden Z-Bäume haben Durchmesser von 12-15 cm BHD. Durch den frühen Beginn der Ästung wird sichergestellt, dass der astige Kern im unteren Stammbereich auf etwa ein Drittel des Zieldurchmessers begrenzt bleibt. Zudem ist die Maßnahme aufgrund der geringen Aststärken (i. d. R. < 2 cm) vergleichsweise kostengünstig durchzuführen. Die erste Ästungsstufe ist an allen ausgewählten Z-Bäumen durchzuführen. Unmittelbar im Anschluss an die Ästung sind die Z-Bäume gezielt freizustellen.

Zeitlich kann die Ästung der Lärche während des ganzen Jahres erfolgen. Der Nachweis der Ästungsmaßnahmen ist in Form einer Ästungskarte sowie im Bestandeslagerbuch zu dokumentieren (DÜSSEL 1986, NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG 1995).

Je nach Wüchsigkeit erfolgt die **zweite Ästungsstufe** bis zu einer Höhe von 6 m spätestens bei Oberhöhen zwischen 14 m und 18 m. Vor Beginn dieser Maßnahme sind die vorgeästeten Z-Bäume erneut kritisch auf ihre Ästungswürdigkeit (Vitalität und Qualität) zu überprüfen. In Zweifelsfällen ist auf eine weitere Ästung zu verzichten. Fallweise können stattdessen vitalere und qualitativ gute Ersatzbäume in unmittelbarer Nachbarschaft geästet werden, sofern eine kritische Durchmessermarken von 20 cm BHD nicht überschritten wird.

Geringes Baumholz - Bestände mit einem mittleren BHD von 15-37 cm BHD, Oberhöhe 12-20 m, Wuchsvorsprung der Lärche rd. 5-6 m

Mit Eintritt ins geringe Baumholzalder ab Oberhöhen von 12 m ist die begonnene konsequente Auslesedurchforstung der Lärchen fortzusetzen. Die eingemischten Lärchen haben zu diesem Zeitpunkt gegenüber dem Buchengrundbestand ihren maximalen Wuchsvorsprung erreicht (siehe Abbildung 6-4). Im Rahmen gezielter Hochdurchforstungen ist der Zuwachs und damit die kontinuierliche Wertentwicklung auf die ausgewählten Z-Bäume zu konzentrieren. Dabei ist auf die stetige Umlichtung der Lärchenkronen zu achten. Längerer und intensiver Kronen-

kontakt zwischen den Lärchen ist zu vermeiden. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass die Lärchenkronen äußerst empfindlich auf Seitendruck reagieren. Die Z-Bäume sollen Kronenprozente von mindestens 50 % aufweisen. Durchforstungsstärke und Durchforstungswiederkehr entsprechen einem gestaffeltem Durchforstungskonzept mit starken Eingriffen zu Beginn des geringen Baumholzalters und einem allmählichen Übergang zu mäßigen Eingriffen und längeren Durchforstungsintervallen mit zunehmender Oberhöhe. Mit dem Ende der geringen Baumholzphase ist die wesentliche Pflege innerhalb der Lärche abgeschlossen.

Vergl. dazu Kapitel 4.4.2.3 *Die Modellierung der abstandssensitiven horizontalen Kronenbreitenentwicklung verdeutlicht im Fall der Lichtbaumart Lärche die hohe Empfindlichkeit der Lärchenkronen gegenüber Seitendruck. Dieser Umstand wird insbesondere auf mechanische Einwirkungen in Form von Reibung und Schlagen zurückgeführt, wodurch die empfindlichen, vergleichsweise „weichen“ Lärchentriebe und –knospen beschädigt bzw. abgebrochen werden. Aus waldbaulicher Sicht ist deshalb konsequent auf die volle Kronenfreiheit der Lärchen zu achten.*

In dem bislang geschlossenen Buchengrundbestand setzt erst jetzt mit dem Erreichen von 7-9 m astreiner Schaftlänge die intensive Bestandespflege ein. Die herrschenden Buchen haben einen mittleren BHD von rd. 15 cm erreicht, die Oberhöhe der Buche liegt zwischen 15 m und 18 m. Im Vorfeld der ersten Durchforstung ist das Feinerschließungsnetz anzulegen bzw. zu ergänzen.

Vergl. dazu Kapitel 4.2.4.5 *Die Entwicklung der astreinen Schaftlänge, die für das Kollektiv der potentiellen Ausleseebäume parametrisiert wurde, lässt erkennen, dass im Fall der Baumart Buche die geforderten astreinen Schaftlängen von 7-9 m Höhe bei einem mittleren BHD von 15 cm bis 20 cm erreicht werden.*

Nach der aktuellen waldbaulichen Erlasslage sind in der Buche je nach Qualität des Einzelbestandes derzeit 100 bis maximal 160 Bäume/ha, bezogen auf den Reinbestand als Z-Bäume zu kennzeichnen (NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG 2000). Bezogen auf die Buchenanteilfläche entspricht dies 75 bis 120 Z-Bäumen/ha, die im Buchengrundbestand auszuwählen sind. Im Rahmen einer starken Hochdurchforstung sind die ausgewählten Z-Bäume von ihren stärksten Bedrängern freizustellen.

Vergl. dazu Kapitel 4.3.4 Über die Beziehung zwischen BHD und Kronenschirmfläche und 4.2.4.4

Über die Beziehung zwischen BHD und Kronenschirmfläche konnte hergeleitet werden, dass bei einem Zieldurchmesser von 65 cm BHD mittlere Kronenschirmflächen von rd. 140 m² unterstellt werden können. Theoretisch errechnet sich daraus eine „Zielbaumzahl“ von 71 Altbuchen/ha Reinbestand. Dies entspricht der „unteren Grenze“ der niedersächsischen Z-Baum-Rahmenwerte, mit der in Beständen von normaler Qualität die Erträge langfristig gesichert werden sollen (Nds. LANDESFORSTVERWALTUNG 2000).

Parallel zu diesen Beobachtungen konnten jedoch im Fall der Baumart Buche in der geringen Baumholzphase noch über 250 „potentielle Ausleseebäume/ha“ festgestellt werden. Dies deutet auf eine außerordentlich gute Qualität der untersuchten Buchen-Lärchenmischbestände hin. In qualitativ vergleichbaren Beständen wird daher empfohlen, bezogen auf die Buchenanteilfläche mindestens 120 Buchen/ha als Z-Bäume herauszupflegen und dadurch sowohl eine ausreichende Reservenhaltung sicherzustellen als auch die Flächenproduktivität auszuschöpfen.

Bei der Auswahl der Z-Bäume sind Vitalität und Qualität vorrangig zu beachten, die räumliche Verteilung der Z-Bäume ist hingegen im Gegensatz zur Lärche von geringerer Bedeutung. Es ist jedoch auf einen ausreichenden Abstand von rd. 10 m zwischen den ausgewählten Buchen- und Lärchen-Z-Bäumen zu achten, um insbesondere die ausreichende Kronenentwicklung und Kronenfreiheit der geästeten Lärchen langfristig sicherzustellen. Zeitlich gegenüber der Lärche verschoben kulminiert in dieser Phase der Bestandesentwicklung der Höhenzuwachs der Buche (siehe Abbildung 6-1).



Abbildung 6-4: Mischbestand im geringen Baumholzalter – noch haben die eingemischten Lärchenanteile einen deutlichen Wuchsvorsprung gegenüber der Buche.

Aufgrund dieser Wuchsdynamik sind Pflegeintervalle von 4-6 Jahren im Buchengrundbestand anzustreben, wobei im Rahmen der ersten starken Eingriffe je Z-Baum 1 bis max. 3 Bedränger im Herrschenden zu entnehmen sind.

Parallel dazu sind im Füllbestand herrschende Bäume von schlechter Qualität zu entnehmen, um dadurch besser veranlagte Buchen zu begünstigen. Durch die Form der Eingriffe bleibt zudem ein ausreichender lebensfähiger Unter- und Zwischenstand erhalten, wodurch die Vertikalstruktur der Bestände gefördert wird.

Mittleres Baumholz - **Bestände mit einem mittleren BHD von 38-50 cm BHD, Oberhöhe 20-28 m**

Nach der vorangegangenen intensiven Bestandespflege nimmt bei Oberhöhen zwischen 20 und 28 m im mittleren Baumholzalter sowohl die Durchforstungsstärke als auch die Durchforstungswiederkehr schrittweise ab. Das Reaktionsvermögen der Lärchenkronen auf weitere Freistellungen wird erkennbar geringer, so dass zu starke Durchforstungseingriffe zwangsläufig eine unerwünschte Absenkung der Vorrats- und Zuwachsleistung nach sich ziehen. Die Entnahmen beschränken sich deshalb im Wesentlichen auf die verbliebenen schlechten Bäume sowie auf kranke bzw. beschädigte Lärchen mit dem Ziel, die Grundfläche und den Vorrat der Lärchenmischungsanteile allmählich anzuheben.

Der Wuchsvorsprung der Lärche gegenüber der Buche verringert sich zunehmend (siehe Abbildung 6-5). Infolgedessen verschieben sich auch die Konkurrenzverhältnisse allmählich zugunsten der Buche. Insbesondere in den Kontaktzonen zur Buche ist auf das wachsende Spannungsverhältnis zwischen der nachschiebenden Buche und der Lärche im Kronenraum zu achten. Bedrängende Buchen sind rechtzeitig zu entnehmen, um die gut ausgeformten Kronen der geästeten Lärchen zu erhalten. Unterständige Buchen sind hingegen aus Gründen der Schaftpflge, Bodenbeschattung und Verbesserung der Bodenstreu zu erhalten.

Vergl. dazu Kapitel 4.2.3.2 und 4.4.4.3

Die vertikale Dynamik im Laufe der Bestandesentwicklung wird in Buchen-Lärchen-Mischbeständen durch die Schattbaumart Buche geprägt. Die Entwicklung der Höhenverteilungen über dem Alter verdeutlicht, dass die ausgeprägte Vertikalstruktur vergleichbarer Mischbestände ausschließlich durch die Buche bedingt ist. Gleichzeitig konnte verdeutlicht werden, dass auf vergleichbaren Standorten die Buche aufgrund ihrer anhaltenden Wuchsdynamik frühzeitig und anhaltend in Konkurrenz zur Lärche tritt.

Aus dem Vergleich der parametrisierten Altershöhenbeziehungen (Oberhöhe h_o) wird darüber hinaus ersichtlich, dass spätestens im Alter 120 der Höhenwachstumsgang der Buchen den der Lärchen schneidet und mit weiter zunehmendem Alter konstant über dem der Lärche liegt.

Vielerorts zeigt die waldbauliche Praxis, dass sich je nach standörtlicher Ausgangssituation sowie dem Zeitpunkt der Lärcheneinbringung in den Buchengrundbestand die Konkurrenzverhältnisse zwischen Buche und Lärche bereits frühzeitig mit Beginn der mittleren Baumholzphase eindeutig zugunsten der Buche verschieben.



Abbildung 6-5: Lärchenhorst im mittleren Baumholzalter – aufgrund anhaltender Dynamik im Höhenwachstum holt die Buche die vorwüchsigen Lärchen allmählich ein.

In diesen Fällen ist aus ertragskundlicher Sicht abzuwägen, welche Wertleistung die Lärchen erwarten lassen. Falls die Lärchenkronen in dieser Phase der Bestandesentwicklung nur ungenügend ausgebildet sind und zugleich die Buche frühzeitig und massiv die Lärche zu bedrängen beginnt, sollte auf Hiebsopfer in der Buche zugunsten der Lärche verzichtet werden. In diesem Fall ist das Ziel der Wertholzproduktion mit der Baumart Lärche zugunsten einer höheren Massenleistung mit der Buche aufzugeben.

Der Buchengrundbestand wird durch weitere gezielte Hochdurchforstungen gepflegt, wobei bis zum Ende der mittleren Baumholzphase bei einem BHD von 50 cm jedem Kronendränge vorzubeugen ist. Aufgrund der nachlassenden Wuchsdynamik nimmt jedoch die Durchforstungsstärke mit zunehmendem Alter ab. Im Rahmen der Durchforstungen sind die ausgewählten Z-Bäume bei jedem Eingriff erneut kritisch zu überprüfen. Ziel ist ein möglichst hoher Anteil qualitativ wertvoller, großkroniger Buchen mit entsprechend hoher Wertleistung (NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG 1997).

Starkes Baumholz - **Bestände mit einem mittleren BHD von über 50 cm BHD, Oberhöhe > 28 m**

Mit dem Übergang zum starken Baumholz ab Oberhöhen von über 28 m gehen die Altdurchforstungen allmählich in eine zeitlich gestreckte Zielstärkennutzung über. Diesem Vorgehen liegen die Erfahrungen zugrunde, dass die Wertträger trotz intensiver waldbaulicher Pflege i. d. R. eine relativ große Durchmesserstreuung aufweisen. Um die Wertschöpfung des

Einzelbaumes optimal zu nutzen, konzentrieren sich die Eingriffe zunächst auf die verbliebenen qualitativ schlechteren Bäume, während gute Lärchen individuell ausreifen sollen. Je nach örtlichen Erfahrungen sind dabei mögliche Entwertungen durch Stockfäule im zeitlichen Nutzungskonzept mit zu berücksichtigen. Darüber hinaus sind die Nutzungen im Altholz bereits in Verbindung mit der Verjüngung des Bestandes zu planen und durchzuführen. Ist es beabsichtigt, die Lärche auch in der nächsten Waldgeneration als Mischbaumart zu erhalten, ist, bei phänotypisch gutem Ausgangsmaterial, die Naturverjüngung der Lärche rechtzeitig vor der flächigen Verjüngung der Buche einzuleiten. Dazu werden 15-20 gut bekronte Altlärchen/ha als ausreichend angesehen (v. LÜPKE u. RÖHRIG 1972). Wichtige Voraussetzungen für das Ankommen und den Aufwuchs von Lärchennaturverjüngungen sind oberflächliche Bodenbearbeitung zur Freilegung des Mineralbodens sowie ausreichende Flächengrößen in den Buchenbeständen, um den Lichtbedarf der Lärche sicherzustellen (v. LÜPKE 1982).

Im **Buchengrundbestand** ist mit Eintritt ins starke Baumholzalter der volle Kronenschluss anzustreben. Die Durchforstungsstärke wird dementsprechend geringer, gleichzeitig nehmen die Durchforstungsintervalle zu. Die Nutzung und Verjüngung des Bestandes selbst erfolgt dann im Rahmen der einsetzenden Zielstärkennutzung. Die angestrebte Zielstärke orientiert sich dabei an der Wüchsigkeit des Einzelbestandes sowie den örtlichen Erfahrungen hinsichtlich der Entwertungsgefahr durch Rotkernbildung. Darüber hinaus ist die individuelle Qualität des Einzelbaumes im Nutzungs- und Verjüngungskonzept zu berücksichtigen, um auch in der Buche den individuellen Wertzuwachs optimal zu nutzen. Mit der femelartigen Vorverjüngung bzw. dem gezielten Voranbau der Lärche in zielstarken Buchenalthölzern wird schließlich gegen Ende der Bestandesentwicklung in idealer Weise das Nutzungskonzept mit der waldbaulich zielgerechten Verjüngung von Buchen-Lärchen-Mischbeständen kombiniert.

Vergl. dazu Kapitel 4.2.3.1 Die Entwicklung der Durchmesserverteilungen lässt erkennen, dass auf vergleichbaren Standorten die ersten zielstarken Lärchen im Alter von rd. 100 Jahren geerntet werden können. Die Spreitung der Durchmesserverteilungen deutet darüber hinaus darauf hin, dass sich die Endnutzung der eingemischten Lärchen je nach individueller Qualität und örtlichen Entwertungsgefahren über einen Zeitraum von mehr als 50 Jahren strecken kann.

Auch die Dimensionsentwicklung des Buchengrundbestandes lässt erkennen, dass erste zielstarke Buchen bereits im Alter 100 geerntet werden können. Noch ausgeprägter als bei der Mischbaumart Lärche verdeutlicht die ausgesprochen starke Durchmesserspreitung des Buchengrundbestandes, dass sich zeitlich gestreckte Nutzungs- und Verjüngungskonzepte in Buchen-Lärchen-Mischbeständen waldbaulich problemlos umsetzen lassen, sofern der Zeitpunkt zum Beginn der Verjüngungsmaßnahmen richtig, d. h. ausreichend früh gewählt wurde.

6.2 Entwicklung ungleichaltriger Lärchen-Buchen-Mischbestände

Ungleichaltrige Lärchen-Buchen-Mischbestände entstehen aus dem Voranbau mittelalter Lärchenreinbestände mit Buche. Mit dem Voranbau wird der Baumartenwechsel vom Nadelholz über den zweischichtigen Mischbestand zu potentiell natürlichen, von der Buche dominierten Mischbeständen eingeleitet. Diese Zielvorstellungen begründen sich in den waldbaulichen Nachteilen, die sich in reinen Lärchenbeständen beobachten lassen. So stellen sich ältere Lärchenreinbestände zunehmend licht und lassen meist eine unerwünschte Bodenvegetation aufkommen. Darüber hinaus ist die Streu der Lärche aufgrund ihres schlechten C/N-Verhältnisses nur schwer zersetzlich. Nach WEIHS (1999) können in Reinbeständen zudem häufig bereits ab mittlerem Alter Wuchsstockungen beobachten werden.

Als waldbaulich geeignete Mischbaumart gilt die Rotbuche, die durch ihre besonderen ökologischen Eigenschaften, wie langsames Jugendwachstum, hohes Schattenerträgnis und gute Bodenbeschattung, mittelalte Lärchenreinbestände in idealer Weise ergänzt. Die Entwicklung ungleichaltriger Lärchen-Buchen-Mischbestände wird daher als zielführend angesehen, um Bodenpflege zu betreiben, Strukturvielfalt zu erhöhen und den Baumartenwechsel vom Nadelholz über den zweischichtigen Mischbestand zu potentiell natürlichen, von der Buche dominierten Mischbeständen einzuleiten.

Bis zum Zeitpunkt der Bucheneinbringung erfolgt die waldbauliche Behandlung der im Reinbestand begründeten Europäischen Lärche analog zur beschriebenen Pflegekonzeption für die Mischungsanteile der Lärche im gleichaltrigen Mischbestand. Je nach Wüchsigkeit der Lärche ist der Voranbau mit Buche frühestens im Alter zwischen 40 und 50 Jahren zu begründen. In Abhängigkeit von den standörtlichen Gegebenheiten ist der Zeitpunkt des Voranbaus so zu wählen, dass größere Kronenspannungen zwischen den Lärchen im Hauptbestand und der nachschiebenden Buche möglichst bis zum Ausreifen der Lärchen vermieden werden. Umgekehrt sind bei einem verfrühten Voranbau der Buche in jüngeren Lärchenreinbeständen, ähnlich wie bei der Mischung Kiefer-Buche, Wuchsdepressionen in der frühzeitig durch die Buche bedrängten Lärche zu erwarten, und damit ist das Produktionsziel Lärchenwertholz gefährdet (GUERICKE 1999b).

Aufgrund ihrer Bestandesstellung und vergleichsweise hohen Lichtdurchlässigkeit ist in gepflegten Lärchenbeständen keine stärkere, womöglich zusätzliche Auflichtung im Hauptbestand für die Einbringung der Buche erforderlich. Um jedoch den Buchenvoranbau in seiner ersten kritischen Anwuchsphase nicht zusätzlich zu gefährden, ist der Voranbau zeitlich im Anschluss an eine reguläre Durchforstungsmaßnahme einzuplanen. Um die ausreichende Qualität der Buchen im Nachwuchs zu gewährleisten und damit die Option der späteren Übernahme der Buchen in den Hauptbestand sicherzustellen, ist der Buchenvoranbau je nach Übershirmungssituation mit 4000-7000 Buchen/ha (Standardsortiment) zu begründen (NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG 1998). Es wird ein flächiger Voranbau empfohlen, wobei die Bestandesränder auf rd.10 m Tiefe auszusparen sind, um das Ankommen natürlicher Begleitbaumarten zu fördern.

Im Laufe der weiteren Bestandesentwicklung sind aufgrund der lichten Schirmstellung der Lärchen im Hauptbestand gezielte Eingriffe zugunsten der Buche im Regelfall nicht erforderlich. Die Durchforstung der Lärche richtet sich vielmehr nach der Kronenentwicklung und Kronenspannung im Herrschenden mit dem Ziel, die ausgewählten und geästeten Lärchen möglichst rasch in Zieldimensionen einwachsen zu lassen. Mit zunehmendem Bestandesalter

und abnehmender Wuchsdynamik vergrößern sich dabei die Durchforstungsintervalle, die schließlich nahtlos in eine gestreckte Zielstärkennutzung übergehen.

Die gezielte Pflege der Buche im Nachwuchs setzt, vergleichbar mit der zuvor beschriebenen Pflegekonzeption, erst mit dem Übergang ins geringe Baumholzalter ein. Bereits zuvor ist jedoch immer wieder auf die Wuchsrelation zwischen der jüngeren Buche und der Lärche im Hauptbestand zu achten. Zeigt es sich, dass die Buchen noch vor dem Erreichen der Zielstärken der Lärchen in den Kronenraum der herrschenden Schicht einwachsen, besteht waldbaulicher Handlungsbedarf. Vor dem Hintergrund, dass die Wertleistung der Bestände nur durch das Ausreifen der geästeten und qualitativ guten Lärchen gesichert und optimal abgeschöpft werden kann, sind vitale Buchen immer dann zu entnehmen, wenn sie sich in die Kronen guter Lärchen hineinzuschieben beginnen. In direkter Nachbarschaft zu geästeten, wertvollen Lärchen ist die Buche ausnahmslos nur im Unterstand zu dulden.

Lediglich in qualitativ sehr inhomogenen Beständen ist es denkbar, dass je nach Ausgangssituation entweder zugunsten der Lärche oder eindeutig zugunsten der qualitativ besseren nachschiebenden Buche gewirtschaftet wird. Waldbaulich wird dadurch angestrebt, das zu früh einsetzende und zeitlich immer schärfer werdende Spannungsverhältnis zwischen Buche und Lärche flächig zu entzerren.

6.3 Zusammenfassung der waldbaulichen Empfehlungen

Für die zielgerichtete Entwicklung und Pflege von annähernd gleichaltrigen Buchen-Lärchen-Mischbeständen lassen sich unter nordwestdeutschen Verhältnissen die folgenden grundsätzlichen waldbaulichen Empfehlungen zusammenfassen:

- Unter den klimatischen wie standörtlichen Gegebenheiten Nordwestdeutschlands ist die Buche in den flächenmäßig verbreitetsten Waldgesellschaften die wüchsigste und konkurrenzstärkste Baumart (JAHN 1979). Um die vergleichsweise konkurrenzschwache Lichtbaumart Lärche dennoch am Waldaufbau zu beteiligen, sind deshalb bei der Begründung von Mischbeständen in erster Linie die Standorte zu berücksichtigen, die der Lärche zuzusagen und für die Buche als suboptimal einzustufen sind. Unter den Verhältnissen im südniedersächsischen Bergland ist daher die Lärche bevorzugt in süd- bis südwestexponierter Ober- bis Mittelhanglage in Buchenbestände einzumischen.
- Aufgrund der Wuchsdynamik und des unterschiedlichen Konkurrenzverhaltens zwischen der Lichtbaumart Lärche und der Schattbaumart Buche ist die Lärche im Idealfall in Form von Vorverjüngungen oder einem gezielten Voranbau in Buchengrundbestände einzubringen. Die nachträgliche Ergänzung von Buchennaturverjüngungen mit Lärche ist möglichst rasch durchzuführen, damit die Lärche den Anschluss an die Buche behält bzw. noch ausreichend vorwüchsig werden kann.
- Die Lärche ist ausschließlich in gruppen- bis horstweiser Mischung zu ergänzen. Um einen ausreichenden Mischungsanteil (20-30 % Grundflächenanteil) der Lärche bis zum starken Baumholzalter herauspflegen zu können, wird die Einbringung von 400-500 Lärchen/ha als ausreichend angesehen.
- Die optimale Bestandesbehandlung gleichaltriger Buchen-Lärchenmischbestände muss sich an der unterschiedlichen Wuchsdynamik beider Baumarten orientieren. Dies bedeutet rechtzeitige, gezielte und konsequente Eingriffe in der Lärche, um die frühe Kulmination des Höhen- und Durchmesserzuwachses als Basis für die weitere Wertentwicklung zu nutzen. Im Vergleich dazu setzt die Pflege des Buchengrundbestandes zeitlich nachlaufend ein.

- Die Pflege der Lärche als ausgesprochene Lichtbaumart muss frühzeitig einsetzen und bis ins Baumholzalder konsequent auf die Ausbildung guter und möglichst gleichmäßig ausgeformter Kronen ausgerichtet sein. Die entscheidenden Phasen für die Kronenpflege und damit die weitere Wertentwicklung der Lärche sind Stangenholz- und geringes Baumholzalder. Bedrängende Buchen sind rechtzeitig zu entnehmen, innerhalb der Lärchenteilflächen ist die Buche lediglich im Unterstand zu tolerieren. Besonders aufmerksam sind während der gesamten Bestandesentwicklung die Konkurrenzverhältnisse in den Kontaktzonen zwischen Lärche und Buche zu beobachten.
- Für die Produktion von Wertholz ist die Lärche auf 6 m Höhe zu ästen. Es wird die Ästung in zwei Stufen empfohlen. Mit der ersten Ästungsmaßnahme auf 3 m bis 3,5 m Höhe ist gegen Ende der Stangenholzphase (12-14 cm BHD) zu beginnen. Je nach Wüchsigkeit erfolgt die zweite Ästungsstufe auf 6 m Höhe spätestens im Rahmen der ersten Durchforstungen bei Oberhöhen zwischen 14-18 m.
- Als Z-Baum Kollektiv sind je nach Ausgangsqualität des Einzelbestandes 120 bis 180 Lärchen je ha vor der ersten Ästungsmaßnahme zu kennzeichnen. Bezogen auf die Anteilfläche entspricht dies rd. **35-50 Lärchen** je ha Mischbestand. Im Buchengrundbestand sind weitere **100 bis 120 Buchen** je ha Mischbestand als Z-Bäume herauszupflegen. Das ausgewählte Kollektiv ist im Rahmen jeder weiteren Pflege-, Ästungs- und Durchforstungsmaßnahme erneut kritisch durchzumustern.
- Sowohl das Z-Baumkollektiv als auch der Füllbestand sind im Rahmen starker Hochdurchforstungen zu pflegen. Die Auszeichnung muss sich dabei konsequent an der Z-Stammauswahl orientieren. Der Wuchsdynamik folgend nimmt dabei mit zunehmendem Bestandesalter die Durchforstungsstärke ab, zugleich werden die Durchforstungsintervalle größer (gestaffelte Hochdurchforstungen).

Mischbestände aus Buche und Lärche können somit wie dargestellt unter bestimmten Voraussetzungen sowohl ertragskundliche als auch waldbauliche Zielvorstellungen in idealer Weise miteinander vereinen. So machen Produktivität und strukturelle Vielfalt des Bestandaufbaus die Mischung aus Buche und Lärche zu einem attraktiven Bestandestyp, der den vielfältigen waldbaulichen Ansprüchen der Gegenwart Rechnung trägt (SPELLMANN 1995, 1996). Darüber hinaus passen die Produktionszeiträume beider Baumarten optimal zueinander, so dass sich Nutzungskonzept und waldbaulich zielgerechte Verjüngung von Buchen-Lärchen-Mischbeständen in idealer Weise miteinander kombinieren lassen. Voraussetzungen dafür sind die richtige Standortwahl, eine an die Wuchsdynamik der beiden Baumarten angepasste Bestandesbegründung sowie die zielgerichtete Bestandespflege.

7 Zusammenfassung

Zielsetzung der vorgelegten Untersuchung ist es, den waldwachstumskundlichen Kenntnisstand über Mischbestände aus Buche und Europäischer Lärche (*Larix decidua* Mill.) zu vertiefen. Konzeption und Gliederung der Arbeit sind dabei darauf ausgerichtet, eine Brücke zu schlagen zwischen der klassischen Versuchsflächenauswertung auf Bestandesebene hin zur Analyse kausaler waldwachstumskundlicher Zusammenhänge auf Ebene des Einzelbaumes. Darüber hinaus leistet die Arbeit einen methodischen Beitrag im Rahmen der gegenwärtigen Mischbestandsforschung an der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. In diesem Zusammenhang steht die Weiterentwicklung, Ergänzung bzw. Veränderung von Algorithmen und Modellansätzen als Grundlagen für ein abstandsabhängiges Einzelbaummodell im Mittelpunkt der Untersuchungen. Darüber hinaus werden im Rahmen der Arbeit methodische Anregungen zur Anlage, Aufnahme und Auswertung sowie zur weiteren waldbaulichen Behandlung von Mischbestandsversuchsflächen erarbeitet. Konsequenterweise wird damit die seit Anfang der 90`er Jahre bestehende Forschungslinie der Abteilung Waldwachstum fortgesetzt. Auf Grundlage der Ergebnisse der Versuchsflächenanalyse, der parametrisierten allometrischen Grundbeziehungen zur Beschreibung der Hauptzuwachsgrößen sowie ergänzender Literaturrecherchen werden abschließend waldbauliche Empfehlungen für die Entwicklung und Pflege von Mischbeständen aus Buche und Europäischer Lärche (*Larix decidua* Mill.) abgeleitet.

Einleitend werden **Anlass und Einbindung der Untersuchung** in die waldwachstumskundliche Forschung an der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt erläutert. In diesem Zusammenhang wird die Bedeutung von Einzelbaumsimulatoren als zielführendes „Instrumentarium“ zur Erarbeitung und Beurteilung waldbaulicher Bewirtschaftungskonzepte insbesondere für Mischbestände hervorgehoben. Die unterschiedlichen Modellansätze der Einzelbaumsimulatoren *Prognaus* (STERBA 1983), *Moses* (HASENAUER 1994a) und *Silva* (PRETZSCH 1992) werden erläutert und dem Wuchsmodell *BwinPro* (NAGEL 1999) gegenübergestellt. Es wird aufgezeigt, dass an der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, parallel zu den laufenden Neuparametrisierungen des Simulators *BwinPro* (NAGEL 1999), differenziertere alternative Modellansätze entwickelt werden, mit dem Ziel kausale Zusammenhänge zwischen Wuchskonstellation und Zuwachsverhalten des Einzelbaumes zu erfassen und in einem Erklärungsmodell zu integrieren.

Die der Untersuchung zugrunde liegenden **23 Versuchsflächen** wurden im Rahmen der Dissertation von DIPPEL (1988) im Wuchsbezirk „Unterer Solling“ in Form einer Altersreihe angelegt. Die Auswahl der Flächen erfolgte dabei unter der Prämisse, die mittleren Verhältnisse des Bestandestyps Buche-Lärche repräsentativ zu erfassen und in einem Bestandesmodell zu verdichten. 1984 erfolgte die erste ertragskundliche Aufnahme, wobei Stammfußkoordinaten eingemessen und Kronenablotungen durchgeführt wurden. Eine umfangreiche Wiederholungsaufnahme, auf deren Zuwachsdaten die vorliegende Untersuchung basiert, wurde 1994 einschließlich erneuter Kronenablotungen durchgeführt. Unabhängig davon wurden in zwei jüngeren Buchen-Lärchen-Mischbeständen zeitgleich neue Versuchsflächen eingerichtet, um das vorhandene Datenmaterial zu ergänzen. Neben den ertragskundlichen Messungen wurden darüber hinaus im Rahmen der Aufnahme 1994 standörtliche Untersuchungen und bodenchemische Analysen durchgeführt.

Methodisch basiert die Untersuchung auf dem sogenannten „Wuchsreihen-Konzept“. Dabei werden verschieden alte Bestände als zeitliche Abfolge ihrer Bestandesentwicklung aufgefasst und für waldwachstumskundliche Analysen zu unechten Zeitreihen zusammengestellt. Der Ansatz ersetzt somit das zeitliche Nacheinander der Bestandesentwicklung auf einer Fläche

durch das räumliche Nebeneinander unterschiedlich alter Bestände. Im Fall der untersuchten Buchen-Lärchenmischbestände wird mit den Versuchsflächen ein Altersspektrum zwischen 40 und 158 Jahren abgedeckt. In allen Fällen ist die beigemischte Lärche entweder gleich alt oder geringfügig jünger als der Buchengrundbestand.

Im ersten Teil der Untersuchungen wird das umfangreiche Datenmaterial auf seine Homogenität überprüft. Dabei werden insbesondere die standörtlichen Verhältnisse eingehend analysiert, um die standörtliche Homogenität sowohl innerhalb der einzelnen Versuchsflächen als auch zwischen den untersuchten Beständen zu gewährleisten und damit eine der Grundvoraussetzungen des „Wuchsreihen-Ansatzes“ sicherzustellen. Ergänzend werden in diesem Zusammenhang die klimatischen Verhältnisse im Bereich der einzelnen Versuchsflächen mit Hilfe des klimatischen Regionalisierungsmodells von JANSEN et al. (1999) berechnet. Im Ergebnis können alle aufgenommenen Versuchsflächen sowohl hinsichtlich ihrer Nährstoff- und Wasserversorgung als auch ihrer Lage im Gelände als in sich homogen und miteinander vergleichbar angesehen werden. Als weitere wichtige Voraussetzung für die Zusammenstellung und Auswertung der Versuchsflächen als unechte Zeitreihe wird in Anlehnung an die Untersuchungen von BIBER (1996) anhand der Durchmesserentwicklung herrschender Bäume überprüft, inwieweit auch die Bestandesentwicklung als homogen betrachtet werden kann. Dabei wird festgestellt, dass sieben Versuchsflächen aufgrund der deutlich abweichenden Durchmesserentwicklung herrschender Buchen von den weiteren waldwachstumskundlichen Analysen auszuschließen sind.

Im Zusammenhang mit der angestrebten Weiterentwicklung der Kronenmodelle in Buchen-Lärchen-Mischbeständen bilden umfangreiche **Voruntersuchungen zur Kronenausformung und Dynamik horizontaler Kronenbreitenveränderungen** von Buche und Lärche im Reinbestand den zweiten inhaltlichen Teil der Arbeit. In diesem Zusammenhang wird speziell der Einfluss von Nachbarschaftsverhältnissen auf die individuelle Kronenausformung untersucht. Darüber hinaus wird das wenige zusätzlich vorhandene Datenmaterial aus wiederholten Kronenablotungen in Reinbeständen dazu genutzt, Größenvorstellungen bezüglich der Kronenexpansion bzw. möglicher Kronenverkleinerungen zu entwickeln. Die abgeleiteten Arbeitshypothesen bilden die Grundlage für ein überarbeitetes dynamisches Kronenmodell, das im Rahmen der Modellparametrisierung für Buchen-Lärchen-Mischbestände entwickelt wird.

Die **waldwachstumskundliche Analyse auf Ebene des Bestandes** knüpft inhaltlich an die Arbeit von DIPPEL (1988) an. Die klassische Versuchsflächenauswertung wird dabei durch Bestandesvisualisierungen, Untersuchungen über die Überschirmungsverhältnisse sowie eine numerische Strukturanalyse erweitert. Ergänzend wird die 1994 durchgeführte verbale Stammansprache hinsichtlich der sozialen Stellung, der Schaftqualitäten und der Kronenausformung ausgewertet. Damit werden auch Qualitätsaspekte in die waldwachstumskundliche Analyse des Mischungstyps Buche-Lärche mit einbezogen.

Die Ergebnisse auf Bestandesebene belegen die außerordentlich hohe Massenleistung gleichaltriger Buchen-Lärchen-Mischbestände. Es kann beobachtet werden, dass über das gesamte aufgenommene Altersspektrum hinweg die Bestandesvorräte der Buche für sich genommen nahezu dem Ertragstafelniveau (SCHÖBER 1995, st. Df.) entsprechen. In Ergänzung dazu leistet die Baumart Lärche bei einem durchschnittlichen grundflächenbezogenen Mischungsanteil von rd. 30 % einen zusätzlichen additiven Bestandesvorrat zwischen 100 Vfm/ha und 200 Vfm/ha.

Die Untersuchung der Bestandesstruktur in Buchen-Lärchen-Mischbeständen konzentriert sich auf die Erfassung und Beschreibung der Horizontal- und Vertikalstruktur und ihre Veränderung mit dem Alter der Bestände. Dabei zeigt sich die Tendenz, dass die Bestandespflege aufgrund ihres langfristig abstandsregulierenden Charakters einen nachweisbaren Einfluss auf die Horizontalstruktur der analysierten Mischbestände hat. Die mit zunehmendem Alter der Bestände beobachteten Veränderungen in der Vertikalstruktur werden hingegen auf die unterschiedliche Wuchsdynamik der beiden Baumarten zurückgeführt. Weitere Einblicke in die Struktur und Wuchsdynamik von Buchen-Lärchen-Mischbeständen werden mit Hilfe der erstellten Höhen- und Durchmesserverteilungen gegeben. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass auf vergleichbaren Standorten die Buche aufgrund ihrer Wuchsdynamik frühzeitig und anhaltend in Konkurrenz zur Lärche tritt.

Als verbindendes Element steht im Mittelpunkt der Arbeit die **regressionsanalytische Parametrisierung der wichtigsten Zuwachsfunktionen** für die Baumarten Buche und Lärche im Mischbestand. Neben den Schätzfunktionen für den Durchmesser- und Höhenzuwachs wird ein dynamisches Kronenmodell parametrisiert, mit dem richtungsbezogene horizontale Kronenbreitenveränderungen prognostiziert werden können.

Der zentrale Ansatz zur Modellierung **horizontaler Kronenbreitenveränderungen** basiert methodisch auf der Programm-Routine "Abstand", die von PRETZSCH (1992d) auf der Datenbasis wiederholter Kronenablotungen in Buchen-Fichten-Mischbeständen parametrisiert wurde. Zur Erfassung der Nachbarschaftsverhältnisse im dreidimensionalen Kronenraum wurde dazu im Rahmen der Untersuchungen die Programmroutine „KONKURZ 4.0“ (PANFYOROV 1998) entworfen. Das Programm berechnet in Abhängigkeit von den acht Himmelsrichtungen, in denen die Kronen abgelotet wurden, die Abstände zwischen der Kronenperipherie des Bezugsbaumes und dem Rand der nächsten Nachbarkrone. Parallel dazu wird die Art des betreffenden Nachbarn ermittelt. Grundlage für die Parametrisierung des Modellansatzes bilden die richtungsspezifischen Kronenbreitenveränderungen aus der Differenz der wiederholten Kronenablotungen.

Basis des Modellansatzes sind die aus dem Datenmaterial herausgefilterten maximalen Kronenbreitenzuwächse, die ohne seitliche Kroneneinengung ausgebildet werden. Mit Hilfe dieser Datensätze werden getrennt für Buche und Lärche zwei Funktionen parametrisiert, die in Abhängigkeit vom Ausgangsradius maximale Kronenbreitenveränderungen prognostizieren. Für die Buche werden maximale „potentielle“ Kronenbreitenzuwächse zwischen 10 cm und 40 cm, für die Baumart Lärche zwischen 10 cm und 55 cm ermittelt. Im Vergleich spiegeln die mit zunehmendem Kronenradius degressiv fallenden Funktionsverläufe die unterschiedliche Wuchsdynamik der beiden Baumarten wieder. Es wird deutlich, dass die Lichtbaumart Lärche nur in ihrer frühen Entwicklungsphase in der Lage ist, vergleichbar größere Kronenbreitenzuwächse zu leisten, während mit zunehmendem Ausgangsradius (Alter) diese Dynamik rasch nachlässt. Die Schattbaumart Buche zeichnet sich hingegen durch insgesamt geringere „potentielle“ Kronenbreitenveränderungen aus, ist jedoch in der Lage, bis ins hohe Alter (große Ausgangsradien) nahezu konstante Zuwächse zu leisten und damit laufend konkurrenzkräftiger zu werden.

Darauf aufbauend wird das baumartenspezifische Reaktionsmuster der Kronenbreitenveränderungen auf Seitendruck durch die Verschneidung der richtungsbezogenen Abstandsinformationen, der errechneten „potentiellen“ Kronenbreitenzuwächse sowie der tatsächlich gemessenen Kronenbreitenveränderungen analysiert. Es zeigt sich, dass die Kronenbreitenzuwächse von Buche und Lärche in Abhängigkeit von Art und Abstand des Nachbarn unterschiedlich reagieren und die für Licht- und Schattbaumart erwarteten

typischen Reaktionsmuster erkennen lassen. Im Gegensatz zur Buche lässt sich für die Baumart Lärche ein vergleichsweise starker Einfluss seitlicher Kroneneinengung auf den Kronenbreitenzuwachs nachweisen. Darüber hinaus verdeutlichen die Untersuchungen, dass die Lärchenkronen intensive Kronenverzahnungen vermeiden. Umgekehrt kann aufgezeigt werden, dass im nachbarschaftlichen Kontakt zur Lärche die Dynamik der Buche auch hinsichtlich ihrer Kronenexpansion nicht gebremst wird, wodurch sich die im Laufe der Bestandesentwicklung zunehmende Konkurrenzstärke der Buche gegenüber der Lärche erklären lässt. Darüber hinaus deuten die Beobachtungen darauf hin, dass sich die Kronen der Schattbaumart Buche mehr oder minder stark ineinander verzahnen.

Das **Durchmesserzuwachsmmodell** basiert biologisch plausibel auf der Verknüpfung aus Kronenmantelfläche als zuwachstreibende Eingangsvariable einerseits und dem Konkurrenzindex (FKI) als zuwachsreduzierende Variable andererseits. Dabei wird die Kronenmantelfläche der Lichtkrone als Eingangsgröße verwendet, da sie in besonderem Maße zur Nettoassimilation beiträgt. Als Kronenmodelle werden die von PRETZSCH (1992c) entworfenen geometrischen Grundmodelle verwendet. Ergänzt werden die Modellansätze durch eine lineare Funktion, mit der sich die Höhe der Lichtkronenbasis in Abhängigkeit von der Ausgangshöhe des Einzelbaumes ableiten lässt.

Als zweite Größe beinhaltet das Durchmesserzuwachsmmodell den Konkurrenzindex FKI als durchschnittliche, mit der Periodenlänge gewichtete, Eingangsvariable für den 10-jährigen Beobachtungszeitraum von 1984 bis 1994. Der verwendete Konkurrenzindex geht auf den Ansatz von BIBER (1996) zurück. Abgewandt von rein geometrischen Konkurrenzmaßen wurde dabei nach dem Prinzip von Fisheye-Aufnahmen ein Konkurrenzmaß entwickelt, das sich biologisch besser interpretieren lässt als die meisten positionsabhängigen Konkurrenzindizes. Der Ansatz von BIBER (1996) wird im Rahmen der Untersuchungen dahingehend erweitert, dass mit der Programmversion FISHPLOT 2.0 die Kronenschirmflächen als Polygonzüge eingelesen und weiterverarbeitet werden. Die Analyse der individuellen Konkurrenzsituationen basiert damit auf den gemessenen, u. U. stark unregelmäßigen, asymmetrischen Kronenausformungen der erfassten Bäume. Die vorgenommene artspezifische Gewichtung der Konkurrenzwirkung auf den Kreisflächenzuwachs zeigt auf, dass sich die Konkurrenzrelationen zwischen Buche und Lärche ca. 3 : 1 verhalten. Hinsichtlich der Wirkung der Beschattung auf den Kreisflächenzuwachs in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung wird beobachtet, dass die Buche weitaus unempfindlicher reagiert, während die Lärche, biologisch plausibel, am deutlichsten auf die Beschattung in OSO- bis WSW-licher Richtung, d. h. auf sonnenseitige Konkurrenz mit reduzierten Kreisflächenzuwachsen reagiert. Damit können die bekannten ökologischen Unterschiede zwischen der Buche als Schattbaumart und der Lärche als Lichtbaumart bestätigt und numerisch quantifiziert werden.

Die Prognose des 10-jährigen Grundflächenzuwachses ist nach dem entwickelten Modellansatz für die Baumart Buche mit einem mittleren quadratischen Fehler (MSE) von $68,9 \text{ cm}^4$ behaftet. Im Fall der Baumart Lärche beinhaltet die Schätzung des Grundflächenzuwachses einen mittleren quadratischen Fehler (MSE) von $197,8 \text{ cm}^4$. Im Vergleich zu anderen abstandsabhängigen Modellansätzen deutet das Ergebnis darauf hin, dass mit dem vergleichsweise „einfachen“ Modellansatz der periodische Durchmesserzuwachs von Buchen und Lärchen in gleichaltriger Mischung mit ausreichender Genauigkeit prognostiziert werden kann.

Das **Höhenzuwachsmmodell** basiert auf einem Potentialansatz. Dabei wird im ersten Modellteil der „potentielle“, d. h. maximale Höhenzuwachs in Abhängigkeit von der Höhe des Einzelbaumes bestimmt. Grundlage hierfür bilden Altershöhenbeziehungen, die die poten-

tielle Höhenentwicklung auf gegebenem Standort und unter optimalen, d. h. konkurrenzfreien Wuchsbedingungen beschreiben. In Anlehnung an das Ergebnis der Arbeit von KAHN (1994) wird für die Modellierung der Altershöhenbeziehungen die Wachstumsfunktion nach v. BERTALANFFY (1951) verwendet. Mit Hilfe des Transformations-verfahrens (KAHN 1994) werden die potentiellen Altershöhenbeziehungen aus der Höhenentwicklung des Oberhöhenkollektives abgeleitet. Es kann aufgezeigt werden, dass der „potentielle“ Höhenzuwachs der Lärche mit 0,9 m/Jahr vergleichsweise hoch ist und dem Charakter einer Lichtbaumart entsprechend bereits im Alter von 21 Jahren kulminiert. Im Gegensatz dazu kulminiert der Höhenzuwachs der Schattbaumart Buche erst im Alter von 30 Jahren bei einem laufenden Höhenzuwachs von annähernd 0,7 m/Jahr. Ab Alter 40 liegt der Höhenzuwachs der Buche kontinuierlich über dem der Lärche, worin sich die anhaltende Überlegenheit der Buche widerspiegelt.

In Anlehnung an die Untersuchungen von NEWNHAM u. SMITH (1964) wird im zweiten Teil des Modellansatzes die Steuervariable „FKI“ als Konkurrenzindex in das Höhenzuwachsmodell für die Baumart Buche integriert, um den potentiellen Höhenzuwachs auf den gemessenen Höhenzuwachs zu reduzieren. Dabei zeigt sich, dass der gewählte Konkurrenzindex (FKI) keinen signifikanten Einfluss auf den potentiellen Höhenzuwachs ausübt. Das Ergebnis wird dahingehend interpretiert, dass im Fall der Schattbaumart Buche der Höhenzuwachs des Einzelbaumes in den beobachteten natürlichen Altersstufen (Stangenholz bis Baumholz) zu weitaus größeren Anteilen durch kleinstandörtliche und witterungsbedingte Einflussfaktoren (Niederschlag, Bodenfeuchtigkeit, Temperatur) sowie individuelle genetische Veranlagung beeinflusst wird als durch unmittelbare Konkurrenz um Licht. Im Ergebnis zeichnet sich der gewählte Modellansatz für die Baumart Buche durch ein vergleichsweise geringes Bestimmtheitsmaß und hohe Standardfehler der Regressionskoeffizienten aus und verdeutlicht damit die Unsicherheiten und Probleme bei Schätzung von Höhenzuwachsen auf Ebene des Einzelbaumes. Im Gegensatz dazu wurde für die Baumart Lärche ein einfaches Modell abgeleitet, das in Form einer Direktschätzung den Höhenzuwachs aus der aktuellen Höhe des Einzelbaumes vergleichsweise genau prognostiziert.

Im Rahmen der **Diskussion** werden das verwendete Datenmaterial sowie die entwickelten Modellansätze kritisch beurteilt. Aus den Erfahrungen, die im Rahmen der Datenaufnahme und -analyse wiederholter Kronenablotungen gemacht wurden, werden eine Vielzahl methodischer Empfehlungen und Anregungen zu weiteren Forschungsaktivitäten abgeleitet. Als Ergebnis der Untersuchungen im Zusammenhang mit der Parametrisierung der Höhenzuwachsmodelle wird empfohlen, in größerem Umfang als bislang üblich mit Hilfe von Stammanalysen das Datenmaterial zu verbessern. Um Einflussfaktoren wie Standorts- und/oder Witterungsvariablen in künftige Modellansätze integrieren zu können, wird darüber hinaus angeregt, komplexere Versuchsanlagen, wie bspw. die Level II – Flächen, auch unter waldwachstumskundlichen Aspekten intensiver als bislang geschehen zu analysieren.

Zusammenfassend werden die unterschiedlichen Teilmodelle und gewählten Funktionen des parametrisierten Wachstumsmodells für Buchen-Lärchen-Mischbestände dargestellt und ihr Anwendungsbereich erläutert. Darüber hinaus werden konzeptionelle Überlegungen zu künftigen Forschungsschwerpunkten angestellt. Es wird angeregt, mittelfristig Schwerpunkte auf die Modellierung des Standort-Leistungsbezuges und der Qualitätsentwicklung, die Weiterentwicklung von Mortalitätsmodellen sowie die Entwicklung und Integration von Verjüngungsmodellen in Einzelbaumsimulatoren zu setzen.

Im Zusammenhang mit **konzeptionellen Überlegungen zur waldbaulichen Behandlung** von Mischbestandswuchsreihen wird anhand der Ergebnisse einer Fallstudie verdeutlicht,

dass je nach waldbaulicher Ausgangssituation auf der Einzelfläche nur eingeschränkte waldbauliche Möglichkeiten bestehen, „gezielte“ Konkurrenzsituationen zu erzeugen, die für die Modellparametrisierung im Grenzbereich extremer Bestandesstellungen von Bedeutung sein können. Darüber hinaus deuten die Ergebnisse darauf hin, dass nur auf Grundlage von originär experimentellen Versuchsanstellungen Datensätze „erzeugt“ werden können, die als Extremwerte für die Reparametrisierung von Wachstumssimulatoren wie „BwinPro“ (NAGEL 1999) künftig zur Verfügung stehen sollten. Ergänzend zu den klassischen Versuchsfeldern, die als langfristig beobachtete Zeitreihen derzeit noch die wichtigste Datengrundlage für die Modellparametrisierung an der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt darstellen, werden demnach mittelfristig sowohl die in jüngster Zeit angelegten Mischbestandsreihen als auch in verstärktem Umfang Einzelbaumexperimente einen entscheidenden Beitrag zur Verbreiterung der waldwachstumskundlichen Datengrundlage und damit für die Weiterentwicklung von Einzelbaumsimulatoren leisten.

Abschließend werden im Rahmen der Untersuchung **waldbauliche Empfehlungen** für die Entwicklung und Pflege annähernd gleichaltriger Mischbestände aus Buche und Europäischer Lärche (*Larix decidua* Mill.) ausgesprochen. Dabei wird die Bedeutung zielgerichteter waldbaulicher Pflege als Dreh- und Angelpunkt für die erfolgreiche Bewirtschaftung von Buchen-Lärchen-Mischbeständen unterstrichen. In Anlehnung an die Oberhöhenentwicklung der Lärche werden die erforderlichen Pflegemaßnahmen von der Jungwuchsphase bis zum starken Baumholz beschrieben.

Um die vergleichsweise konkurrenzschwache Lichtbaumart Lärche am Waldaufbau zu beteiligen, sind bei der Begründung von Mischbeständen in erster Linie die Standorte zu berücksichtigen, die der Lärche zusagen und für die Buche als suboptimal einzustufen sind. Unter den Verhältnissen im südniedersächsischen Bergland ist daher die Lärche bevorzugt in süd- bis südwestexponierter Ober- bis Mittelhanglage in Buchenbestände einzumischen. Aufgrund der unterschiedlichen Wuchsdynamik und des Konkurrenzverhaltens zwischen der Lichtbaumart Lärche und der Schattbaumart Buche ist die Lärche im Idealfall in Form von Vorverjüngungen oder einem gezielten Voranbau in Buchengrundbestände einzubringen. Die Lärche ist dabei ausschließlich in gruppen- bis horstweiser Mischung zu ergänzen. Um einen ausreichenden Mischungsanteil (20-30 % Grundflächenanteil) der Lärche bis zum starken Baumholzalter herauspflegen zu können, wird die Einbringung von 400-500 Lärchen/ha als ausreichend angesehen. Auch die weitere Bestandesbehandlung muss sich an der unterschiedlichen Wuchsdynamik beider Baumarten orientieren. Dies bedeutet rechtzeitige, gezielte und konsequente Eingriffe in der Lärche, um die frühe Kulmination des Höhen- und Durchmesserzuwachses als Basis für die weitere Wertentwicklung zu nutzen. Im Vergleich dazu setzt die Pflege des Buchengrundbestandes zeitlich nachlaufend ein. Die Pflege der Lärche muss konsequent auf die Ausbildung guter und möglichst gleichmäßig ausgeformter Kronen ausgerichtet sein. Die entscheidenden Phasen für die Kronenpflege und damit die weitere Wertentwicklung der Lärchen sind das Stangenholz- und geringe Baumholzalter. Es wird empfohlen, je nach Ausgangsqualität des Einzelbestandes 120 bis 180 Lärchen je ha spätestens vor der ersten Ästungsmaßnahme zu kennzeichnen. Bezogen auf die Anteilfläche entspricht dies rd. 35-50 Lärchen je ha Mischbestand. Für die Produktion von Wertholz ist die Lärche auf 6 m Höhe zu ästen, wobei die Ästung in zwei Stufen empfohlen wird. Im Buchengrundbestand sind weitere 100 bis 120 Buchen je ha Mischbestand als Z-Bäume herauszupflegen. Das ausgewählte Kollektiv ist im Rahmen jeder weiteren Pflege-, Ästungs- und Durchforstungsmaßnahme erneut kritisch durchzumustern. Sowohl das Z-Baumkollektiv als auch der Füllbestand sind im Rahmen starker Hochdurchforstungen zu pflegen. Die Auszeichnung muss sich dabei konsequent an der Z-Stammauswahl orientieren. Der

Wuchsdynamik folgend nimmt mit zunehmendem Bestandesalter die Durchforstungsstärke ab, zugleich werden die Durchforstungsintervalle größer.

Die waldbauliche Gesamtbeurteilung kommt zu dem Ergebnis, dass Produktivität und strukturelle Vielfalt gleichermaßen dazu beitragen, dass Mischbestände aus Buche und Lärche als überaus attraktiver Bestandestyp einzuschätzen sind, der den vielfältigen waldbaulichen Ansprüchen der Gegenwart Rechnung trägt. Darüber hinaus passen die Produktionszeiträume beider Baumarten optimal zueinander, so dass sich Nutzungskonzept und waldbaulich zielgerechte Verjüngung in idealer Weise miteinander kombinieren lassen. Voraussetzungen dafür sind die richtige Standortwahl sowie eine an die Wuchsdynamik der beiden Baumarten angepasste Bestandesbegründung und -pflege.

Literaturverzeichnis

- ALBERT, M. u. GADOW, K. VON, 1998: Strukturparameter als Kontrollinstrumente für Überführungsvorhaben. *Forst u. Holz*, 53. Jg., 679-680.
- ALBERT, M., 1999: Analyse der eingriffsbedingten Strukturveränderung und Durchforstungsmodellierung in Mischbeständen. Hainholz Verlag Göttingen Braunschweig. 181 S.
- AMMER, Ch., 1996: Konkurrenz um Licht – zur Entwicklung der Naturverjüngung im Bergmischwald. *Forstliche Forschungsberichte München*, Heft 158.
- ANONYMUS, 1902: Anleitung zur Ausführung von Durchforstungs- und Lichtungsversuchen des Vereins Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten.
- ARNEY, J. D., 1972: Computer Simulation of Douglas-fir Tree and Stand Growth. P.H.D. Thesis, Oregon State University, 81 S.
- ARBEITSKREIS STANDORTKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG, 1996: Forstliche Standortaufnahme. 5. Auflage, IHW-Verlag Eching
- ASSMANN, E., 1953: Die Standraumfrage und die Methodik von Mischbestandsuntersuchungen. *AFJZ*, 125, 149-153
- ASSMANN, E., 1961: Waldertragskunde, BLV-Verlag, München, Bonn u. Wien.
- ASSMANN, E., u. FRANZ, F., 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. *Forstw. Centralblatt* 84: 1-68.
- ASSMANN, E., 1965: Buchenlichtwuchsbetrieb. *Forstwiss. Cbl.*, Nr.84, 329-346.
- BAADER, G., 1943: Der Mischbestand. *AFJZ*, 119. Jg., 151-159.
- BACHMANN, M., 1998: Indizes zur Erfassung der Konkurrenz von Einzelbäumen. Methodische Untersuchung in Bergmischwäldern. *Forstliche Forschungsberichte München*, Heft 171.
- BADOUX, H., 1939: De l'influence de diverse modes et degrés d' éclaircie dans les hêtres purs. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen*, Band XXI, S. 58-146
- BADOUX, A., 1946: Relations entre le développement de la cime et l'accroissement chez le pin sylvestre. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen*, Band XXVII, S. 405-516
- BARKER, S.B., CUMMING, G. und HORSFIELD, K., 1973: Quantitative Morphometry of the Branching Structure of Trees. *Jour.Theor.Biol.* 40:33-43.
- BARTSCH, N., 1999: Mündl. Mitteilung.
- BECK, O. A., 1988: Zum Betriebszieltyp Buche/Europäische Lärche. *Forst u. Holz*, 43.Jg.,223
- BELLA, I.E., 1971: A New Competition Model for Individual Trees. *For.Sci.*17 (3): 364-372.
- BEREZOVSKAYA, F.S., KAREV, G.P., KISLIUK, O.S., KHLEBOPROS, R.G. und TSEL`NIKER, Y.L., 1997: A fractal approach to computer-analytical modelling of tree crowns. *Trees* 11: 323-327, Springer- Verlag.
- BERGEL, D., 1973: Formzahluntersuchungen an Buche, Fichte, europäischer Lärche und japanischer Lärche zur Aufstellung neuer Massentafeln. *AFJZ*, Heft 5/6, 117 - 124
- BERTALANFFY, L. VON, 1951: *Theoretische Biologie*. Bern, Band 2.
- BIBER, P., 1996: Konstruktion eines einzelbaumorientierten Wachstumssimulators für Fichten-Buchen-Mischbestände im Solling. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme*, Reihe A, Band 142
- BIGING, G. S. u. DOBBERTIN, M., 1992: A Comparison of Distance-Dependent Competition Measures for Height and Basal Area Growth of Individual Conifer Trees. *Forest Science*, Vol. 38, No. 3, 695-720
- BIGING, G. S. u. DOBBERTIN, M., 1995: Evaluation of Competition Indices in Individual Tree Growth Models. *Forest Science*, Vol. 41, No. 2, 360-377

- BIGING, G. S. u. GILL, S. J., 1997: Stochastic Models for Conifer Tree Crown Profiles. *Forest Science*, 43 (1), 25-34
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 2000: Unterlagen für die 11.Sitzung der Bund-Länder-Arbeitsgruppen „Level II“ am 26./27.6.2000 in Chorin/Brandenburg.
- BÖCKMANN, T. u. HÜSING, F., 1999: Weiserflächenkonzeption in der Niedersächsischen Landesforstverwaltung. *Forst u. Holz*, 54. Jg., 299-302.
- BONNEMANN, A., 1939: Der gleichaltrige Mischbestand von Kiefer und Buche. *Mitteilungen aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft*, 10. Jahrgang, 45 S.
- BONNEMANN, A., HUSS, J. und WARTH, H., 1971: Zur Wahl des Pflanzverbandes bei der europäischen Lärche. *Forstarchiv*, 6 (1971), 116-122
- BORTZ, J., 1993: *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 753 S.
- BOSSEL, H., 1994: Treedyn3 Forest Simulation Model. Forschungszentrum Waldökosysteme der Univ. Göttingen
- BOTKIN, D. B., JANAK, J. F.; WALLIS, J. R., 1972: Some ecological consequence of a computer model of forest growth. *J. Ecol.*, 60, 849-872
- BRUNNER, A., 1994: Ökologische Lichtmessung im Wald. *Forstarchiv*, 65 (1994), 133-138.
- BRUNNER, A., 1997: TRAYci-ein Lichtmodell für Waldmodelle mit räumlich expliziter Einzelbaumrepräsentation und dessen Anwendung für Vorwaldversuchsflächen. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Ertragskunde: Beiträge zur Jahrestagung 1999.
- BRUNNER, A., 1999: Zusammenhänge zwischen Lichtabsorption und Wachstum von Einzelbäumen. Bericht von der Tagung der Sektion Ertragskunde im DVFFA in Volpriehausen, 102-111.
- BURGER, H., 1939a: Kronenaufbau gleichaltriger Nadelholzbestände. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw.*, Bd. 21, 5-58.
- BURGER, H., 1939b: Baumkrone und Zuwachs in zwei hiebsreifen Fichtenbeständen. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw.*, Bd. 21, 147-176.
- BURGER, H., 1940: Holz, Blattmenge und Zuwachs. Ein 80-jähriger Buchenbestand. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw.*, Bd.21, H. 2 , 329.
- BURGER, H., 1941: Beitrag zur Frage der reinen oder gemischten Bestände. *Mitt. Schweiz. AFV*, 22.
- BURGER, H., 1945: Holz, Blattmenge und Zuwachs. Die Lärche. *Mitt. Schweiz. Anst. f.d. forstl. Vers. Wesen*: Bd.24, H.1, 10-12.
- BUSSE, J., 1928: Baumkrone und Durchmesserzuwachs. *Deutsche Forst-Zeitung* 43: 920-921.
- BÜTTNER, G., 1994: Der Zustand niedersächsischer Waldböden und die Ernährung der Bäume. *Forst und Holz*, Nr.23, 699-702.
- CESCATTI, A., 1997: Forest: an overview. Cost Action E4: Forest reserves research network. 21-23. April 1997, Göttingen, Germany.
- CHRISTMANN, 1939: Ertragstafel für Kiefern-Fichten-Mischbestand. In: WIEDEMANN, E., 1949: Ertragstafeln der wichtigen Holzarten. Hannover
- CLARK, PH. J., EVANS, F. C., 1954: Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationship in populations, *Ecology*, 35 (4), 445-453.
- CLUZEAU, C., LE GOFF, N. u. OTTORINI, J.-M., 1994: Development of primary branches and crown profile of *Fraxinus excelsior*. *Can. J. For. Res.*, Vol. 24, 2315-2323
- DE WALL, K., 1995: Struktur und Leistung von Buchen-Douglasien-Mischbeständen im Wuchsbezirk „Unterer Solling“. Diplomarbeit Univ. Göttingen, 123 S.
- DE WALL, K., DREHER, G., SPELLMANN, H. u. PRETZSCH, H., 1998: Struktur und Wuchsdynamik von Buchen-Douglasien-Mischbeständen in Niedersachsen. *Forstarchiv*, 69. Jg., Heft Nr.5, 179-191.

- DEUTSCHER VERBAND FORSTLICHER FORSCHUNGSANSTALTEN, 1986: Empfehlungen für ertragskundliche Versuche zur Beobachtung der Reaktion von Bäumen auf unterschiedliche Freistellung. AFJZ, 157. Jahrg., Heft 3/4, 78-82.
- DIPPEL, M., 1988: Wuchsleistung und Konkurrenz von Buchen/Lärchen-Mischbeständen im Südniedersächsischen Bergland. Dissertation Univ. Göttingen.
- DONNELLY, K. P., 1978: Simulations to determine the variance and edge effect of total nearest-neighbour distances. In Simulation Methods in Archeology. Cambridge University Press, London, 91-95.
- DORUSKA, P. F. u. MAYS, J. E., 1998: Crown Profile Modelling of Loblolly Pine by Nonparametric Regression Analysis. Forest Science, 44 (3), 445-453.
- DOYLE, T.W., 1983: Competition and growth relationships in a mixed-aged, mixed-species forest community. Ph. D. Diss. Univ. of Tennessee. 86 S.
- DREHER, G., 1994: Struktur und Wuchsdynamik von Buchen-Douglasien Mischbeständen im Mittel-Westniedersächsischen Tiefland. Diplomarbeit Univ. Göttingen, 115 S.
- DUCHIRON, M.S., 2000: Strukturierte Mischwälder. Eine Herausforderung für den Waldbau unserer Zeit. Blackwell Wissenschafts-Verlag Parey Buchverlag. 302 S.
- DUDEK, A., EK, A. R., 1980: A bibliography of worldwide literature on individual tree based forest stand growth models. Staff paper series 12., College of Forestry and Home Economics, Univ. of Minnesota, 33 S.
- DURSKY, J., PRETZSCH, H., KAHN, M., 1996: Modellhafte Nachbildung der Mortalität von Fichte und Buche in Einzelbaumsimulatoren. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde, 20.-22. Mai 1996, Neresheim, 267-277
- DÜSSEL, V., 1986: Wertästung. Forst und Holz, Nr.41, 208-211
- EBERT, H.-P., 1999: Lenkung forstlicher Produktion orientiert am einzelnen Baum. AFZ/Der Wald 8, 402-405
- EBERT, H.-P. u. RIEGER, T., 2000: Die Baumkrone als Maßstab für den Zuwachs von Eiche. AFZ/Der Wald 8/2000, 403-406
- EBERT, H.-P. u. DEUSCHLE, R., 2000: Die Baumkrone als Maßstab für den Zuwachs von Fichte. Forst und Holz, Nr.14, 452-454.
- EDER, W., 1997: Aufgaben der Waldwachstumsforschung aus der Sicht der forstwirtschaftlichen Praxis. AFJZ, 168. Jg., 10, 177-182
- EK, A. R. u. MONSERUD, R. A., 1974: Trials with program FOREST: Growth and reproduction simulation for mixed species even- or uneven-aged forest stands. Royal College of Forestry, Research Notes, Nr. 30, 56 – 73.
- ELLENBERG, H., 1986: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- EULE, H.-W., 1959: Verfahren zur Baumkronenmessung und Beziehungen zwischen Kronengröße, Stammstärke und Zuwachs bei Rotbuche, dargestellt an einer nordwestdeutschen Durchforstungsversuchsreihe. AFJZ, 130. Jg., 7, 185-201.
- FARR, W.A., DEMARS, D.J. und DEALY, J.E., 1989: Height and Crown Width Related to Diameter for Open-grown Western Hemlock and Sitka Spruce. Can.Jour.For.Res. 19 (9): 1203-1207.
- FLEDER, W., 1987: Erziehungsgrundsätze für Buchenbestände. Forst- und Holzwirt, 42, Nr.5, 107-111
- FRANZ, F., 1987: Zum Aufbau eines neuzeitlichen Informationssystems für die Forstwirtschaft. Forstarchiv, 58, 4, 131-137
- FREISE, C. u. SPIEKER, H., 1999: Konkurrenzfreies Wachstum der Buche. AFZ/Der Wald, 25/1999, 1346-1349
- FRÖMSDORF, U. und MAGNUSSEN, S., 1980: Der Verbandsversuch mit europäischer Lärche im Hessischen Forstamt Karlshafen. Forstarchiv, 51.Jg., 113-118
- FÜLDNER, K., 1995a: Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern. Cuvillier Verlag, Göttingen

- FÜLDNER, K., 1995b: Zur Strukturbeschreibung in Mischbeständen. Forstarchiv, 66.Jg., S. 235-240
- GADOW, K. VON, 1992: Wachstums- und Ertragsmodelle für die Forsteinrichtung. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde, Jahrestagung vom 1. - 3. 6. 1992, 74 – 97
- GADOW, K. VON, 1993: Zur Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. Forst u. Holz, 48, 602-606
- GADOW, K. VON u. STÜBER, V., 1994: Die Inventuren der Forsteinrichtung. Forst u. Holz, 49. Jg., 129-131
- GADOW, K. VON u. SCHMIDT, M., 1998: Periodische Inventuren und Eingriffsinventuren. Forst u. Holz, 53. Jg., 667-671
- GISI, U., 1990: Bodenökologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- GLEICHMAR, W. u. GEROLD, D., 1998: Indizes zur Charakterisierung der horizontalen Baumverteilung. Forstwiss. Cbl., 117, 69-80
- GOELZ, J.C.G., 1996: Open-Grown Crown Radius of Eleven Bottomland Hardwood Species: Prediction and Use in Assessing Stocking. Southern Hardwoods Laboratory, Stoneville. South. J. Appl. For. 20(3):156-161.
- GOFF, N. LE u. OTTORINI, J.-M., 1995: Crown development and growth of beech (*Fagus sylvatica* L.) after thinning in an experimental stand. Unité „Croissance, production et qualité des bois“ I.N.R.A. – Nancy, 54280 Champenoux France. In Madsen, S:F: (Ed) Genetics and silviculture of beech: proceedings from the 5th Beech Symposium, 257-268.
- GOLZ, 1933: Untersuchungen über das Verhältnis des Kronendurchmessers zum Brusthöhendurchmesser bei Buche. Diplomarbeit, Tharandt 1933.
- GRUBER, F., 1991: Kronenmorphologie und –architektur der Tanne (*Abies alba* Mill.). Mitt. Dtsch. Dendrol. Ges., 80 (1991), 111-175.
- GUERICKE, M., 1995: Projektskizze für die Wuchsreihe „Buche-Lärche“ in den Wuchsbezirken Göttinger Wald und Unterer Solling. Unveröffentlichtes Manuskript. Nds. Forstliche Versuchsanstalt Göttingen, 3 S.
- GUERICKE, M., 1996: Ertragskundliche Auswertung des Fichten-Femelwaldversuches Nationalpark Harz, Abt. 353. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Neresheim, 278-292.
- GUERICKE, M., 1997: Projektskizze für die Wuchsreihe „Buche-Edellaubbäume“ im Wuchsbezirk Göttinger Wald (FoA Bovenden). Unveröffentlichtes Manuskript. Nds. Forstliche Versuchsanstalt Göttingen, 4 S.
- GUERICKE, M., 1999a: Leistung und Struktur von Buchen-Lärchen-Mischbeständen unter besonderer Berücksichtigung der Konkurrenz. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Volpriehausen, 145-154.
- GUERICKE, M., 1999b: Untersuchungen zur Wuchsdynamik in ungleichaltrigen Kiefern-Buchen-Mischbeständen. Forst u. Holz, 54. Jg., 341-347.
- GUERICKE, M., u. SPELLMANN, H., 2000: Projektbeschreibung zum Einzelbaumexperiment mit Douglasie im FoA Uslar, Rfö.Delliehausen. Unveröffentlichtes Manuskript. 5 S.
- HAEUPLER, H., 1982: Evenness als Ausdruck der Vielfalt in der Vegetation. Dissertationes Botanicae, Band 65, J. Cramer, 268 S.
- HASENAUER, H., 1994a: Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern- und Buchen- Fichtenmischbestände. Forstliche Schriftenreihe, Universität für Bodenkultur, Wien, Band 8, 152 S.
- HASENAUER, H., 1994b: Zur Modellierung der Kronenlängenveränderung in verschiedenen dichten Fichtenbeständen. AFJZ, Heft 5/6, 88 – 93
- HASENAUER, H. UND MONSERUD, R.A., 1997: Biased predictions for tree height increment models developed from smoothed „data“. Ecol.Modelling. 98: 13-22

- HASENAUER, H., 1999a: Methodische Aspekte bei der Evaluierung von Baummodellen. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Volpriehausen, 45-53
- HASENAUER, H., 1999b: Höhenzuwachsmodelle für die wichtigsten Baumarten Österreichs. Forstwiss. Cbl., 118, 14-23
- HERING, S., 1995: Die Lärche in sächsischen Mittelgebirgen. AFZ/Der Wald 21, 1126-1132.
- HERZOG, E., 1999: Österreichs Gehölze. Heimische und eingebürgerte Arten. *Larix decidua* (europaea) - Europäische Lärche. <http://www.pflanzen.at/>.
- HESSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG, 1997: Naturgemäßer Waldbau im hessischen Staatswald. Runderlass des Hessischen Ministeriums für Landesentwicklung, Wohnen, Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz.
- HILLEBRAND, K., 1998: Vogelbeere im Westfälischen Bergland, LÖBF - Schriftenreihe, Band 15.
- HOFFMANN, D., 1990: Bemerkungen zur Brauchbarkeit herkömmlicher Klimadaten für die Waldwachstumsforschung. Beitrag zur 4. Tagung der Sektion Biometrie und Informatik im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, 3.-5. 7. 1990, Göttingen, Forst und Holz, 10, 274-278
- HOFFMANN, F., 1995: FAGUS, a model for growth and development of beech. Ecological Modelling, 83, 327-348
- HONDA, H., TOMLINSON, P.B. und FISHER, J.B., 1981: Computer Simulation of Branch Interaction and Regulation by Unequal Flow Rates in Botanical Trees. Amer.Jour.Bot.68 (4): 569-585.
- JANßEN, G., 1999: Die Niedersächsische Landesforstverwaltung auf dem Weg in das nächste Jahrtausend. Forst und Holz, 19, 601-605.
- JANßEN, G., 2000: Niedersachsens Wälder – Natur aus Menschenhand. Forst und Holz, 7, 195-197.
- JANSEN, M., EBERL, C., SCHULZ, R., MUES, V., STÜBER, V. und WACHTER, H., 1999: Erstellung einer Methodik zur Abgrenzung forstlicher Wuchsräume auf digitaler Datenbasis. Gutachten aus dem Institut für Forstliche Biometrie und Informatik, Universität Göttingen.
- JAHN, G., 1979: Zur Frage der Buche im nordwestdeutschen Flachland. Forstarchiv, 50. Jg., Heft Nr.5, 85-95
- JOHANN, K., 1982: Der „A-Wert“ – ein objektiver Parameter zur Bestimmung der Freistellungsstärke von Zentralbäumen. Vortragsmanuskript anlässlich der Arbeitstagung der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten in Weibersbrunn 1982.
- KAHLE, M., SCHULTE, U. u. AKCA, A., 1997: Ergebnisse der Wiederholungsaufnahme der Kernflächen der Naturwaldzelle „Ochsenberg“. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Waldbau, Arnsberg, 87-97
- KAHN, M., 1994: Modellierung der Höhenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort. Forstliche Forschungsberichte München, Band 141
- KAHN, M. u. PRETZSCH, H., 1997: Das Wachstumsmodell SILVA - Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. AFJZ, 168. Jg., 115-123
- KELLER, W., 1992: Bonität in Fichten-Folgebeständen ehemaliger Fichten- Versuchsflächen der WSL. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde, Grillenburg 1.-3. 6. 1992, 123-129
- KELLER, W., 1995: Zur Oberhöhenberechnung in Mischbeständen aus standortkundlicher Sicht. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde, Joachimsthal 29.-31. 5. 1995, 52-60
- KELLOMÄKI, S. u. KURTIO, O., 1991: A model for the structural development of a Scots pine crown based on modular growth. For. Ecol. Management, 43, 103-123.

- KENNEL, R., 1972: Die Buchendurchforstungsversuche in Bayern von 1870 bis 1970. Forschungsberichte der Forstlichen Forschungsanstalt München, Heft 7
- KING, A.W., EMANUEL, W.R. and O'NEILL, R., 1990: Linking mechanistic models of tree physiology with models of forest dynamics: Problems of temporal scale. In: DIXON, R.K. et al.(ed.): Process Modeling of Forest Growth Responses to Environmental Stress. Timber Press, Oregon: 241-248.
- KIMMINS, J. P., 1987: Forest Ecology. Macmillan Publishing Company, New York. 531 S.
- KLAMROTH, K., 1929: *Larix europea* D.C. (*Larix decidua* Mill.) und ihr Anbau im Harz. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, Jg.61, 693-694.
- KLEINSCHMIT, J., 1988: Konsequenzen aus den Lärchen-Herkunftsversuchen für die Lärchen-Züchtung. Forst u. Holz, 43 Jg., 259-262.
- KLEINSCHMIT, J. u. SVOLBA, J., 1996: Ergebnisse der Buchenherkunftsversuche von KRAHL-URBAN. AFZ/Der Wald 51, 779-782.
- KNIELING, A., 1994: Methodische Beiträge zur Auswertung der Österreichischen Forstinventur nach 1980. Dissertation, Universität der Bodenkultur Wien. 124 S.
- KOEHLER, H., 1979: Zum Lärchenanbau im Harz. Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt - Abteilung A – Waldwachstum. Vortragsmanuskript, unveröffentlicht.
- KRAJICEK, J.E., BRINKMAN, K.E. u. GINGRICH, S.F., 1961: Crown Competition: A measure of density. For.Sci. Vol.7, 35-42.
- KRAMER, H., 1982: Kurzfristige Zuwachsreaktionen bei Buche in Abhängigkeit von Witterung und verschiedenen Baummerkmalen. AFJZ, 153, 57-67
- KRAMER, H. u. DONG, P. H., 1985: Kronenanalyse für Zuwachsuntersuchungen in immisionsgeschädigten Nadelholzbeständen. Forst und Holzwirt, 40, 5, 115-118
- KRAMER, H., 1988: Waldwachstumslehre. Parey Verlag, Hamburg u. Berlin
- KRAMER, H. u. AKÇA, A., 1995: Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main
- KREMSEK u. OTTO, H.J., 1973: Grundlagen für die langfristige, regionale waldbauliche Planung in den niedersächsischen Landesforsten. Aus dem Walde. Heft 20. Mitteilungen aus der Niedersächsischen Landesforstverwaltung.
- KURTH, W., 1991: Modellierung der Morphologie einzelner Bäume mit Lindenmayer-Systemen und Fraktalen - ein Überblick. In: SLOBODA, B. u. SMELKO, S (eds.): Biometrische Beiträge zu statischen und dynamischen Modellansätzen in den Forstwissenschaften und der Praxis. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Forstliche Biometrie und Informatik, Martin/Zvolen 16.-20. 9. 1991, 161-181
- KURTH, W., 1995: Elemente einer Regelsprache zur dreidimensionalen Modellierung des Triebwachstums von Laubbäumen. In: HEMPEL, G. (ed.), Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Forstliche Biometrie und Informatik, Tharandt/Grillenburg, 25-28. 9. 1995, 174-187
- LAROCQUE, G. u. MARSHALL, P., 1994a: Crown development in red pine stands. I. Absolute and relative growth measures. Canadian Journal For Research, Vol. 24, 762-774
- LAROCQUE, G. R. u. MARSHALL, P. L., 1994b: Crown development in red pine stands. II. Relationships with stem growth. Canadian Journal For Research, Vol. 24, 775-784.
- LANGERFELDT, M., 1987: Einfluss des Pflanzenverbandes auf Wuchsleistung, Qualität und Kronenbildung bei 36jähriger europäischer Lärche im Forstamt Karlshafen. Diplomarbeit Göttingen, Univ., Forstwiss. Fachber., Inst. für Waldbau. Abt. A. Waldbau d.gemäßigten Zonen u. Forstschutz. 1987.
- LÄSSIG, R., 1991: Zum Wachstum von Fichtensolitären [*Picea abies* (L.) Karst.] in Südwestdeutschland. Dissertation Albert-Ludwig-Universität Freiburg.
- LEIBUNDGUT, H., 1992: Die europäische Lärche (*Larix decidua* Mill.) Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen/Journal forestier suisse. 143 Jg., Nr.2 : 91-118.

- LONG, J. N. u. SMITH, F. W., 1992: Volume increment in *Pinus contorta* var. *latifolia*: the influence of stand development and crown dynamics. For. Ecol. Management, 53, 53-64.
- LOREY, T., 1902: Mischbestände aus Fichte und Buche. AFJZ, 78. Jg., 41-46.
- LÜCK, J. und LÜCK, H.B., 1982: Modellbildungen zur pflanzlichen Verzweigung. Ber.Dt.Bot.Ges.95: 75-97.
- LÜPKE, B. v., u. RÖHRIG, E., 1972: Die natürliche Verjüngung der europäischen Lärche – ökologische Untersuchungen im Staatl. Forstamt Reinhausen. Aus dem Walde, Heft 17, 76 S.
- LÜPKE, B. VON, 1982: Versuche zur Einbringung von Lärche und Eiche in Buchenbestände. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen, Band 74, 123 S.
- LÜPKE, B. VON, 1986: Die Durchforstung, insbesondere Jungdurchforstung, von Buchenreinbeständen. Forst- und Holzwirt, 41, Nr.3, 54-61
- LÜPKE, B. VON, 1992: Waldbau ohne Kahlschlag - Möglichkeiten und Risiken. Forstarchiv, 63. Jg., 10-15.
- LÜPKE, B. VON, 1996: Waldbau unter ökonomischen Sachzwängen? AFJZ, 167. Jg., 9-10, 178-184.
- MCPHERSON, E.G. und ROWNTREE, R.A., 1988: Geometric Solids for Simulation of tree Crowns. Landscape and Urban Plann. 15: 79-83.
- MAGIN, R., 1957: Probleme bei der Aufstellung von Leistungstafeln für mehrschichtige Mischbestände. Mitt. Stf. Bayern, 29, 176-185
- MARSCHALL, J., 1975: Hilfstafeln für die Forsteinrichtung. Österr. Agrarverlag, Wien. 199S.
- MARTIN, 1918: Forstliche Statik. Verl. Springer, Berlin, 2. Auflage 1918.
- MAYER, H. u. SCHMIDT, J., 1991: Zur Verwendung von Klimadaten als forstliche Beurteilungsparameter. Forstwiss. Cbl., Heft 110, 338 – 343
- MAYER, R., 1958: Kronengröße und Zuwachsleistung der Traubeneiche auf süddeutschen Standorten, Teil II. AFJZ, 151-163.
- MEYER, P., 1998: Mündl. Mitteilung
- MITSCHERLICH, G., MOLL, W., KÜNSTLE, E. u. MAURER, P., 1965/1966: Ertragskundlich-ökologische Untersuchungen im Rein- und Mischbestand. AFJZ, 136. Jg., 25-33, 72-90, 101-115, 225-237, 249-257, 274-283
- MITSCHERLICH, G., 1970: Wald, Wachstum und Umwelt. Band 1. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 142 S.
- MOOSMAYER, H.-U., SCHÖPFER, W., 1972: Beziehungen zwischen Standortsfaktoren und der Wuchsleistung der Fichte. AFJZ, 143 Jg., 203-215
- MOOSMAYER, H.-U., SCHÖPFER, W., MÜHLHÄUSSER, G., KUBLIN, E., BURGER, H. U., 1996: Schätzfunktionen zur Ermittlung der standortstypischen Wuchsleistung von Fichte und Buche. AFJZ, 167 Jg., 5, 95-103.
- MÖRING, B., 1980: Über die Zusammenhänge von Baumform und Schneebruchanfälligkeit bei Fichte. Diplomarbeit, Forstwissenschaftlicher Fachbereich, Universität Göttingen. 77S.
- MÜLLER-USING, B., 1987: Die Begründung des BZT 28. Vortrag im Rahmen des betriebswirtschaftlichen Seminars der Niedersächsischen Landesforstverwaltung. Unveröffentlichtes Vortragsmanuskript.
- MÜLLER-USING, B., 1995: Mischbestände aus Buche und Europäischer Lärche. Handzettel zur Waldbau-Exkursion des Instituts für Waldbau der Universität Göttingen am 2.6.1995, unveröffentlicht, 1 S.
- MÜLDER, D., 1979: Zwischen Genetik und Loewe-Schere. Entscheidungsorientierte Überlegungen zur Krummwüchsigkeit der Lärche. Forstarchiv, 50. Jg., 145-148
- NAGEL, J., 1994a: Einzelbaumwachstumsmodell für Roteichenbestände. Forst u. Holz, 49. Jg., 69-75

- NAGEL, J., 1994b: Structural analysis of the forest reserve Saubrink on the basis of a permanent sample plot data. Proceedings from the Symposium of the IUFRO Working Groups S.4.01., 25.-29. April in Lousa/coimbra Portugal, 81-96
- NAGEL, J., 1996a: Anwendungsprogramm zur Bestandesbewertung und zur Prognose der Bestandesentwicklung. Forst u. Holz, 51. Jg., 76-78
- NAGEL, J., WAGNER, S., BIBER, P., GUERICKE, M., 1996b: Vergleich von Strahlungswerten aus Fisheye-Fotos und Modellrechnungen. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde, Jahrestagung Neresheim 20.-22. 5. 1996, 306-313
- NAGEL, J., 1997: BWIN Programm zur Bestandesanalyse und Prognose. Handbuch zur Version 3.0, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen
- NAGEL, J., 1999: Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Nordwestdeutschland. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen, Band 128, 122 S.
- NDS. LANDESREGIERUNG, 1991: Langfristige ökologische Waldentwicklung in den Landesforsten. Programm der Landesregierung Niedersachsen. Nds. Ministerium f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 2. Aufl. 1992. Hannover, 49 S.
- NDS. FORSTPLANUNGSAMT, 1987: Anweisung zur Forsteinrichtung (B.A.).Wolfenbüttel.
- NDS. FORSTPLANUNGSAMT, 1995: Forstliche Standortaufnahme. Geländeökologischer Schätzrahmen/Variantenschema.Wolfenbüttel.
- NDS. FORSTPLANUNGSAMT, 1998: Abfrageergebnis der Niedersächsischen Forsteinrichtungsdatenbank, Wolfenbüttel.
- NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG, 1974: Langfristige, regionale waldbauliche Planung für die Niedersächsischen Landesforsten.RdErl. des ML, 403 F 64210-10.
- NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG, 1987: Betriebszieltypen als Grundlage zur waldbaulichen Planung. RdErl. des ML, 403 F 408 F 64210 - 10.
- NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG, 1980: Entscheidungshilfen für die Bestandespflege von Buchenbeständen im schlagweisen Hochwald. Merkblatt Nr.5
- NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG, 1994: Langfristige, ökologische Waldbauplanung für die Niedersächsischen Landesforsten. RdErl. des ML, VORIS 79100000060043.
- NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG, 1995: Wertästung. Merkblatt Nr.31
- NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG, 1996: Waldentwicklungstypen für Planung und Vollzug des LÖWE-Programms. RdErl. des ML, VORIS 79100000060047.
- NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG, 1997: Entscheidungshilfen zur Behandlung und Entwicklung von Buchenbeständen. Merkblatt Nr.33.
- NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG, 1998: Pflanzenzahlen bei der künstlichen Bestandesbegründung in den Landesforsten. RdErl. des ML, VORIS 79100000060050.
- NDS. LANDESFORSTVERWALTUNG, 2000: Z-Baumzahlen im Landeswald. RdErl. des ML, VORIS 79100000060061.
- NEWNHAM, R.M. u. SMITH, J.H.G., 1964: Development and Testing of Stand Models for Douglas Fir and Lodgepole Pine. The Forestry Chronicle, Vol.40, No.4, S. 494-502.
- NORDRHEIN-WESTFALEN, 1991: Wald 2000 - Gesamtkonzept für eine ökologische Waldbewirtschaftung des Staatswaldes in Nordrhein-Westfalen. Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen
- NÜSSLEIN, S., 1995: Struktur und Wachstumsdynamik jüngerer Buchen-Edellaubholz-Mischbestände in Nordbayern. Forstliche Forschungsberichte München, Heft 151
- OTTO, H.-J., 1985: Pflanzenzahlen bei der künstlichen Bestandesbegründung. Forst u. Holz, 40. Jg., 51-64.
- OTTO, H.-J., 1989: Langfristige, ökologische Waldbauplanung für die niedersächsischen Landesforsten -Band 1-, Aus dem Walde, Heft 42, Hannover
- OTTO, H.-J., 1990: Die forstlichen Entwicklungen und Ziele einer naturnahen Waldpflege. Allg. Forstzeitschrift, 28-29, 723-726

- OTTO, H.-J., 1991: Langfristige, ökologische Waldbauplanung für die niedersächsischen Landesforsten -Band 2-, Aus dem Walde, Heft 43, Hannover
- OTTO, H.-J., 1992a: Langfristige, ökologische Waldentwicklung: ökologische Grundlagen des Regierungsprogramms. AFZ, 47. Jg., 566-568
- OTTO, H.-J., 1992b: Rahmenbedingungen und Möglichkeiten zur Verwirklichung der ökologischen Waldentwicklung in den niedersächsischen Landesforsten. Forst u. Holz, 47. Jg., 4, 75-78
- OTTO, H.-J., 1995: Zielorientierter Waldbau und Schutz sukzessionaler Prozesse. Forst u. Holz, 50. Jg., 7, 203-209.
- PETRI, H., 1966: Versuch einer standortgerechten, waldbaulichen und wirtschaftlichen Standraumregelung von Buchen-Fichten-Mischbeständen. Mitteilung aus dem Forsteinrichtungsamt Koblenz, Nr.13, 145 S.
- PETRI, H., 1972: Standraumregulierung von Mischbeständen am Beispiel Buche – Fichte. Forstarchiv, 48 Jg., 9, 173-179
- PETRI, H., 1984: Neue Waldbaurichtlinien und Buchenwirtschaft. Forst u. Holzwirt, 39. Jg., 9, 227-233
- PIELOU, E. C., 1961: Segregation and symmetry in two-species populations as studied by nearest neighbour relations. J. Ecol., 49, 255-269
- PIELOU, E. C., 1977: Mathematical Ecology. John Wiley & Sons, New York, 385 S.
- POMMERENING, A. u. v.GADOW, K., 2000: Zu den Möglichkeiten und Grenzen der Strukturerefassung mit Waldinventuren. Forst u. Holz, 55. Jg., 19, 622-631.
- PRETZSCH, H. 1992a: Wachstumsmodelle für Mischbestände als Herausforderung für die Waldwachstumsforschung. Forstwiss. Centralblatt, 111, 87-105
- PRETZSCH, H. u. SPELLMANN, H., 1992b: Untersuchung der Struktur und Wuchsdynamik von Buchen-Douglasien-Mischbeständen. Konzeption für die Einrichtung und waldbauliche Steuerung von Wuchsreihen in niedersächsischen Mischbeständen. Manuskript der Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Abteilung Waldwachstum (unveröff.) 4S.
- PRETZSCH, H., 1992c: Konzeption und Konstruktion von Wachstumsmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstliche Forschungsberichte München, Heft 115
- PRETZSCH, H., 1992d: Modellierung der Kronenkonkurrenz von Fichte und Buche in Rein- und Mischbeständen. AFJZ, 163. Jg., 11/12, 203-213.
- PRETZSCH, H., 1992e: Zunehmende Unstimmigkeit zwischen erwartetem und wirklichem Wachstum unserer Waldbestände. Forstwiss. Cbl., 111, 337-416
- PRETZSCH, H., 1992f: Zur Analyse der räumlichen Bestandesstruktur und der Wuchskonstellation von Einzelbäumen. Forst- und Holzwirt, 47, 14, 408-418
- PRETZSCH, H., 1993: Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen. Versuche mit dem Strukturgenerator STRUGEN. J.D.Sauerländer`s Verlag, Frankfurt a. M.
- PRETZSCH, H., 1994a: Waldwachstumsforschung in strukturreichen Rein- und Mischbeständen. Untersuchungsansatz - Arbeitsschwerpunkte - Kooperationsbedarf. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 16.-18. 5. 1994 in Bamberg, 6-26
- PRETZSCH, H., 1994b: Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. Vortrag auf der Jahrestagung der Sektion Biometrie und Informatik des Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten 1994 in Ljubljana.
- PRETZSCH, H., 1994c: Konzept für die Erfassung der Wuchsdynamik bayrischer Mischbestände aus Fichte/Buche, Kiefer/Buche, Eiche/Buche und Fichte/Tanne/Buche über ein Netz von Wuchsreihen. Unveröffentlichtes Versuchskonzept der AG „Mischbestandsmodelle“. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München, 9 S.

- PRETZSCH, H., 1995a: Analyse and Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen. Methodische Überlegungen am Beispiel niedersächsischer Buchen-Lärchen-Mischbestände. Cbl. ges. Forstw., 112 (2), 91-117
- PRETZSCH, H., 1995b: Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung. Forstwiss. Cbl., 114. Jg., 188-209
- PRETZSCH, H., 1996: Growth Trends of Forests in Southern Germany. European Forest Institute Research Report No. 5, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1996
- PRETZSCH, H., 1997: Entwicklungsstand des Einzelbaumsimulators SILVA (Version 2.1). Bericht von der Tagung der Sektion Ertragskunde im DVFFA in Grünberg, 1-34
- PRETZSCH, H., 1999: Waldwachstum im Wandel. Forstwiss. Cbl., 118 (1999), 228-250
- PRETZSCH, H., DURSKY, J., POMMERENING, A. u. FABRIKA, M., 2000: Waldwachstum unter dem Einfluss großregionaler Standortveränderungen. Forst u. Holz, 55. Jg., 307-314
- PUKKALA, T., 1989: Methods to Describe the Competition Process in a Tree Stand. Scand. J. For. Res., 4, 187-202
- REINECKE, L.H., 1933: Perfecting a stand density index for even aged forests. J. Agric. Res., 46: 627-638.
- RICHTER, J., 1999: In wie weit sind Kronenform und Schaftqualität der Rotbuche genetisch bedingt? Forst u. Holz, 54. Jg., 15, 460-462
- RIEBELING, R. u. SCHAEFER, Ch., 1984: Jahres- und Langzeitentwicklung der pH-Werte von Waldböden in hessischen Fichtenbeständen. Forst u. Holz, Nr.7, 177-182
- RIPKEN, H., 1984: Betriebswirtschaftliche Aspekte der Buchenwirtschaft. Forst- und Holzwirt, 39, Nr.3, 56-62.
- RÖHRIG, E., 1974: Laubholzwirtschaft im Mittelgebirge – wo und wie ?. Forst u. Holz, 29 Jg., 385-388.
- RÖHRIG, E., 1995: Der Verbandsversuch mit Europäischer Lärche (*Larix decidua*) im Hessischen Forstamt Karlshafen. Forstarchiv, 68. Jg., 79-86.
- RÖHLE, H., 1986: Vergleichende Untersuchungen zur Ermittlung der Genauigkeit bei der Ablotung von Kronenradien mit dem Dachlot und durch senkrechtes Anvisieren des Kronenrandes (Hochblick-Methode). Forstarchiv, 57.Jg., 67-71.
- RÖHLE, H. u. HUBER, W., 1985: Untersuchungen zur Methode der Ablotung von Kronenradien und der Berechnung von Kronengrundflächen. Forstarchiv, 56, 238-243
- RÖHLE, H., 1994: Einfluß der experimentellen Behandlung auf den Zuwachs von 1983 bis 1992. AFZ, 14/1994, 765-768.
- ROLOFF, A., 1991: Ausgewählte morphologische Aspekte der Kronenentwicklung: Architekturmodelle, Astordnungen und Blattanordnung. Mitt. Dtsch. Dendrol. Ges., 80, 87-110
- ROUVINEN, S. u. KUULUVAINEN, T., 1997: Structure and asymetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature Scots pine forest. Can. J. For. Res., 27, 890-902.
- ROZSNYAY, Z., 1984a: Über die Einbürgerung der Lärche in Norddeutschland. Forst u. Holz, 39. Jg. , 51-56.
- ROZSNYAY, Z., 1984b: Noch einmal zur Einbürgerung der Lärche in Norddeutschland. Forst u. Holz, 39. Jg. , 421-425.
- RUNKLE, J.R., 1981: Gap Regeneration in some old-growth Forests of the Eastern United States. Ecology, 62(4), 1041-1051.
- RUNKLE, J.R., 1982: Patterns of disturbance in some old-growth mesic forests of eastern North America. Ecology, 63(5), 1533-1546.
- RUNKLE, J.R. und YETTER, T.C., 1987: Treefalls Revisited: Gap dynamics in the southern Appalachians. Ecology, 68(2), 417-424.
- SACHSSE, H., 1979: Eigenschaften und Verwertung des Lärchenholzes. AFZ, 25, 118-122.
- SCHEFFER, F. u. SCHACHTSCHABEL, P., 1992: Lehrbuch der Bodenkunde. 13.Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

- S.H.-LANDESREGIERUNG, 1999: Richtlinie für die naturnahe Waldentwicklung in den schleswig-holsteinischen Landesforsten. Ministerium f. Umwelt, Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein. Kiel, 26 S.
- SEEBACH, CH.VON, 1845: Der modifizierte Buchen-Hochwald-Betrieb. Pfeils Kritische Blätter f. Forst- und Jagdwissensch.
- SEKTION ERTRAGSKUNDE IM DEUTSCHEN VERBAND FORSTLICHER FORSCHUNGSANSTALTEN, 2000: Empfehlungen zur Einführung und Weiterentwicklung von Waldwachstums-simulatoren. AFJZ, 171. Jg., 3, 52-57.
- SCHMALTZ, J., 1986: Untersuchungen über die Jungendentwicklung nachgebesserter Douglasien- und Lärchenkulturen. Forstarchiv, 57. Jg., 145-149
- SCHOBBER, R., 1949: Die Lärche. Verlag M. u. H. Schaper, Hannover
- SCHOBBER, R. u. FRÖHLICH, H.J., 1967: Der Gahrenberger Lärchen-Provenienzversuch. Schriftenr. Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen, Bd.37/38. Frankfurt a.M. J.D. Sauerländer's Verlag.
- SCHOBBER, R., 1952: Vom Lärchen-Mischbestand. Allg.Forstzeitschrift. 7.Jg., 332-335
- SCHOBBER, R., 1977: Vom II. Internationalen Lärchenprovenienzversuch. Ein Beitrag zur Lärchenherkunftsfrage. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen. Band 49, 358 S.
- SCHOBBER, R., 1981: Vom 1. internationalen Lärchenprovenienzversuch 1944, Bericht über drei deutsche Teilversuche. AFJZ, 152. Jg., 10, 181-195, 201-211 u. 221-233
- SCHOBBER, R., 1985: Neue Ergebnisse des II.Internationalen Lärchenprovenienzversuches von 1958/59 nach Aufnahmen von Teilversuchen in 11 europäischen Ländern und den USA. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen. Band 83, 164 S.
- SCHOBBER, R., 1995: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M.
- SCHÖNBÄCHLER, D., 1982: Kronenregeneration von Junglärchen in verschiedenen Dichtesituationen nach unterschiedlichen waldbaulichen Eingriffen. Diplomarbeit der Abt.f. Forstwirtschaft der ETHZ, Vertiefungsrichtung Waldbau, 112S.
- SCHÖPFER, W., 1973: Vom Einzelbaum zum Wachstumssimulator. AFJZ, 144. Jg., 8, 149-154
- SCHÜBELER, D., 1997: Untersuchungen zur standortabhängigen Wachstumsmodellierung bei der Fichte. Cuvillier Verlag, Göttingen
- SCHÜTZ, J.-PH., 1989: Zum Problem der Konkurrenz in Mischbeständen. Schweiz. Z. Forstw., 140 Jg., 12, 1069-1083.
- SCHÜTZ, J.-PH., 1999: Erfassung der situativen Konkurrenz in gleichförmigen Fichtenbestockungen aufgrund physiologischen Erkenntnissen und Positionsparametern. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Volpriehausen, 72-78.
- SHANNON, C. E., WEAVER, W., 1949: The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana
- SHARPE, P.J.H., 1990: Forest modeling approaches: Compromises between generality and precision. In: DIXON, R.K. et al.(ed.): Process Modeling of Forest Growth Responses to Environmental Stress. Timber Press, Oregon : 180-190 .
- SLOBODA, B. u. PFREUNDT, J., 1989: Baum- und Bestandeswachstum. Ein systemanalytischer räumlicher Ansatz mit Versuchsplanungskonsequenzen für die Durchforstung und die Einzelbaumentwicklung. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde
- SMITH, W.R., 1990: The static Geometric Modeling of Three-dimensional Crown Competition. In: DIXON, R.K. et al.(ed.): Process Modeling of Forest Growth Responses to Environmental Stress. Timber Press, Oregon :294-302.

- SMITH, W. R., FARRAR, R. M., MURPHY, P. A., YEISER, J. L. u. KUSH, J. S., 1992: Crown and basal area relationships of open-grown southern pines for modelling competition and growth. *Can. J. For. Res.*, Vol. 22, 341-347
- SORRENSEN-COTHERN, K., FORD, E. D. u. SPRUGEL, D. G., 1993: A model of competition incorporating plasticity through modular foliage and crown development. *Ecological Monographs*, 63 (3), 277-304.
- SPEIDEL, G., 1967: Forstliche Betriebswirtschaftslehre. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. 289 S..
- SPELLMANN, H., 1991: Beiträge der Forsteinrichtung und Ertragskunde für ein forstliches Informationssystem. *Forst u. Holz*, 3, 57-65
- SPELLMANN, H., 1995: Vom strukturarmen zum strukturreichen Wald. *Forst u. Holz*, 50. Jg., 35-44
- SPELLMANN, H., 1996: Waldbau im Wandel. *Forst u. Holz*, 49. Jg., 3-9
- SPELLMANN, H., 1997: Zielsärkennutzung: Waldbauliche und ertragskundliche Aspekte. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde, Jahrestagung in Neresheim.
- SPIECKER, H., 1990: Zusammenhänge zwischen Waldwachstum und der Variation von Klima und Witterung auf langfristig beobachteten Versuchsflächen in Baden-Württemberg. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde, Verden/Aller, 28. - 30. 5. 1990, 324-332
- SPIECKER, H., 1991: Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung von Trauben- und Stieleichen. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Band 72, 155 S.
- SPIECKER, H., 1999: Konkurrenzfreies Wachstum der Buche. *AFZ/Der Wald*, 25/1999, 1346-1349.
- STÄDTLER, H., 1991: Der Betriebszieltyp Buche/Europäische Lärche im Solling. Praktische Erfahrungen in einem Rehwildrevier. *Forst u. Holz*, 18. Jg., 502-505.
- STÄDTLER, H., 1995: Verwirklichung des Betriebszieltyps 28: Buche/Lärche. *AFZ* 19.Jg., 1032-1037
- STAGE, A., 1973: Prognosis model for stand development. U.S. Dep. Agric., For. Serv., Intermt. For. Range Exp. Stn., Ogden, Utah. Res. Pap. INT-137.
- STERBA, H., 1981: Natürlicher Bestockungsgrad und Reineckes SDI. *Cbl. f. d. ges. Forstwesen*, 98, 2: 101-116.
- STERBA, H., 1983: Single stem models from inventory data with temporary plots. *Mitt. d. FBVA*, Wien, 147, 87-101
- STERBA, H., 1995: Prognaus - ein abstandsabhängiger Wachstumssimulator für gleichaltrige Mischbestände. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Joachimsthal, 173-183.
- STERBA, H., 1997a: Waldwachstumsforschung- zwischen Erkenntnisdrang und Praxisanspruch. *AFJZ*, 168. Jg., 10, 227-230
- STERBA, H., GOLSER, M., SCHWEIGER, J., HASENAUER, H., 1997b: Modelle für das Ankommen und das Wachstum der Naturverjüngung. *Cbl. ges. Forstw.*, 114 (1), 11-33
- STÜBER, V., 1997: Untersuchungen zum standortbezogenen Jugendwachstum der europäischen Lärche. Cuvillier Verlag, Göttingen
- SUCHOCKAS, V. u. MALINAUSKAS, A., 1997: Einfluß der Pflanzdichte auf den Zuwachs von Lärchenbeständen. *AFZ/Der Wald*, 18/1997, 977-978
- TEUFFEL, K. VON, 1998: Aktuelle Anforderungen an die waldwachstumskundliche Forschung aus der Sicht einer Landesforstverwaltung. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Kevelaer, 1-4.

- THOMASIUŠ, H., 1988: Stabilität natürlicher und künstlicher Waldökosysteme sowie deren Beeinflussbarkeit durch forstwirtschaftliche Maßnahmen. AFZ, 43. Jg., 1037-1043 u. 1064-1068
- THOMASIUŠ, H. u. HELBIG, K., 1976: Die Pflege von Jungwüchsen und Jungbeständen der Lärche. Soz. Forstwirtschaft., 26. Jg., 179-180.
- TSCHERMACK, 1935: Die natürliche Verbreitung der Lärche in den Ostalpen. Mitt. Forstl. Versuchswesen Österreichs, Heft 43, 361 S.
- ULRICH, B., MAYER, R., KHANNA, P. K., 1979: Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Band 58, 291 S.
- ULRICH, B., 1983: Stabilität von Waldökosystemen unter dem Einfluß des „sauren Regens“. AFZ, 26/27, 670-677
- ULRICH, B., 1986: Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: Langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten. Forstwiss. Cbl., 105. Jg., 421-435.
- UNTHEIM, H., 2000: Höhen- und Volumenzuwachs hat bei Fichte und Buche zugenommen. AFZ/Der Wald, 22/2000, 1188-1193.
- UTSCHIG, H., 1999: Entwicklung von Dimensionsgrößen der Buche unter dem Einfluß von Standort, Behandlung und Konkurrenz. Vortrag auf der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde in Volpriehausen.
- UTSCHIG, H., 2000: Wachstum vorherrschender Buchen in Abhängigkeit von Standort und Behandlung. Forst u. Holz, 55. Jg., 44-50.
- VALENTINE, H. LUDLOW, A. u. FURNIVAL, M., 1994: Modeling crown rise in even-aged stands of Sitka spruce or loblolly pine. For. Ecol. Management, 69, 189-197
- VAN DEUSEN, P.C. u. BIGING, G.S., 1985: STAG – A stand Generator for Mixed Species Stands. Northern California Forest Yield Cooperative. Department of Forestry and Resource Management. University of California, Berkeley, Research Note No.11, 25 S.
- VORREYER, C., 1997: Untersuchung von Buchen- und Douglasienkronen in Mischbeständen. Diplomarbeit, Fakultät der Forstwissenschaften und Waldökologie der Universität Göttingen.
- WACHTER, H., 1962: Untersuchungen zur Anbaufähigkeit der europäischen Lärche in Deutschland. Arch. F. Forstwesen, Berlin, 457-572.
- WAGNER, S. u. SPELLMANN, H., 1993: Methodische Probleme bei der Erfassung der Konkurrenzsituation zwischen Baumarten in Jungwüchsen. Bericht von der Tagung der Sektion Waldbau im DVFFA in Gotha, 15 S.
- WAGNER, S., 1994: Strahlungsschätzung in Wäldern durch hemisphärische Fotos - Methode und Anwendung -. Diss. Forst. Fak. d. Univ. Göttingen, 166 S.
- WAGNER, S., 1999: Ökologische Untersuchungen zur Initialphase der Naturverjüngung in Eschen-Buchen-Mischbeständen. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen, Band 129, 262 S.
- WAGNER, S. u. RÖCKER, B., 2000: Birkenanflug in Stieleichenkulturen. Forst u. Holz, 55. Jg., 18-22.
- WECK, J., 1944: Kronenausmaße und Zuwachsleistung. Forstarchiv 19: 73-78.
- WECK, J., 1951: Über die Eignung von Kronenmeßwerten als Weiser für die Zuwachspotenz. AFZ 7 (47): 469-473.
- WEIHS, U., 1999: Waldpflege – Ein geeignetes Instrument zur nachhaltigen Sicherung der vielfältigen Waldfunktionen. Förderverein des Fachbereichs Forstwirtschaft und Umweltmanagement in Göttingen. Vorlesungsskript 308 S.
- WENK, G., ANTANAITAS, V. u. ŠMELKO, S., 1990: Waldertragslehre. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin

- WENSEL, L., KOEHLER, J., 1985: A Tree Growth Projection System for Northern California Coniferous Forests. University California Berkeley, Research Note No. 12
- WENSEL, L., MEERSCHAERT, W., BIGING, G. S., 1987: Tree Height and Diameter Growth Models for Northern California Conifers. Hilgardia, University of California, Volume 55, No. 8
- WESTPHAL, B., 1997: Beschreibung und Modellierung des Wachstums von Japanlärchen (*Larix caempferi*) im Reinbestand. Dissertation, Fakultät der Forstwissenschaften und Waldökologie der Universität Göttingen
- WIEDEMANN, E., 1943/44: Der Vergleich der Massenleistung des Mischbestands mit dem Reinbestand. AFJZ, 119/120, 123-132.
- WIEDEMANN, E., 1949: Ertragstafeln der wichtigsten Holzarten bei verschiedener Durchforstung sowie einiger Mischbestandsformen. Hannover.
- WIEDEMANN, E., 1951: Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M.
- WIEGARD, C., NETZKER, D. u. GADOW, K. VON, 1997: Die Erdstückmethode der Wertinventur. Forstarchiv, 68. Jg., 144-148.
- WILHELM, G.F, LETTER H.A. u. EDER W., 1999a: Zielsetzungen und waldbauliche Prinzipien. Konzeption einer naturnahen Erzeugung von starkem Wertholz. AFZ/Der Wald 5, 232-233.
- WILHELM, G.F, LETTER H.A. u. EDER W., 1999b: Die Phase der Qualifizierung. AFZ/Der Wald 5, 234-236.
- WINDHAGER, M., 1999a: Evaluierung von vier verschiedenen Waldwachstumssimulatoren. Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien.
- WINDHAGER, M., 1999b: Evaluierung von vier Wachstumssimulatoren BWIN, MOSES, PROGNAUS und SILVA. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Volpriehausen, 54-60
- WIMMENAUER, K., 1941: Zur Frage der Mischbestände. AFJZ 90, 90-93.
- WOLFF, M., 1991: Aerophotogrammetrische Kronenschlußgradbestimmung am Beispiel der Abteilung 63 des Staatlichen Forstamtes Rendsburg (Schleswig-Holstein). Diplomarbeit am Inst. f. Forsteinrichtung und Ertragskunde der Univ. Göttingen.
- WOLLBORN, P., 1997: Das Waldbauprogramm LÖWE sechs Jahre nach dem Erlaß. AFZ/Der Wald, 21, 1141-1143.
- WOLLBORN, P., 2000: Waldbau in den Niedersächsischen Landesforsten. Beitrag zum Tagungsführer der 13. KWF-Tagung 2000 Raum Celle/Niedersachsen. S. 10-12.
- WOODCOCK, H., VOLLENWEIDER, P., DUBS, R. u. HOFER, R.-M., 1995: Crown alterations induced by decline: a study of relationships between growth rate and crown morphology in beech. Trees, 9, 279-288
- WYKOFF, W., CROOKSTON, N. L. u. STAGE, R., 1982: User's Guide to the Stand Prognosis Model. Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station Ogden, General Technical Report INT-133
- ZINGG, A., 1994: Top heights in mixed stands. Their definition and calculation. Proc. IUFRO-Symposium Mixed Stands, April 1994 in Lousa, Portugal: 67-79.
- ZIMMERMANN, H. 1985: Die Waldstandorte in Hessen und ihre Bestockung. Waldbauliche Leitlinien und Empfehlungen für den öffentlichen Wald. Mitt. Landesforstverwaltung Hessen, Heft 20. 229 S.

Anlage 1: Verzeichnis der Abbildungen

- Abbildung 1- 1:** Vom Managementmodell zum Erklärungsmodell. Entwicklungsstand der waldwachstumskundlichen Modellierung an der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Abteilung Waldwachstum.
- Abbildung 1- 2:** Soll-Ist Vergleich zwischen dem Planungsumfang der regionalen Waldbauplanungen von 1973/1991 und der tatsächlich ausgewiesenen Fläche für den Bestandestyp Buche/Lärche in den niedersächsischen Landesforsten.
- Abbildung 2- 1:** Schematische Darstellung der verknüpfenden Wuchsreihenauswertung.
- Abbildung 2- 2:** Ablaufdiagramm zur Datenaufbereitung, Datenanalyse und Modellparametrisierung.
- Abbildung 2- 3:** Schematische Darstellung der verschiedenen direkten und abgeleiteten Kronengrößen sowie die verwendeten Variablenbezeichnungen.
- Abbildung 2- 4:** Geographische Lage der aufgenommenen Versuchsflächen im Wuchsbezirk „Unterer Solling“.
- Abbildung 2- 5:** Ergebnis der Analyse der Kationenaustauschkapazität (AKE/ $\mu\text{molc/g}$) in verschiedenen Tiefenstufen.
- Abbildung 2- 6:** Analyseergebnisse zur Basensättigung in verschiedenen Tiefenstufen.
- Abbildung 3- 1:** Durchmesserentwicklung herrschender Buchen (blau) und Lärchen (rot) als unechte Zeitreihe über dem Alter der Versuchsflächen.
- Abbildung 3- 2:** Rechnerische Transformation der Kronenablotungen 1984 auf das feste Winkelsystem der Zweitaufnahme 1994.
- Abbildung 3- 3:** Winkel- und Streckenberechnungen auf Grundlage des Sinus- und Kosinussatzes zur rechnerischen Transformation der Kronenablotungen.
- Abbildung 3- 4:** Schematische Darstellung der Kronentransformation am Beispiel einer Einzelkrone.
- Abbildung 3- 5:** Übersicht verwendeter Kronenbreitenfunktionen basierend auf der allometrischen Grundbeziehung zwischen Durchmesser und Kronenbreite.
- Abbildung 3- 6:** Relative Beziehung zwischen gemessenen tatsächlichen Radien und gemitteltem Durchschnittsradius am Beispiel für die Baumart Buche.
- Abbildung 4- 1:** Entwicklung der Stammzahl- und Grundflächenhaltung im Buchendurchforstungsversuch Dillenburg, Abt. 33 vom Alter 56 – 99.
- Abbildung 4- 2:** Kronenausformung in Abhängigkeit von der waldbaulichen Behandlung im Buchendurchforstungsversuch Dillenburg, Abt.33.
- Abbildung 4- 3:** Vergleich der Kronenprojektionen auf Grundlage runder bzw. asymmetrischer , zweidimensionaler horizontaler Kronendarstellung.
- Abbildung 4- 4:** Jährliche horizontale Kronenbreitenveränderungen (cm) im Vergleich zu prognostizierten Radienzuwachsen mit Hilfe einer linearen Kronenbreitenfunktion (NAGEL 1999).
- Abbildung 4- 5:** Vergleichende Kronenprojektionen nach 10-jähriger Folgeablotung im Lochhiebsversuch FoA Reinhausen, Abt. 163.
- Abbildung 4- 6:** Gemessene Kronenradien im Vergleich zwischen den Himmelsrichtungen der Kronenablotung. (Japanlärchenversuch Bederkesa, Abt. 99).
- Abbildung 4- 7:** Bestandesdarstellung und Kronenprojektionen zur Darstellung horizontaler Kronenbreitenveränderungen (Japanlärchenversuch Bederkesa, Abt. 99).
- Abbildung 4- 8:** Jährlicher horizontaler Kronenradienzuwachs über dem Ausgangsradius (Japanlärchenversuch Bederkesa, Abt. 99).

- Abbildung 4- 9:** Beziehung zwischen BHD und Kronendurchmesser.
- Abbildung 4-10:** Alter und Altersdifferenz zwischen Buchen und Lärchen auf den 18 Versuchsflächen im Wuchsbezirk „Unterer Solling“.
- Abbildung 4-11:** Bonitätsentwicklung über dem Alter getrennt nach Buche (oben) und Lärche (unten).
- Abbildung 4-12:** Entwicklung der Stammzahlen und stammzahlbezogenen Mischungsverhältnisse getrennt nach Buche und Lärche für den Beobachtungszeitraum zwischen 40 und 158 Jahren.
- Abbildung 4-13:** Entwicklung der Grundflächenhaltung und grundflächenbezogenen Mischungsverhältnisse getrennt nach Buche und Lärche für den Beobachtungszeitraum zwischen 40 und 158 Jahren.
- Abbildung 4-14:** Entwicklung der Gesamtvorräte getrennt nach Buche und Buche-Lärche im Vergleich zum Ertragstafelmodell.
- Abbildung 4-15:** Entwicklung der Durchmesserverteilungen über dem Alter getrennt nach Buche und Lärche.
- Abbildung 4-16:** Entwicklung der Höhenverteilungen über dem Alter getrennt nach Buche und Lärche.
- Abbildung 4-17:** Entwicklung der Evenness über der Stammzahl für die beiden Aufnahmezeitpunkte 1984 und 1994.
- Abbildung 4-18:** Entwicklung des Aggregationsindex für das Gesamtkollektiv für die beiden Aufnahmezeitpunkte 1984 und 1994.
- Abbildung 4-19:** Entwicklung des Aggregationsindex getrennt nach Buche und Lärche für die beiden Aufnahmezeitpunkte 1984 und 1994.
- Abbildung 4-20:** Entwicklung des Segregationsindex für die beiden Aufnahmezeitpunkte 1984 und 1994.
- Abbildung 4-21:** Entwicklung des Artprofilindex für die beiden Aufnahmezeitpunkte 1984 und 1994.
- Abbildung 4-22:** Entwicklung von Kronenansatz und astreinen Schaftlängen hergeleitet für das Kollektiv „potentieller Auslesebäume“.
- Abbildung 4-23:** Entwicklung der Gesamtüberschirmung in den Buchen-Lärchen- Mischbeständen vom Alter 40 bis zum Alter 158.
- Abbildung 4-24:** Entwicklung der Überschirmungssituation getrennt nach Einfach- und Mehrfachüberschirmung vom Alter 40 bis zum Alter 158.
- Abbildung 4-25 :** Analyse der Kronenausformung für die Baumart Buche getrennt nach Ober-, Mittel- und Unterschicht.
- Abbildung 4-26 :** Analyse der Kronenausformung für die Baumart Lärche (Oberschicht).
- Abbildung 4-27:** Allometrische Beziehung zwischen Kronendurchmesser und BHD getrennt nach Buche (oben) und Lärche (unten).
- Abbildung 4-28:** Horizontale Kronenbreitenveränderungen über dem Ausgangsradius getrennt nach Buche (oben) und Lärche (unten).
- Abbildung 4-29:** Horizontale Kronenbreitenveränderungen getrennt nach den acht Himmelsrichtungen der Kronenablotung für Buche (oben) und Lärche (unten).
- Abbildung 4-30:** Beziehung zwischen Brusthöhendurchmesser und Kronenschirmfläche sowie „theoretisch abgeleiteten“ Stammzahlen getrennt nach Buche und Lärche.
- Abbildung 4-31:** Mittlerer jährlicher Grundflächenzuwachs über der Kronenschirmfläche getrennt nach Buche (oben) und Lärche (unten).
- Abbildung 4-32:** Entwicklung des Plumpeitsgrades über dem Durchmesser getrennt für Buche (oben) und Lärche (unten).
- Abbildung 4-33:** Entwicklung des Ausladungsverhältnisses über dem Durchmesser getrennt für Buche (oben) und Lärche (unten).
- Abbildung 4-34:** Verhältnis inner- zu zwischenartlicher Konkurrenz getrennt nach Bezugs-

baumart.

- Abbildung 4-35:** Einfluss der Konkurrenz durch Beschattung auf den Kreisflächenzuwachs in Abhängigkeit von Himmelsrichtung und Bezugsbaumart.
- Abbildung 4-36:** Wertebereich des aggregierten Konkurrenzindex FKI über dem BHD getrennt nach Bezugsbaumart.
- Abbildung 4-37:** Vergleich des einzelbaumbezogenen Beschattungsindex (CI) auf Grundlage gemittelter kreisförmiger Kronenmodelle bzw. asymmetrischer Kronenmodelle am Beispiel der Baumart Buche.
- Abbildung 4-38:** Kronenformen und -proportionen für Buche und Lärche nach den geometrischen Kronenformmodellen von PRETZSCH (1992c).
- Abbildung 4-39:** Schematischer Vergleich zur Herleitung des Übergangs zwischen Licht- und Schattkronen (Höhe der maximalen Kronenbreite).
- Abbildung 4-40:** Beziehung zwischen Baumhöhe und Höhe der Lichtkronenbasis für Buche (oben) und Lärche (unten).
- Abbildung 4-41:** Häufigkeitsverteilungen der beobachteten Höhe der Lichtkronenbasis getrennt für Buche (links) und Lärche (rechts).
- Abbildung 4-42:** Relative Lageveränderung der Höhe der Lichtkronenbasis in Beziehung zur Ausgangshöhe getrennt für Buche (oben) und Lärche (unten).
- Abbildung 4-43:** Schematische Darstellung der Funktionsweise des Programmbausteins KONKURZ 4.0 zur Berechnung der Abstände zwischen der Kronenperipherie benachbarter Bäume.
- Abbildung 4-44:** Horizontale Kronenbreitenveränderungen und abgeleitete „potentielle Radienzuwächse“ über dem Ausgangsradius für Buche (oben) und Lärche (unten).
- Abbildung 4-45:** Reaktionsmuster der Buchenkronen (Kronenbreitenveränderung) unter dem Einfluss seitlicher Kroneneinengung und Art des Nachbarn.
- Abbildung 4-46:** Reaktionsmuster der Lärchenkronen (Kronenbreitenveränderung) unter dem Einfluss seitlicher Kroneneinengung und Art des Nachbarn.
- Abbildung 4-47:** Lage und Verlauf der „Begrenzerfunktionen“ (maximaler und minimaler Kronenradius) in Abhängigkeit vom BHD für Buche (oben) und Lärche (unten).
- Abbildung 4-48:** Darstellung des 10-jähriges Prognoseintervalls zur abstandssensitiven Kronenbreitenentwicklung einer Lärchengruppe aus drei Einzelbäumen (oben) im Vergleich mit Kronenprojektionen auf Grundlage von Mittelwerten (unten).
- Abbildung 4-49:** Darstellung des 10-jähriges Prognoseintervalls zur abstandssensitiven Kronenbreitenentwicklung einer Lärche (Zentralbaum), die von zwei Buchen umgeben ist.
- Abbildung 4-50:** Darstellung des 10-jähriges Prognoseintervalls zur abstandssensitiven Kronenbreitenentwicklung einer Buchengruppe aus vier Einzelbäumen.
- Abbildung 4-51:** Einfluss seitlicher Kroneneinengung auf die Baumart Lärche in Nachbarschaft zur Lärche.
- Abbildung 4-52:** Einfluss seitlicher Kroneneinengung auf die Baumart Lärche in Nachbarschaft zur Buche.
- Abbildung 4-53:** Beziehung zwischen Kronenmantelflächenzuwachs der Lichtkronen und absolutem Kreisflächenzuwachs am Beispiel der Buche.
- Abbildung 4-54:** Residuen der an das Datenmaterial angepassten Schätzfunktion für die Kronenansatzhöhe über den erwarteten Kronenansatzhöhen.
- Abbildung 4-55:** Einfluss der Lichtkronenmantelfläche auf den Kreisflächenzuwachs am Beispiel der Baumart Buche.
- Abbildung 4-56:** Einfluss des Beschattungsindex (FKI) auf den Kreisflächenzuwachs am Beispiel der Baumart Buche.

- Abbildung 4-57:** Residuen der an das Datenmaterial angepassten Schätzfunktion für den Kreisflächenzuwachs über erwartetem Kreisflächenzuwachs.
- Abbildung 4-58:** Einfluss von Kronenmantelfläche (Lichtkrone) und Beschattungsindex FKI auf den Kreisflächenzuwachs von Buche und Lärche.
- Abbildung 4-59:** Schematische Darstellung zur Herleitung von Höhenzuwachsen aus der Altershöhenbeziehung mit Hilfe der Umkehrfunktion $h=f(\text{Alter})$.
- Abbildung 4-60:** Vergleich von Maximal- und Oberhöhenverlauf über dem Alter für die beiden Baumarten Buche und Lärche.
- Abbildung 4-61:** Häufigkeitsverteilung sowie abgeleitete Exponentialfunktion zur Berechnung des „Multiplikators“ für die potentielle Altershöhenbeziehung der Baumart Buche nach dem Transformationsverfahren (KAHN 1994).
- Abbildung 4-62:** Verlauf der „potentiellen Altershöhenbeziehungen“ sowie des abgeleiteten potentiellen Höhenzuwachses von Buche und Lärche im Vergleich.
- Abbildung 4-63:** Vergleich der gemessenen Höhenzuwächse mit den abgeleiteten potentiellen Höhenzuwachsen für die Baumarten Buche (oben) und Lärche (unten).
- Abbildung 4-64:** Herleitung des potentiellen Asymptotenwertes (A_t) als Gewichtungsfaktor für den Einfluss „historischer Konkurrenz“.
- Abbildung 4-65:** Einfluss von FKI_{Gew} auf den Höhenzuwachs der Baumart Buche.
- Abbildung 4-66:** Residuen der an das Datenmaterial angepassten Schätzfunktion für den Höhenzuwachs über dem erwarteten Höhenzuwachs, Baumart Buche.
- Abbildung 4-67:** Direktschätzung des Höhenzuwachses aus der aktuellen Baumhöhe, Baumart Lärche.
- Abbildung 4-68:** Durchmesserverteilung des Buchen-Lärchen-Mischbestandes in Abt. 330.
- Abbildung 4-69:** Stammverteilungspläne und Durchmesserverteilungen des ausscheidenden Bestandes getrennt nach Behandlungsvariante.
- Abbildung 4-70:** Entwicklung der Nachbarschaftsverhältnisse getrennt nach Buche und Lärche in Abhängigkeit von den Behandlungsvarianten.
-
- Abbildung 5- 1:** Schematische Darstellung zum Einfluß der Variablen Konkurrenz, Witterung, Standort und Genetik in Abhängigkeit vom Aufnahmezeitraum respektive Prognoseintervall.
- Abbildung 5- 2:** Entwicklung der Kronendimensionen und Veränderung der Kronenform in Abhängigkeit vom Durchmesser am Beispiel eines hochdurchforsteten Buchenreinbestandes (aus BADOUX 1939).
- Abbildung 5- 3:** Übersicht der unterschiedlichen Teilmodelle und gewählten Funktionen des Wachstumsmodells für Buchen-Lärchen-Mischbestände.
- Abbildung 5- 4:** Schematische Darstellung zum Aufbau des Wachstumssimulators als Gesamtmodell.
-
- Abbildung 6- 1:** Vergleich der Altershöhenbeziehungen und Oberhöhenzuwächse für die beiden Baumarten Buche und Lärche im Wuchsbezirk „Unterer Solling“ sowie die abgeleiteten Eingriffzeitpunkte für die Pflege der Lärchenmischungsanteile in Abhängigkeit von der Oberhöhe.
- Abbildung 6- 2:** Horstweise angekommene Lärchenvorverjüngung in einem hiebsreifen Buchen-Lärchen-Mischbestand.
- Abbildung 6- 3:** Lärchenjungbestand aus künstlichem Voranbau.
- Abbildung 6- 4:** Mischbestand im geringen Baumholzalter – noch haben die eingemischten Lärchenanteile einen deutlichen Wuchsvorsprung gegenüber der Buche.
- Abbildung 6- 5:** Lärchenhorst im mittleren Baumholzalter – aufgrund anhaltender Dynamik im Höhenwachstum holt die Buche die vorwüchsigen Lärchen allmählich ein.

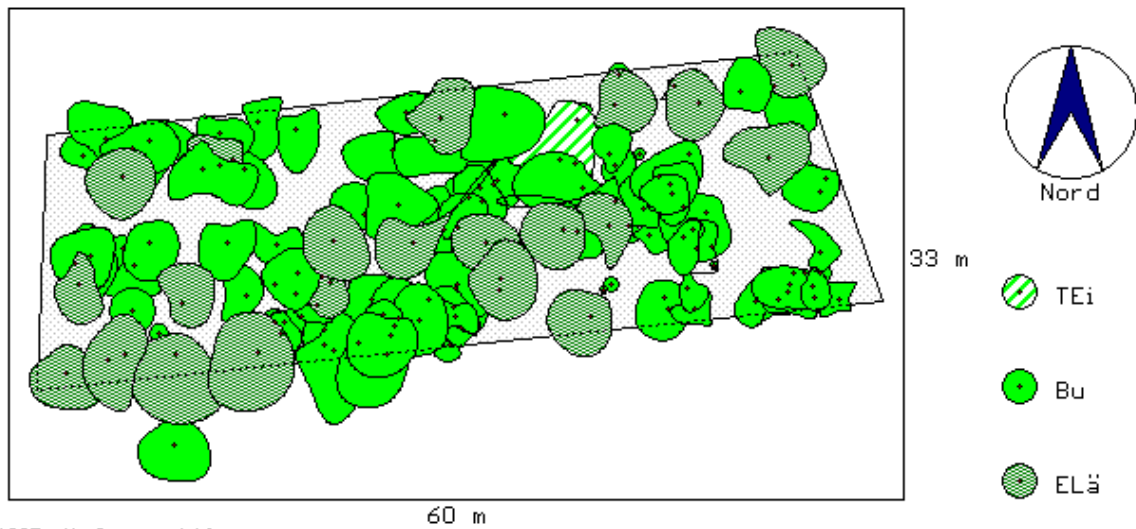
Anlage 2 : Verzeichnis der Tabellen

- Tabelle 2- 1:** Zusammenstellung und Vergleich der Aufnahmeparameter für die beiden Aufnahmezeitpunkte 1984 und 1994.
- Tabelle 2- 2:** Verwendete Software und ihre Anwendungsbereiche im Rahmen der Datenverwaltung, -aufbereitung und –analyse.
- Tabelle 2- 3:** Ansprachemerkmale und Merkmalsdifferenzierung nach dem Schema zur verbalen Stammansprache im Rahmen ertragskundlicher Aufnahmen durch die Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt.
- Tabelle 2- 4:** Zusammenstellung der wichtigsten Standortsangaben für die untersuchten Buchen-Lärchen-Mischbestände im Solling
- Tabelle 2- 5:** Angaben zu den PH-Werten (H₂O/KCL) in unterschiedlichen Tiefenstufen im Vergleich zu den Ergebnissen der Erstaufnahme 1988.
- Tabelle 2- 6:** C/N-Verhältnisse, pH-(H₂O)Werte und morphologische Humusform für die analysierten Bodenprofile.
- Tabelle 2- 7:** Wichtige Klimakenngrößen für den Wuchsbezirk „Unterer Solling“ sowie Vergleich mit modellierten Klimawerten.
- Tabelle 2- 8:** Ergebnisse der prognostizierten Klimakennwerte auf Basis des klimatischen Regionalisierungsmodells von Mues, Jansen et al. (1999).
- Tabelle 3- 1:** Verwendung der Versuchsflächen für die verschiedenen waldwachstumskundlichen Auswertungen sowie für die Parametrisierung der unterschiedlichen Teilmodelle.
- Tabelle 4- 1:** Vergleich der Überschirmung berechnet auf Grundlage asymmetrischer bzw. runder Kronenquerschnitte.
- Tabelle 4- 2:** Datenumfang und Stratifizierung für die Analyse der verbalen Stammansprache.
- Tabelle 4- 3:** Ergebnis der Ansprache der sozialen Stellung.
- Tabelle 4- 4:** Ergebnis der Ansprache der Schaftqualitäten.
- Tabelle 4- 5:** Ergebnis der Ansprache der Kronenausformung.
- Tabelle 4- 6:** Stammzahl und Mischungsanteile potentieller Ausleseebäume in den verschiedenen natürlichen Altersstufen.
- Tabelle 4- 7:** Statistischer Mittelwertvergleich der Kronenausformung der Buche in der Oberschicht.
- Tabelle 4- 8:** Statistischer Mittelwertvergleich der Kronenausformung der Lärche in der Oberschicht.
- Tabelle 4- 9:** Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der linearen Schätzfunktionen für die Beziehung zwischen BHD und Kronendurchmesser.
- Tabelle 4-10:** Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der linearen Schätzfunktionen zur Beschreibung der Beziehung zwischen horizontaler Kronenbreitenveränderung (ir/m/J) und Ausgangsradius.
- Tabelle 4-11:** Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der Schätzfunktionen für die Beziehung zwischen Durchmesser (BHD) und Kronenschirmfläche.
- Tabelle 4-12:** Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der Schätzfunktionen für die Beziehung Kreisflächenzuwachs und Kronenschirmfläche.
- Tabelle 4-13:** Werte der Gewichte G_{Lä} und G_{Bu} zur Berücksichtigung artspezifischer Konkurrenz in Abhängigkeit von der Art des Bezugsbaumes.

Tabelle 4-14:	Zusammenstellung der Gewichtungsfaktoren für die Bedeckungswerte der verschiedenen Himmelsrichtungs-Sektoren von Fisheye-Grafiken getrennt nach Bezugsbaumart.
Tabelle 4-15:	Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der linearen Schätzfunktionen für die Beziehung zwischen Baumhöhe und Höhe der Lichtkronenbasis.
Tabelle 4-16:	Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der Schätzfunktionen für den potentiellen Kronenbreitenzuwachs in Abhängigkeit vom Ausgangsradius.
Tabelle 4-17:	Regressionsparameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der Schätzfunktionen für die Beziehung zwischen Kronenbreitenveränderung und seitlichem Abstand der Kronenperipherie zum nächsten Nachbarn.
Tabelle 4-18:	Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße für die Kronenansatz-Schätzfunktion.
Tabelle 4-19:	Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der Schätzfunktionen für die Beziehung Kreisflächenzuwachs und Lichtkronenmantelfläche.
Tabelle 4-20 :	Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der Schätzfunktionen für die Beziehung zwischen Kreisflächenzuwachs und Konkurrenzindex (FKI).
Tabelle 4-21 :	Parameter, Standardfehler und Bestimmtheitsmaße der Schätzfunktionen für das Kreisflächenzuwachmodell.
Tabelle 4-22:	Berechnung der Wertepaare für die Altershöhenbeziehungen d_o/h_o und h_{max} , Baumart Buche.
Tabelle 4-23:	Berechnung der Wertepaare für die Altershöhenbeziehungen d_o/h_o und h_{max} , Baumart Lärche.
Tabelle 4-24:	Funktionsparameter für die Altershöhenbeziehungen.
Tabelle 4-25:	Standardfehler und Regressionskoeffizienten der linearen Schätzfunktion für den Ausgleich des relativen Höhenzuwachses über dem gewichteten Beschattungsindex FKI für die Baumart Buche.
Tabelle 4-26:	Regressionskoeffizienten, Standardfehler und Bestimmtheitsmaß der Schätzfunktion für die Höhenzuwachsprognose, Baumart Buche.
Tabelle 4-27:	Regressionskoeffizienten, Standardfehler und Bestimmtheitsmaß der logarithmischen Schätzfunktion für die Höhenzuwachsprognose, Baumart Lärche.
Tabelle 4-28:	Ertragskundliche Kennwerte für den Buchen-Lärchen-Mischbestand in Abt. 330, Rfö. Verliehausen (Aufnahme 1999).
Tabelle 4-29:	Gegenüberstellung der Bestandesentwicklung getrennt nach unterschiedlicher Behandlungsvariante sowie nach verbleibendem/ausscheidendem Bestand.

Fläche	BL11
Flächengröße	0,2223

Ablotungen erfolgten nur auf auf einem repräsentativen Bestandesauschnitt

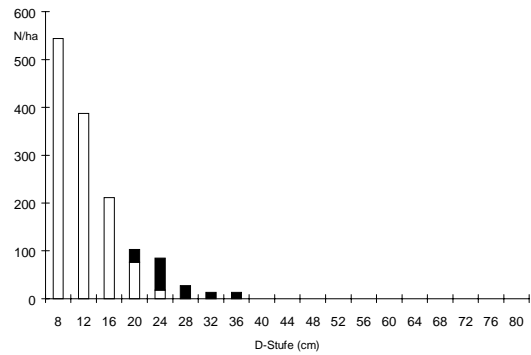


© 1995, K. Staupendahl

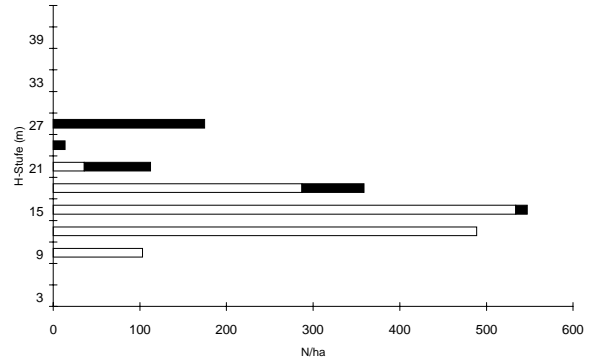
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

verbleibender Bestand				1. Aufnahme (1994)		
				Buche	Lärche	Gesamt
Alter				40	34	
Stammzahl (N/ha)				2029	148	2177
Grundfläche (qm/ha)				15,60	8,02	23,62
Grundflächenanteil (%)				66	34	
Dg				10,9	26,2	
D 100				19,9	28,2	
Hg				14,8	20,0	
H 100				17,9	20,5	
Vorrat (Fm/ha)				97,0	72,2	169,2
EKL (Mittelhöhe)				0.3	1.2	
ausscheidender Bestand	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Stammzahl (N/ha)						
Grundfläche (qm/ha)						



Durchmesserverteilung 1994

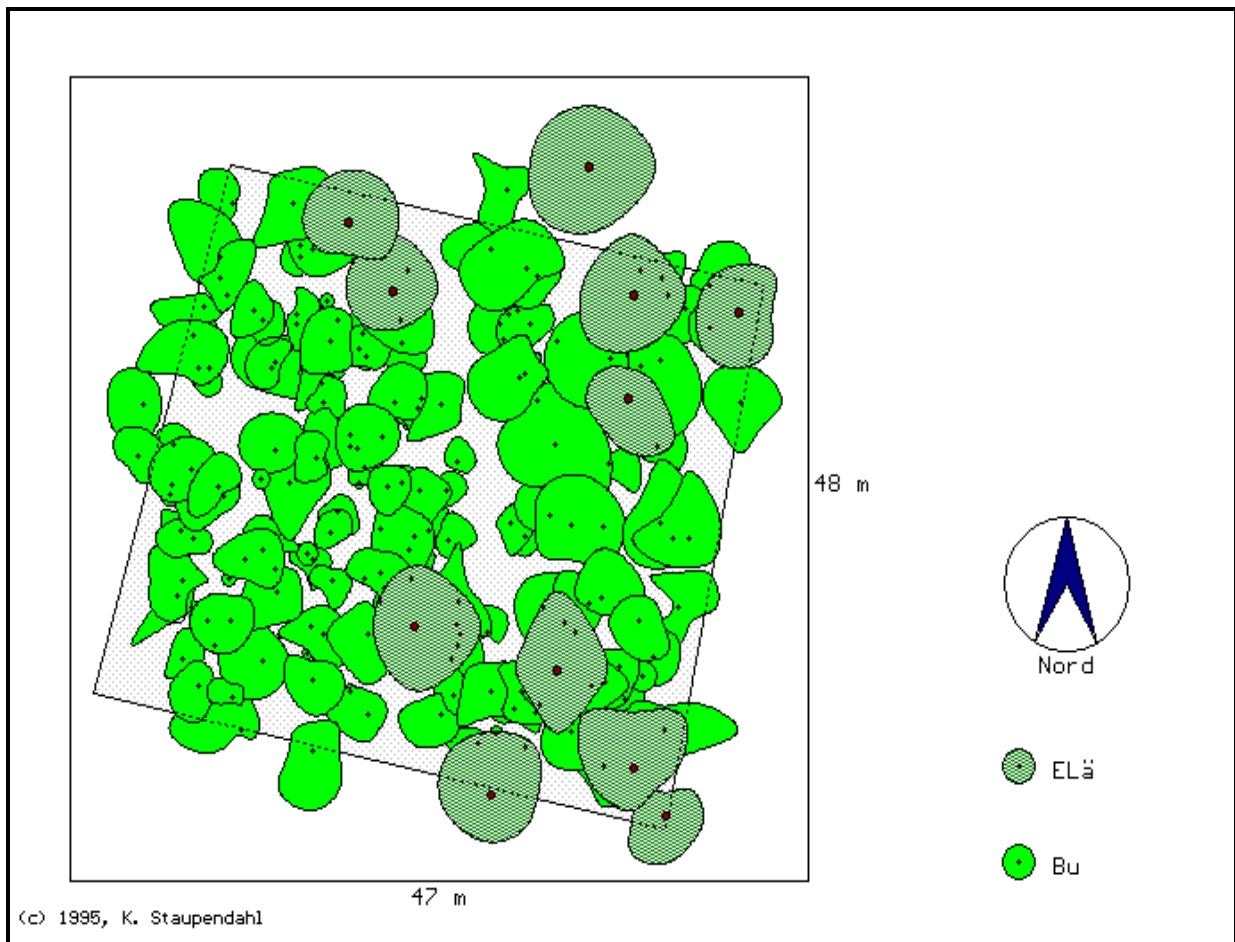


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1994)					
				Buche	Lärche	Gesamt
Oberschicht						
N/ha				31	67	98
G/ha				0,67	4,33	5,0
V/ha				6,6	41,0	47,6
Mittelschicht						
N/ha				913	58	971
G/ha (V/ha)				11,81	2,76	14,57
V/ha				84,8	23,4	108,2
Unterschicht						
N/ha				292	22	314
G/ha (V/ha)				1,73	0,93	2,66
V/ha				6,0	3,5	9,5
Evenness (G)						0.496
Evenness (N)						0.232
Vertikales Artprofil (A)						1.089
Aggregation (Clark&Evans)				0.889	0.969	0.963
Segregation (Pielou)						-0.042

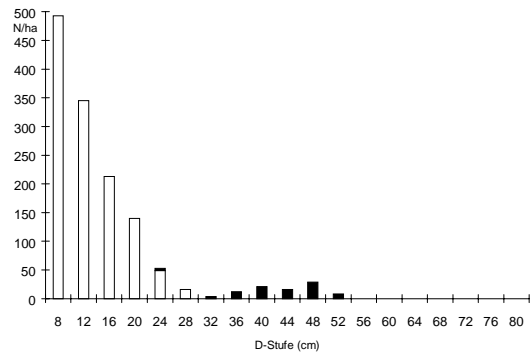
Fläche	BL12
Flächengröße	0,2436



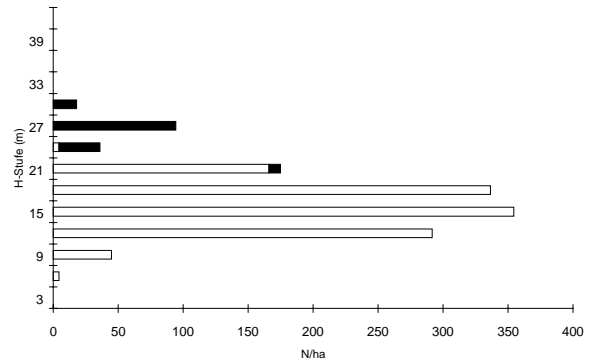
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

verbleibender Bestand	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter				47	40	
Stammzahl (N/ha)				1429	99	1528
Grundfläche (qm/ha)				17,19	13,44	30,63
Grundflächenanteil (%)				56	44	
Dg				12,4	41,7	
D 100				22,5	42,5	
Hg				15,9	24,2	
H 100				19,5	24,3	
Vorrat (Fm/ha)				127,2	135,5	262,7
EKL (Mittelhöhe)				1.3	-0.1	
ausscheidender Bestand	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Stammzahl (N/ha)						
Grundfläche (qm/ha)						



Durchmesserverteilung 1994

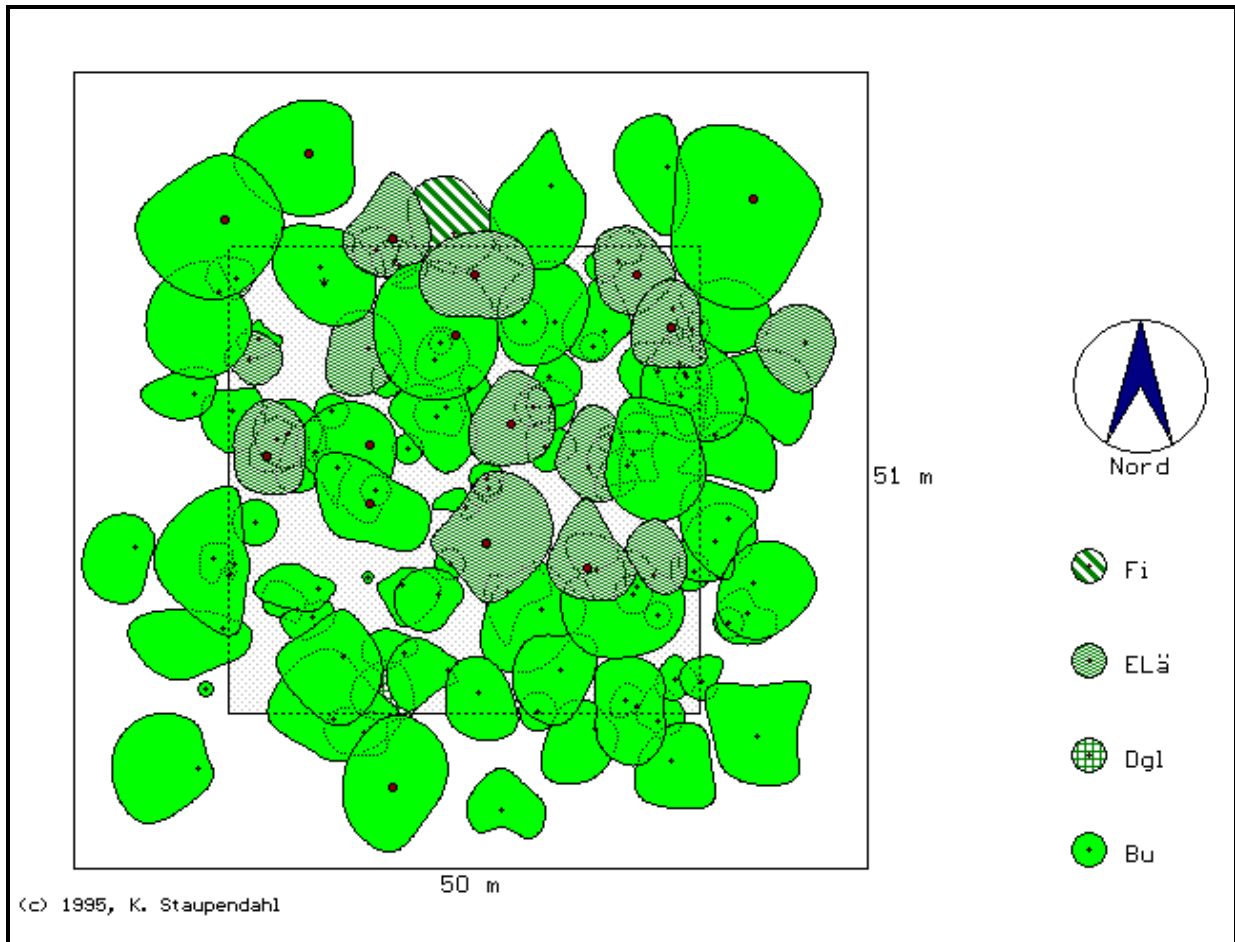


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1994)					
	Buche	Lärche	Gesamt			
Oberschicht						
N/ha	12	86	98			
G/ha	0,24	12,50	12,74			
V/ha	2,6	127,4	130,0			
Mittelschicht						
N/ha	665	8	673			
G/ha (V/ha)	13,04	0,88	13,92			
V/ha	112,1	7,9	120,0			
Unterschicht						
N/ha	579		579			
G/ha (V/ha)	3,79		3,79			
V/ha	14,8		14,8			
Evenness (G)			0.653			
Evenness (N)			0.234			
Vertikales Artprofil (A)			1.009			
Aggregation (Clark&Evans)	0.893	1.132	0.961			
Segregation (Pielou)			0.000			

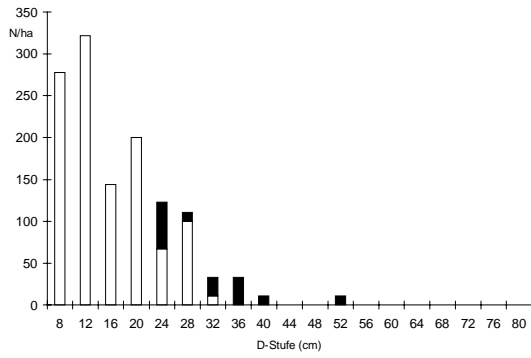
Fläche	301
Flächengröße	0,0900



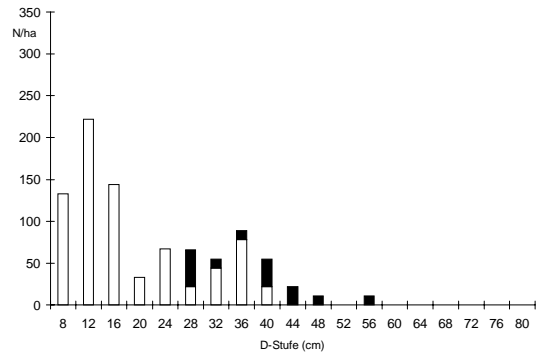
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

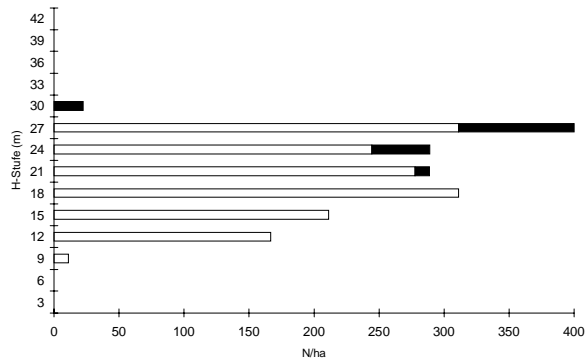
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	51	46		61	56	
Stammzahl (N/ha)	1122	144	1266	778	144	922
Grundfläche (qm/ha)	22,37	11,81	34,18	24,68	16,40	41,08
Grundflächenanteil (%)	65,5	34,5		60,1	39,9	
Dg	15,9	32,3		20,1	38,0	
D 100	27,7	35,5		35,9	42,0	
Hg	20,4	26,3		21,0	26,3	
H 100	25,5	26,9		24,7	26,8	
Vorrat (Fm/ha)	227,3	137,5	364,8	269,0	184,5	453,5
EKL (Mittelhöhe)	0.2	-0.1		1.2	0.9	
<i>ausscheidender Bestand</i>						
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Stammzahl (N/ha)	344		344			
Grundfläche (qm/ha)	6,08		6,08			



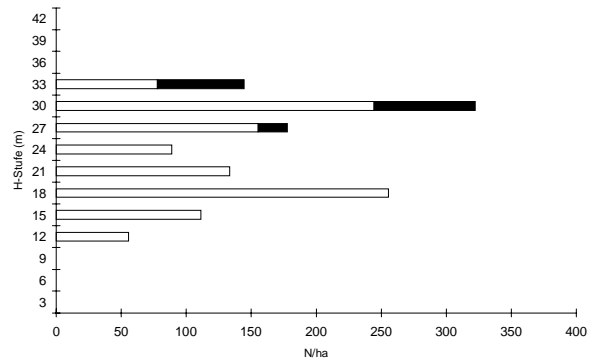
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

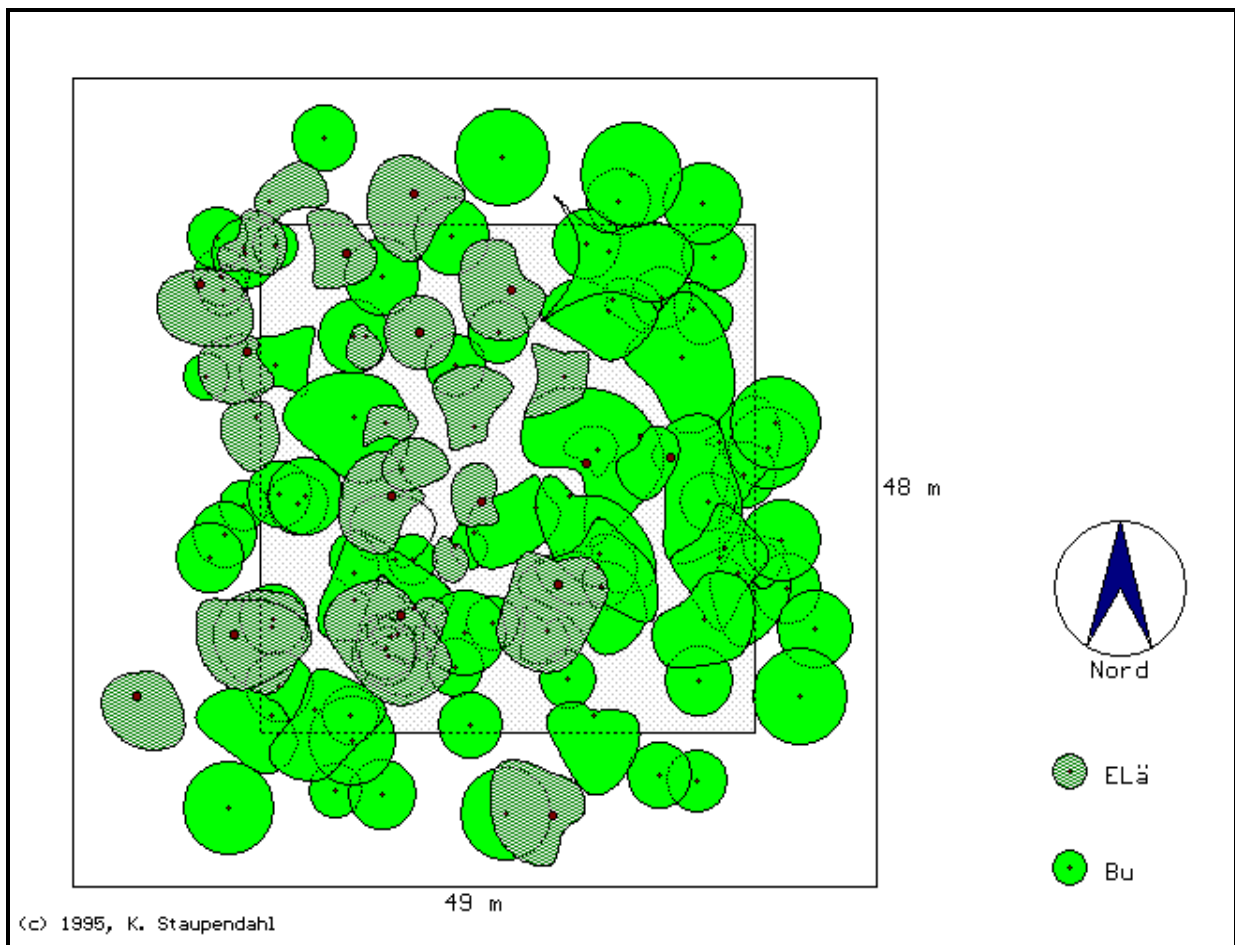


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Oberschicht						
N/ha	189	100	289	144	100	244
G/ha	8	10	18	11	14	25
V/ha	101	116	217	144	156	300
Mittelschicht						
N/ha	600	44	644	433	44	477
G/ha (V/ha)	12	2	14	12	3	15
V/ha	117	22	139	118	29	147
Unterschicht						
N/ha	333		333	200		200
G/ha (V/ha)	2		2	1		1
V/ha	10		10	7		7
Evenness (G)			0.930			0.653
Evenness (N)			0.512			0.453
Vertikales Artprofil (A)			1.287			1,303
Aggregation (Clark&Evans)	1.036	1.105	1,086	1.040	1.105	1,054
Segregation (Pielou)			-0.174			-0.174

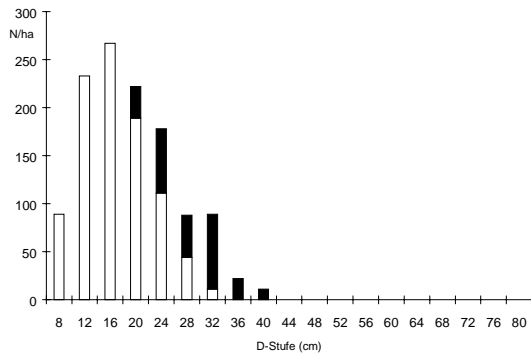
Fläche	101
Flächengröße	0,0900



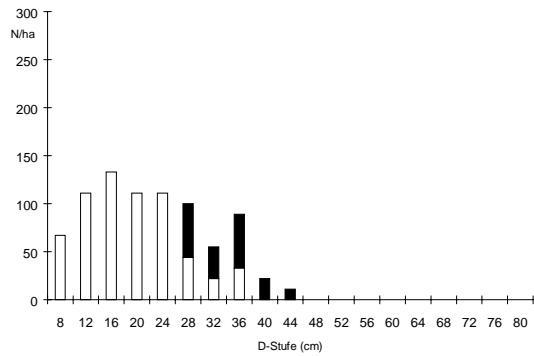
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

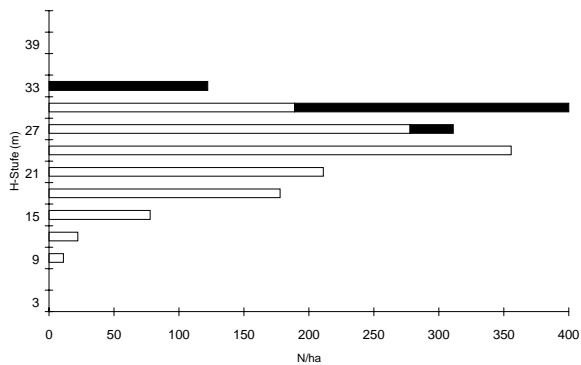
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	59	54		68	63	
Stammzahl (N/ha)	944	256	1200	633	178	811
Grundfläche (qm/ha)	21,89	16,41	38,30	20,57	16,09	36,66
Grundflächenanteil (%)	57	43		56	44	
Dg	17,2	28,6		20,3	33,9	
D 100	26,7	33,5		31,1	37,3	
Hg	23,5	29,5		25,3	32,5	
H 100	29,4	30,3		31,8	33,0	
Vorrat (Fm/ha)	251,1	221,6	472,7	262,3	233,8	496,1
EKL (Mittelhöhe)	0.3	-0.2		0.5	-0.2	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)	311	78	389			
Grundfläche (qm/ha)	6,64	3,53	10,17			



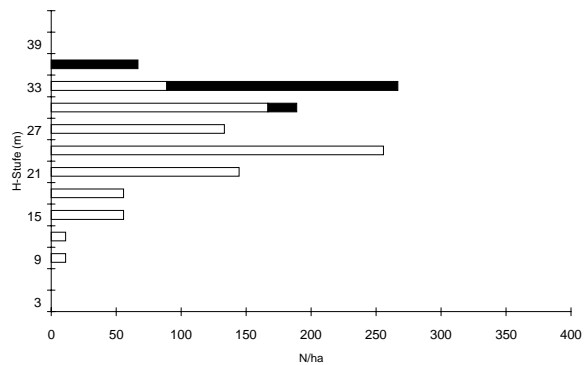
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

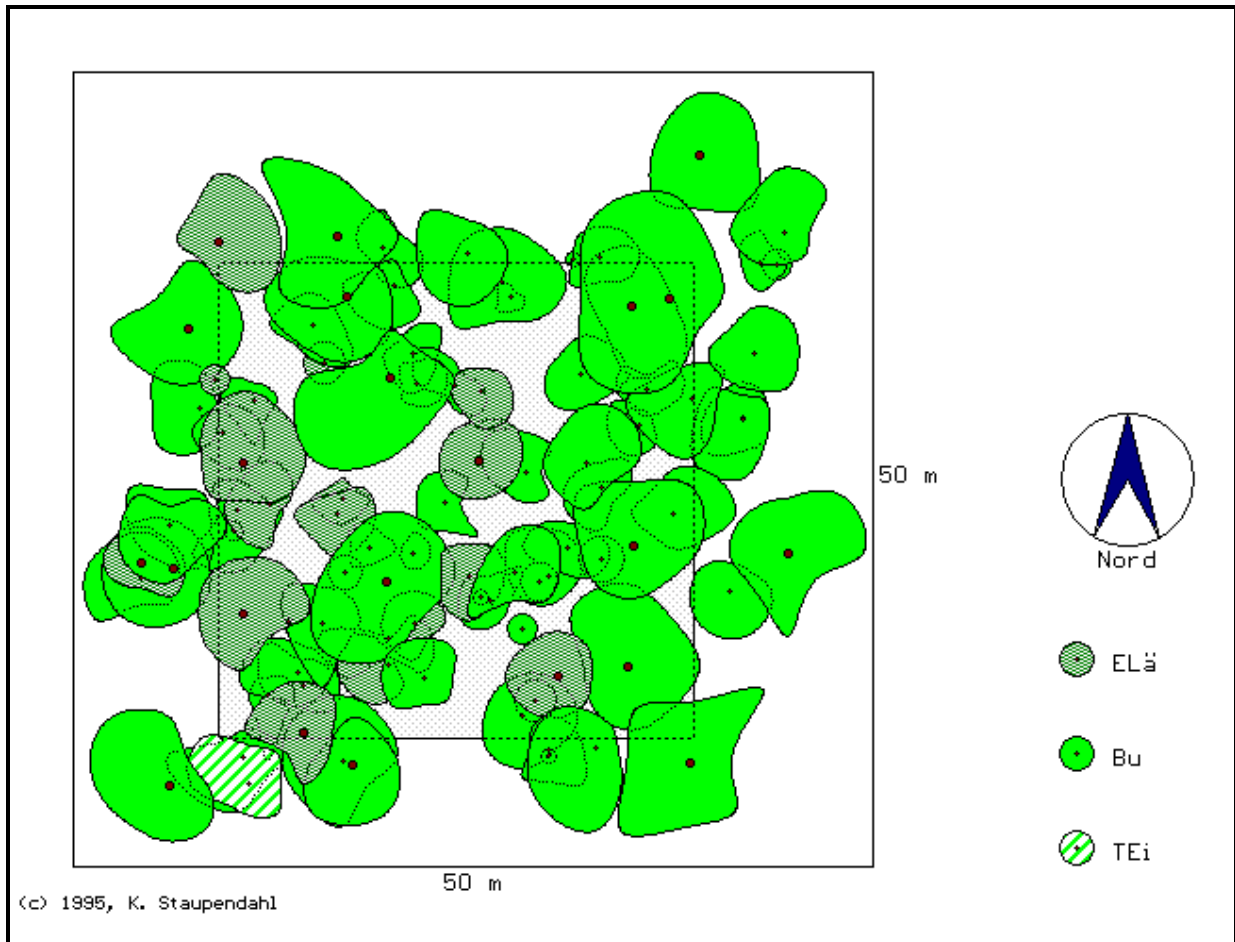


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
Oberschicht	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
N/ha	233	244	477	144	178	322
G/ha	10	16	26	10	16	26
V/ha	126	216	342	141	234	375
Mittelschicht						
N/ha	589	11	600	400		400
G/ha (V/ha)	12	1	13	10		10
V/ha	121	5	126	118		118
Unterschicht						
N/ha	122		122	89		89
G/ha (V/ha)	1		1	1		1
V/ha	4		4	3		3
Evenness (G)			0.747			0.759
Evenness (N)			0.985			0.989
Vertikales Artprofil (A)			1.252			1.230
Aggregation (Clark&Evans)	1.012	0.878	1.076	1.086	0.944	1.099
Segregation (Pielou)			0.171			-0.083

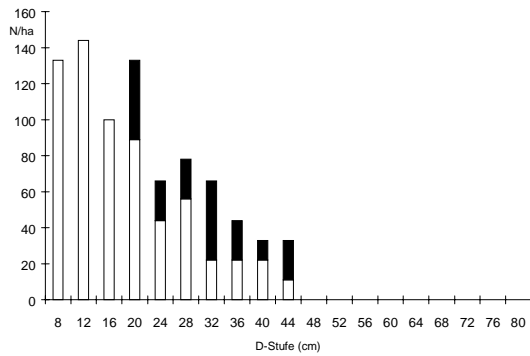
Fläche	302
Flächengröße	0,0900



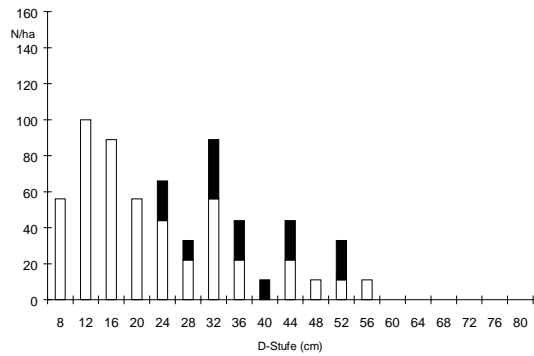
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

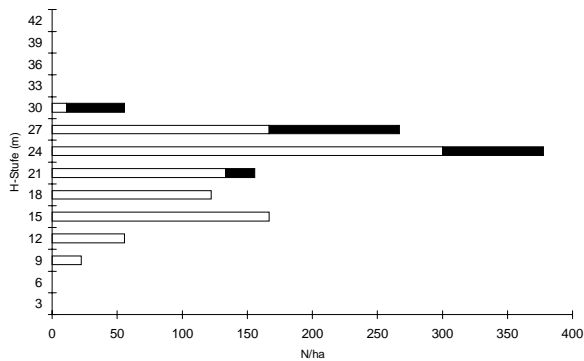
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	67	62		77	72	
Stammzahl (N/ha)	644	189	833	500	178	678
Grundfläche (qm/ha)	20,35	13,73	34,08	25,36	16,05	41,41
Grundflächenanteil (%)	59,7	40,3		61,2	38,8	
Dg	20,1	30,4		25,4	37,6	
D 100	35,3	35,9		42,9	41,3	
Hg	21,4	25,3		26,0	28,5	
H 100	26,7	26,1		31,1	28,9	
Vorrat (Fm/ha)	224,3	154,1	378,4	343,9	197,1	541,0
EKL (Mittelhöhe)	1,6	1,6		1,0	0,9	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)	144	11	155			
Grundfläche (qm/ha)	2,23	0,34	2,57			



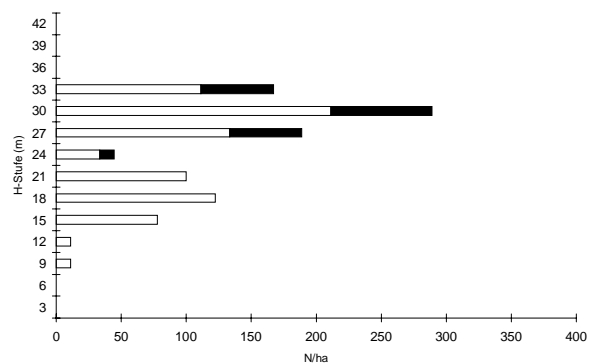
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

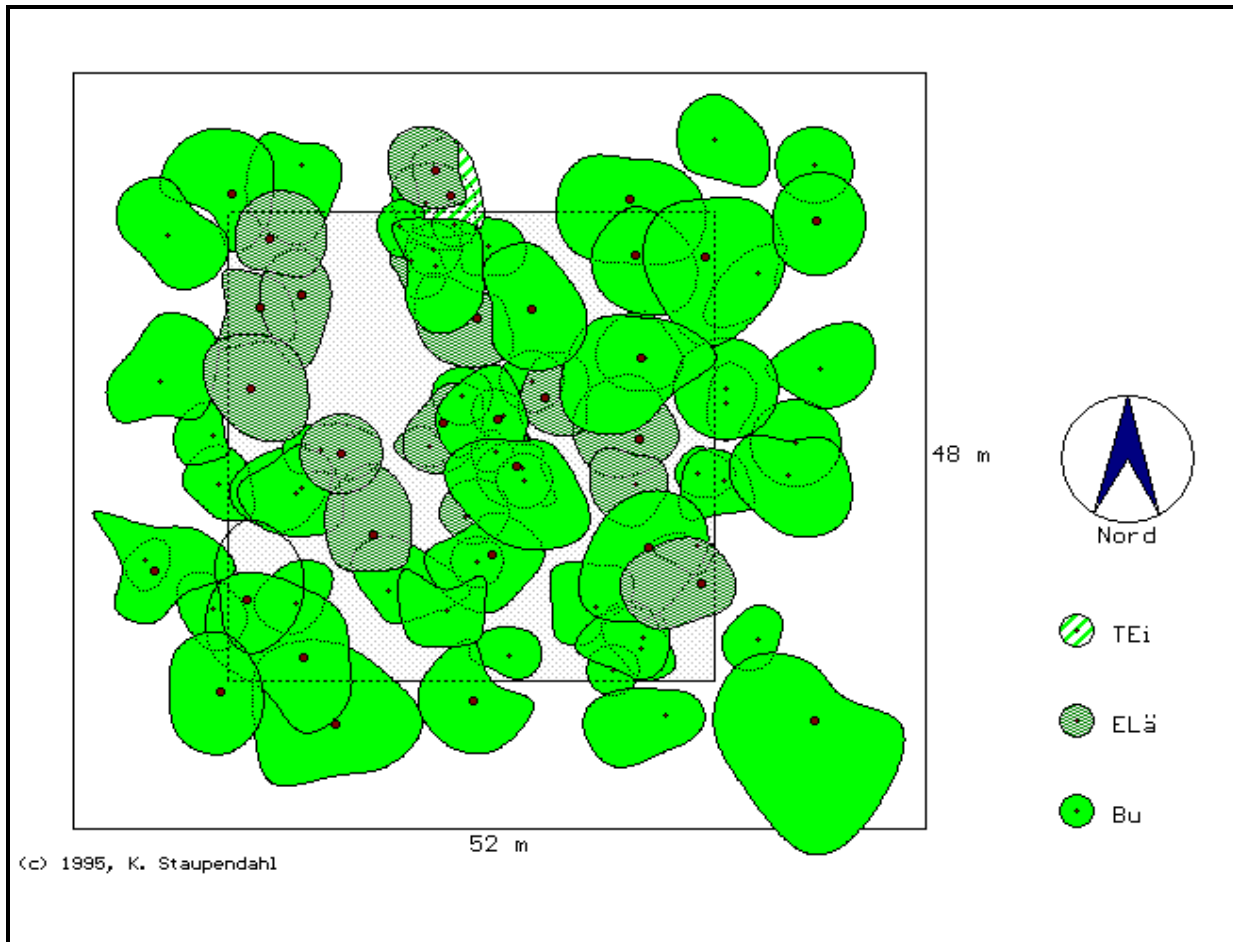


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Oberschicht						
N/ha	211	178	389	200	133	333
G/ha	15	13	28	20	15	35
V/ha	178	150	328	295	191	486
Mittelschicht						
N/ha	256	11	267	211	11	222
G/ha (V/ha)	5	0,4	5,4	5	0,6	5,6
V/ha	41	4	45	46	6	52
Unterschicht						
N/ha	178		178	89		89
G/ha (V/ha)	1,3		1,3	0,6		0,6
V/ha	6		6	3		3
Evenness (G)			0.973			0.971
Evenness (N)			0.772			0.811
Vertikales Artprofil (A)			1.414			1.465
Aggregation (Clark&Evans)	0.921	0.884	1.017	1.089	1.072	1.130
Segregation (Pielou)			0.167			-0.050

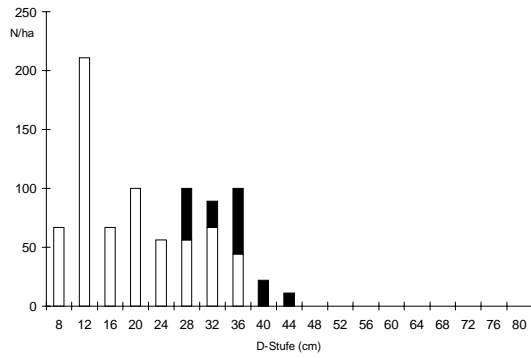
Fläche	303
Flächengröße	0,0900



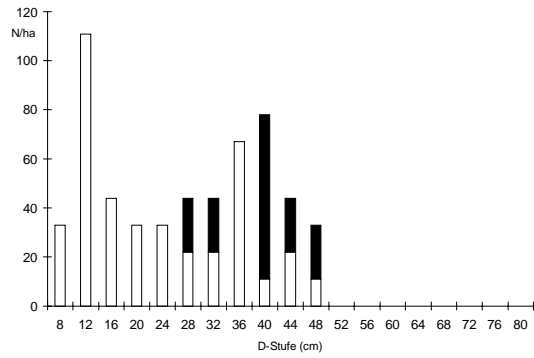
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

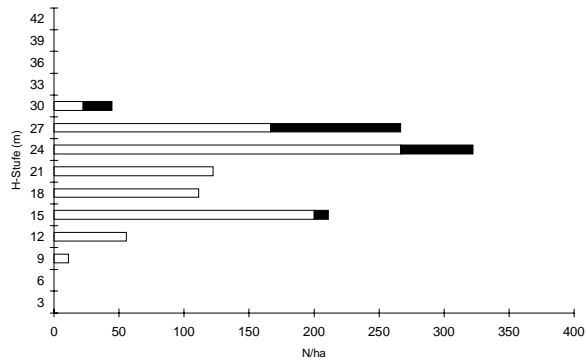
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	67	62		77	72	
Stammzahl (N/ha)	667	156	823	411	156	567
Grundfläche (qm/ha)	21,34	14,30	35,64	21,50	19,11	40,61
Grundflächenanteil (%)	59,9	40,1		53,0	47,0	
Dg	20,2	34,2		25,8	39,6	
D 100	32,8	37,3		40,0	43,2	
Hg	21,1	25,0		24,3	27,7	
H 100	25,8	25,3		28,6	28,0	
Vorrat (Fm/ha)	233,8	155,6	389,48	282,1	225,8	507,9
EKL (Mittelhöhe)	1.6	1.6		1.5	1.5	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)	256		256			
Grundfläche (qm/ha)	6,45		6,45			



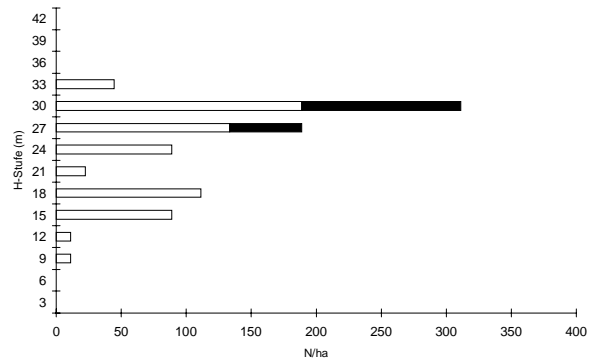
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

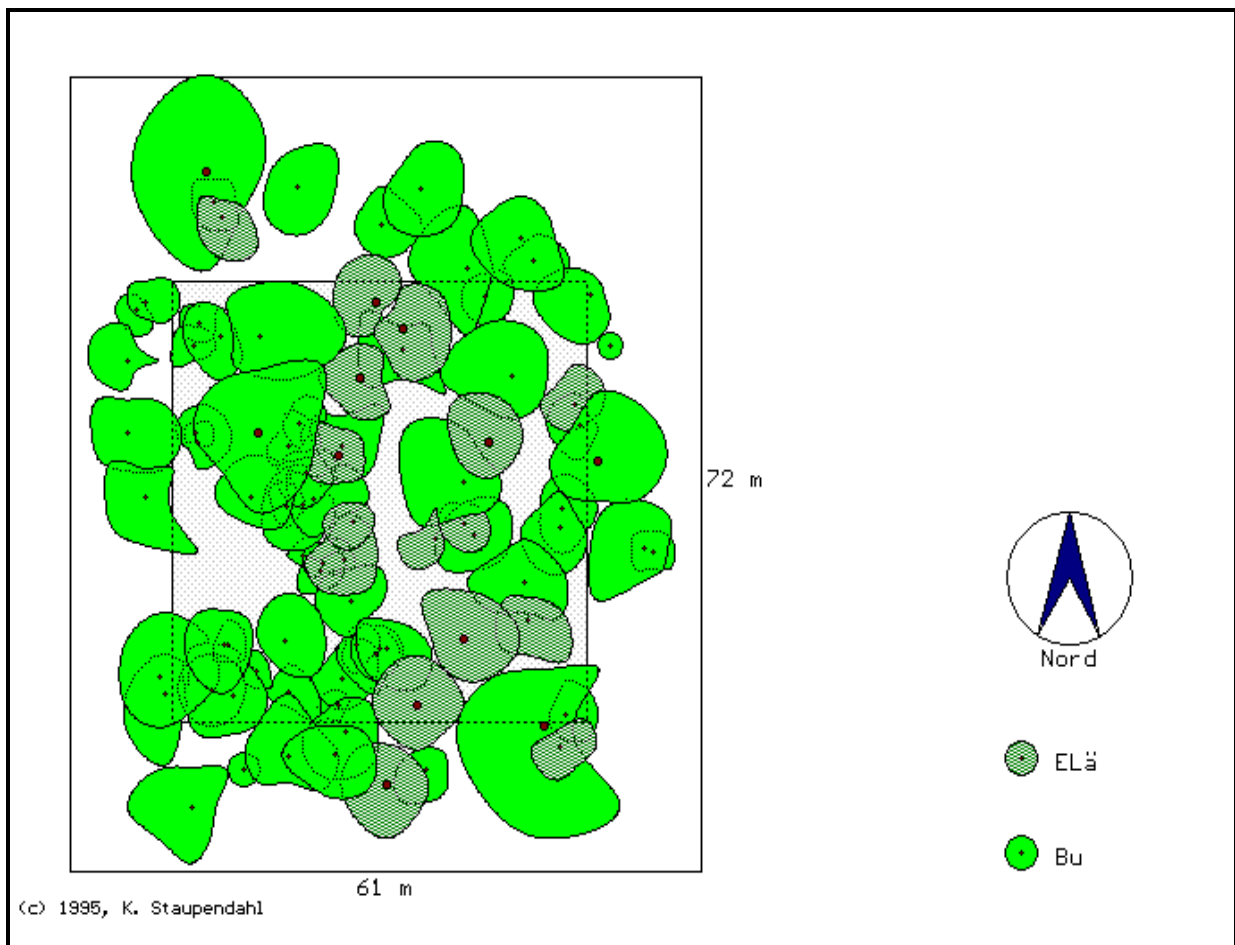


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
Oberschicht	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
N/ha	233	156	389	167	144	311
G/ha	15	14	29	17	18	35
V/ha	184	156	340	243	217	460
Mittelschicht						
N/ha	267		267	111	11	122
G/ha (V/ha)	5		5	3	0,8	3,8
V/ha	44		44	28	8	36
Unterschicht						
N/ha	167		167	133		133
G/ha (V/ha)	1,3		1,3	2		2
V/ha	6,4		6,4	11		11
Evenness (G)			0.972			0.998
Evenness (N)			0.700			0.848
Vertikales Artprofil (A)			1.324			1.445
Aggregation (Clark&Evans)	0.909	1.033	1.068	0.996	1.033	1.191
Segregation (Pielou)			0.105			0.111

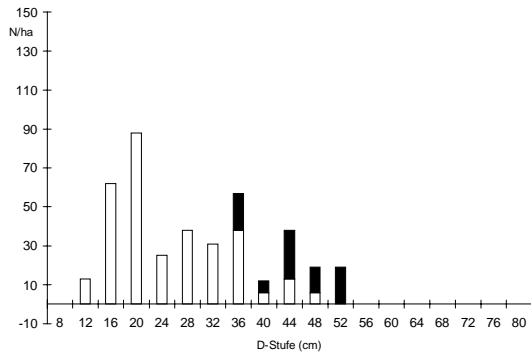
Fläche	304
Flächengröße	0,1600



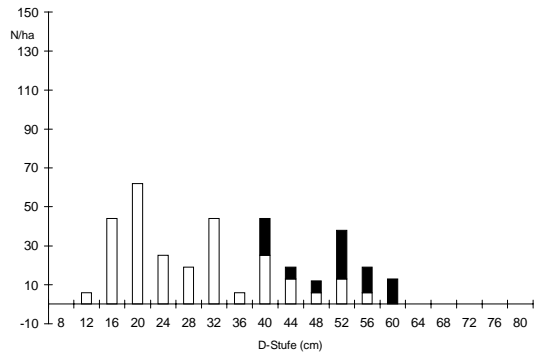
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

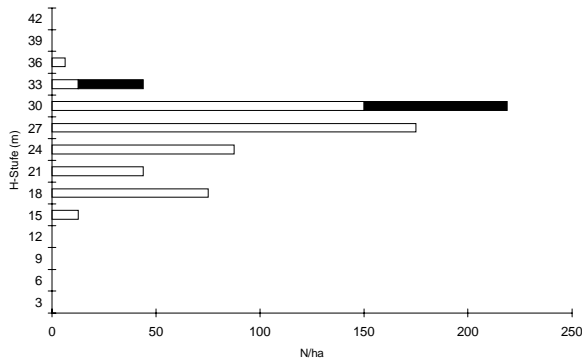
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	82	75		92	85	
Stammzahl (N/ha)	319	81	400	269	81	350
Grundfläche (qm/ha)	16,96	12,30	29,26	19,28	16,37	35,65
Grundflächenanteil (%)	58	42		54	46	
Dg	26,0	43,9		30,2	50,6	
D 100	35,9	43,9		41,1	50,6	
Hg	24,9	29,9		27,1	31,5	
H 100	27,8	29,9		30,8	31,5	
Vorrat (Fm/ha)	211,7	154,9	366,6	270,1	212,1	482,2
EKL (Mittelhöhe)	1,7	1,1		1,7	1,1	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)	50		50			
Grundfläche (qm/ha)	2,81		2,81			



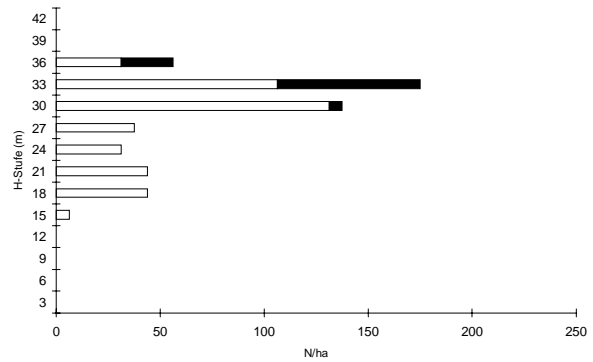
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

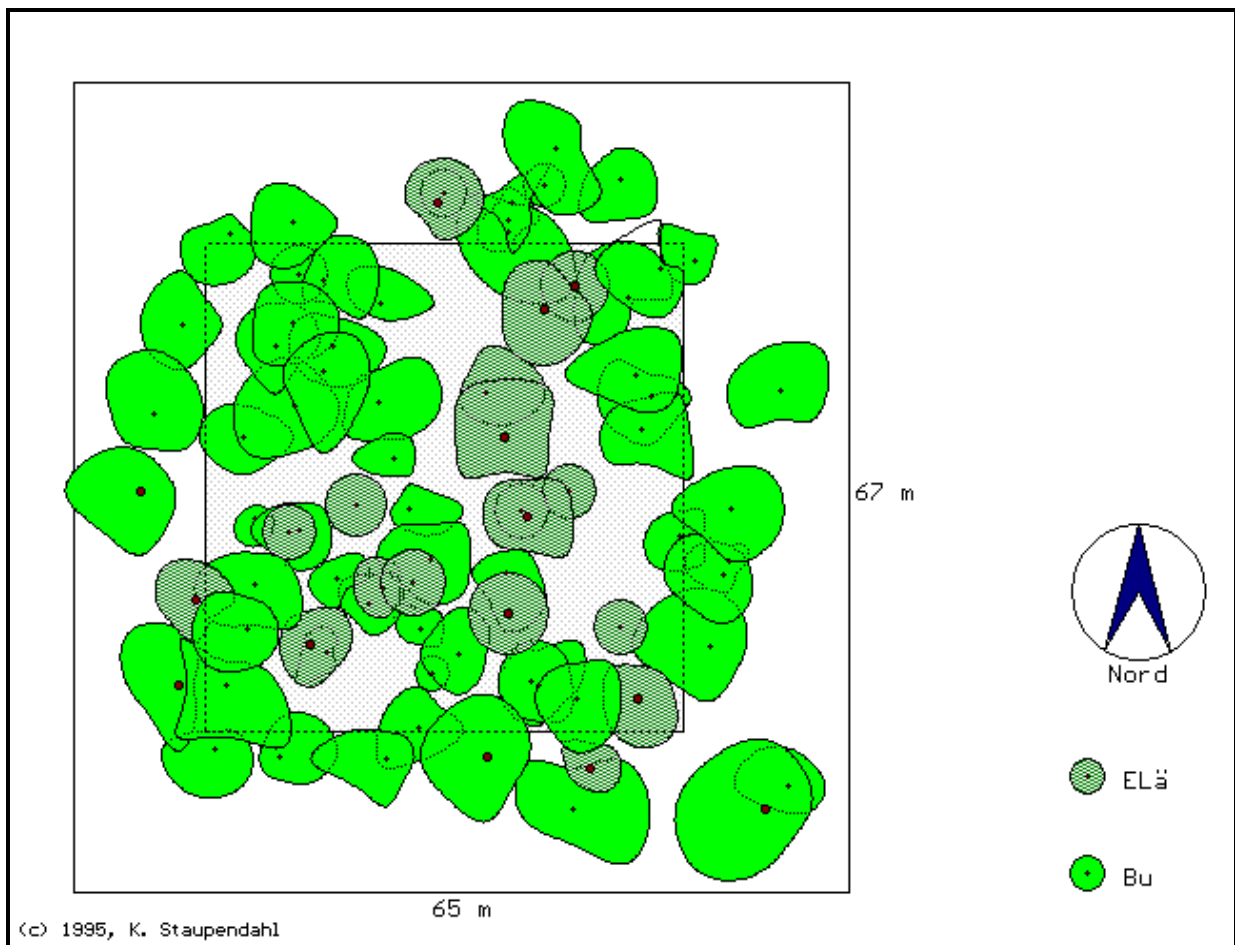


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
Oberschicht	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
N/ha	125	81	206	137	81	218
G/ha	11	12	23	15	16	31
V/ha	145	155	300	224	212	436
Mittelschicht						
N/ha	181		181	112		112
G/ha (V/ha)	6		6	4		4
V/ha	65		65	44		44
Unterschicht						
N/ha	12		12	19		19
G/ha (V/ha)	0,2		0,2	0,3		0,3
V/ha	1,5		1,5	2,2		2,2
Evenness (G)			0.982			0.995
Evenness (N)			0.728			0.782
Vertikales Artprofil (A)			1.107			1.228
Aggregation (Clark&Evans)	1.084	0.823	1.119	1.091	0.823	1.096
Segregation (Pielou)			0.211			0.111

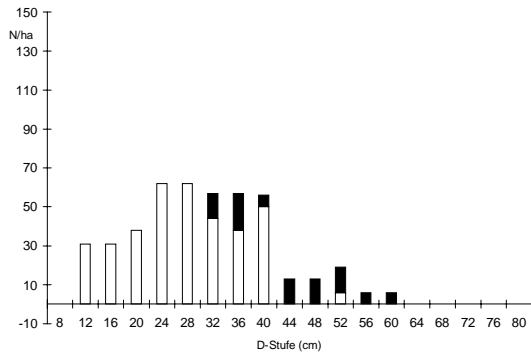
Fläche	305
Flächengröße	0,1600



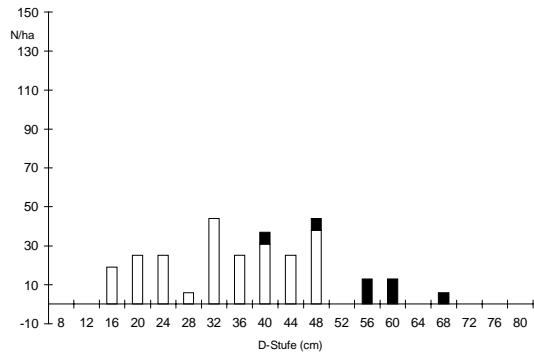
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

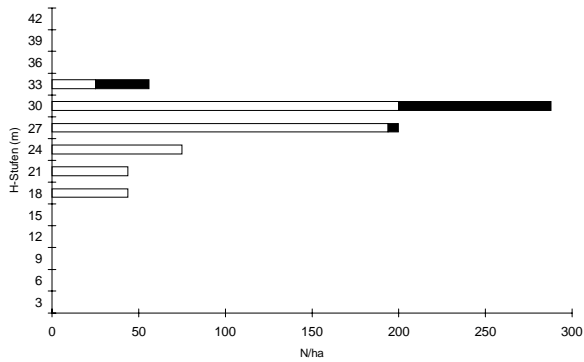
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	84	84		94	94	
Stammzahl (N/ha)	363	88	451	238	88	326
Grundfläche (qm/ha)	23,13	13,34	36,47	22,20	10,72	32,92
Grundflächenanteil (%)	63	37		67	33	
Dg	28,5	44,1		34,5	55,9	
D 100	38,4	44,1		43,0	55,9	
Hg	26,4	28,8		29,7	32,3	
H 100	29,0	28,8		32,2	32,3	
Vorrat (Fm/ha)	309,4	161,1	470,5	335,5	139,6	475,1
EKL (Mittelhöhe)	I.4	I.7		I.1	I.2	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)	125		169			
Grundfläche (qm/ha)	6,62		6,62			



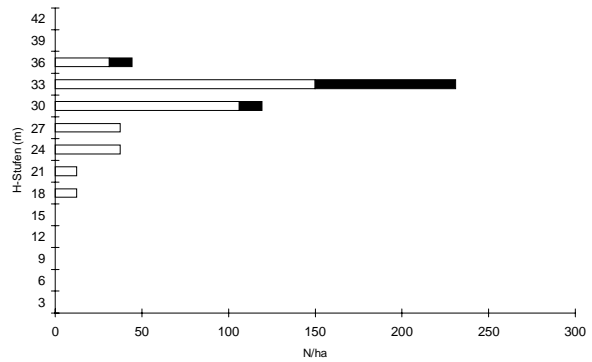
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

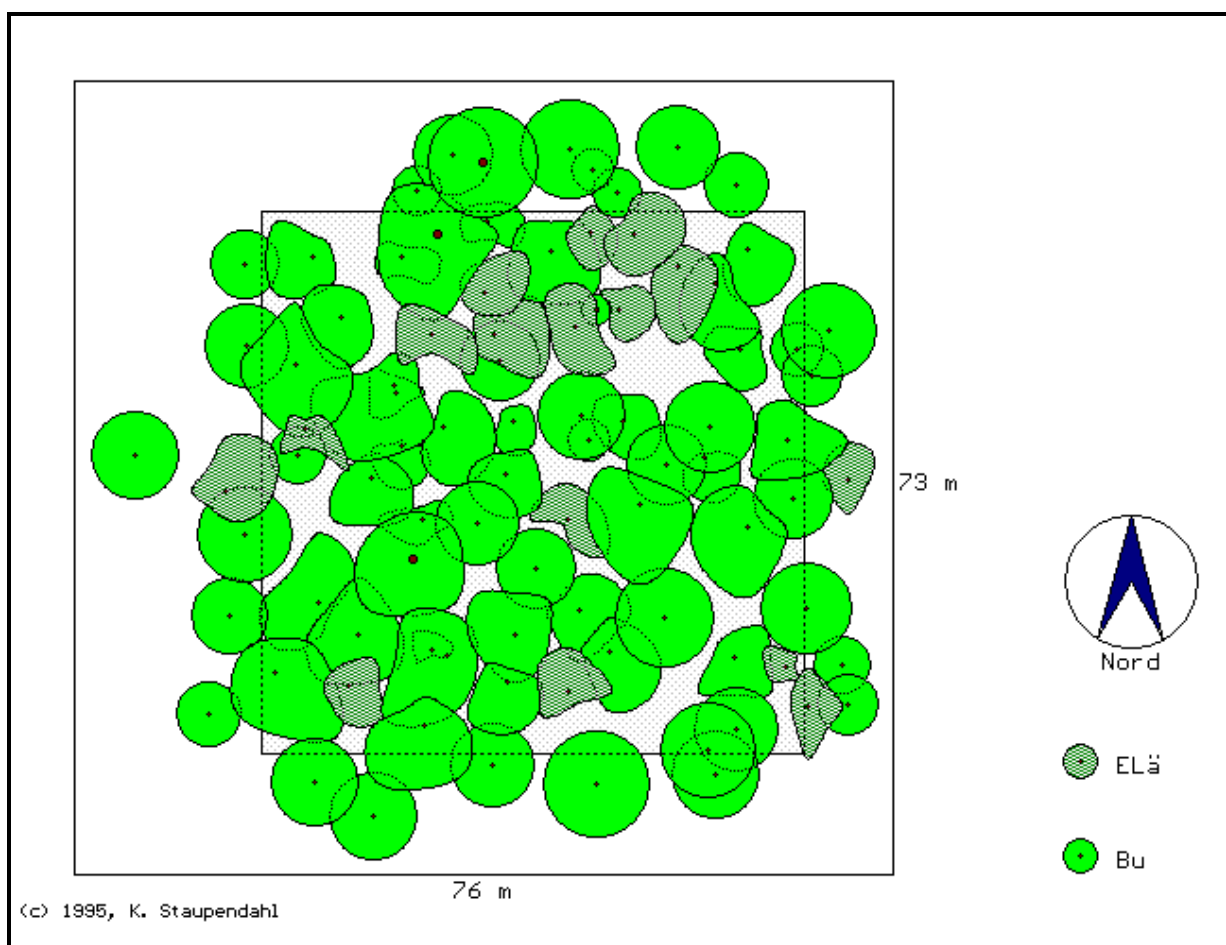


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
Oberschicht	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
N/ha	200	87	287	162	44	206
G/ha	18	13	31	20	11	31
V/ha	252	161	413	306	140	446
Mittelschicht						
N/ha	162		162	69		69
G/ha (V/ha)	5		5	2		2
V/ha	58		58	28		28
Unterschicht						
N/ha				6		6
G/ha (V/ha)				0,1		0,1
V/ha				1,1		1,1
Evenness (G)			0.947			0.910
Evenness (N)			0.711			0.624
Vertikales Artprofil (A)			1.047			1.035
Aggregation (Clark&Evans)	1.113	0.829	1.217	1.148	0.919	1.221
Segregation (Pielou)			0.261			0.182

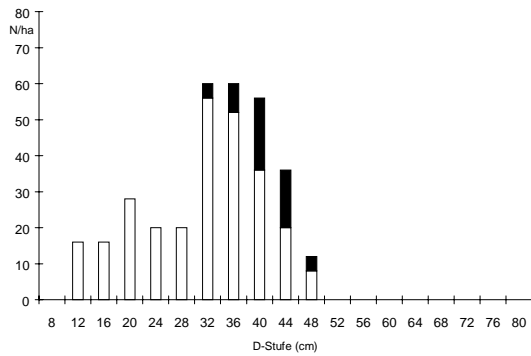
Fläche	106
Flächengröße	0,2500



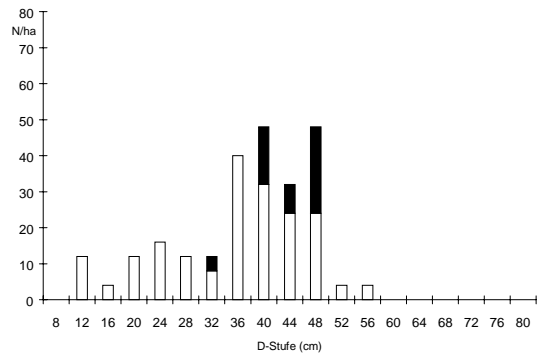
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

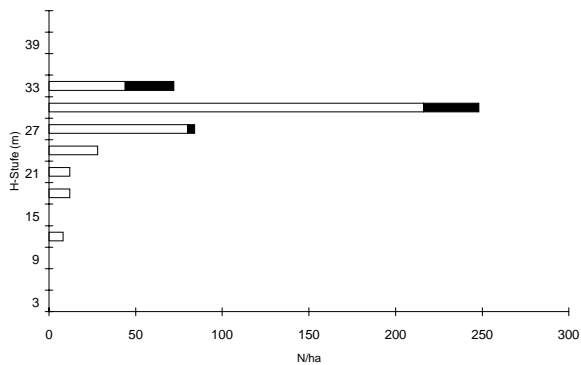
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	89	89		99	99	
Stammzahl (N/ha)	272	52	324	192	52	244
Grundfläche (qm/ha)	21,63	6,57	28,20	20,86	7,88	28,74
Grundflächenanteil (%)	77	23		73	27	
Dg	31,8	40,1		37,2	43,9	
D 100	39,5	40,1		44,2	43,9	
Hg	28,4	29,9		29,6	31,5	
H 100	30,7	29,9		31,2	31,5	
Vorrat (Fm/ha)	307,2	84,4	391,6	313,0	105,3	418,3
EKL (Mittelhöhe)	1.2	1.6		1.4	1.5	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)	80		80			
Grundfläche (qm/ha)	5,42		5,42			



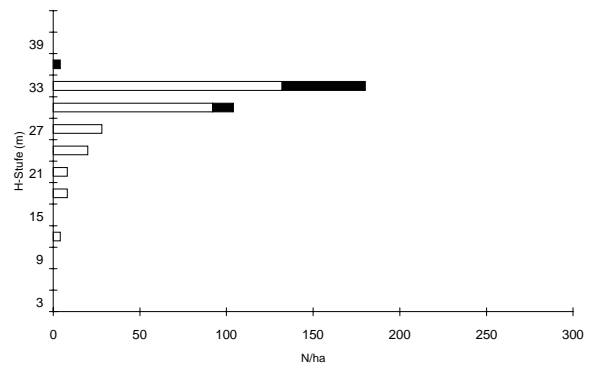
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

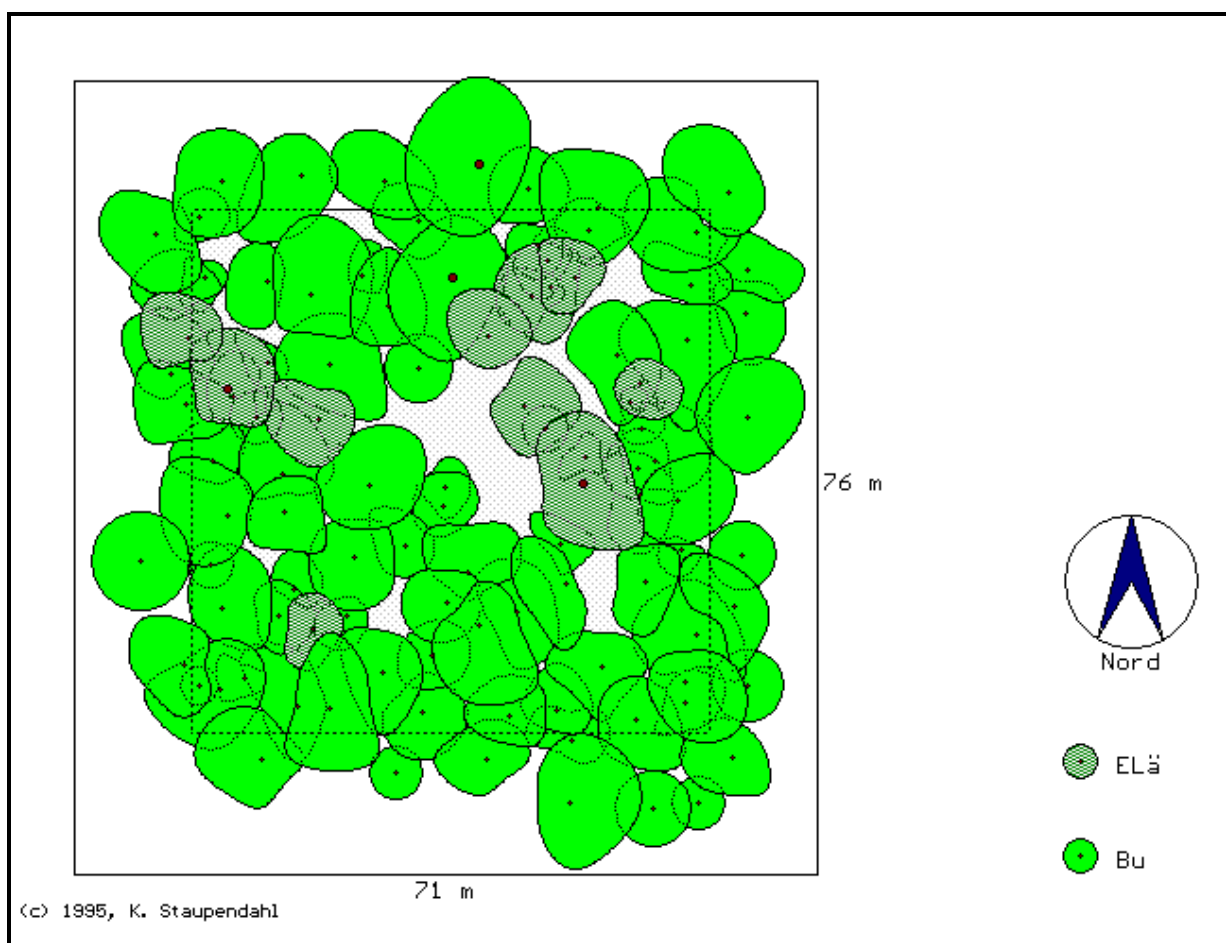


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Oberschicht						
N/ha	220	52	272	136	52	188
G/ha	20	7	27	19	8	27
V/ha	296	84	380	287	105	392
Mittelschicht						
N/ha	36		36	44		44
G/ha (V/ha)	1		1	2		2
V/ha	11		11	25		25
Unterschicht						
N/ha	16		16	12		12
G/ha (V/ha)	0,15		0,15	0,10		0,10
V/ha	1		1	1		1
Evenness (G)			0.543			0.587
Evenness (N)			0.440			0.518
Vertikales Artprofil (A)			0.937			1.093
Aggregation (Clark&Evans)	1.249	1.182	1.270	1.189	1.182	1.223
Segregation (Pielou)			0.000			0.000

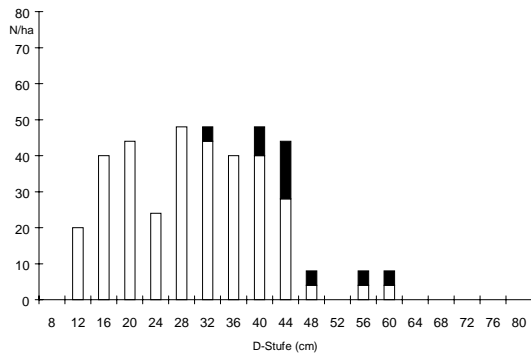
Fläche	104
Flächengröße	0,2500



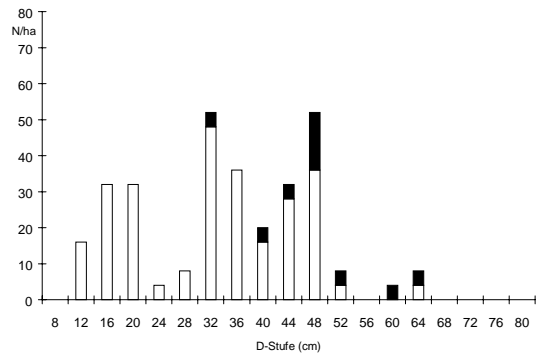
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

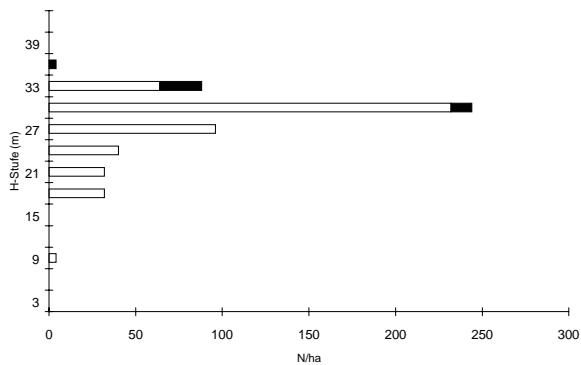
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	90	84		100	94	
Stammzahl (N/ha)	340	40	380	264	40	304
Grundfläche (qm/ha)	25,34	6,37	31,71	24,93	7,66	32,59
Grundflächenanteil (%)	80	20		76	24	
Dg	30,8	45,0		34,7	49,4	
D 100	42,0	45,0		45,3	49,4	
Hg	27,8	31,3		29,0	32,6	
H 100	31,2	31,3		31,1	32,6	
Vorrat (Fm/ha)	353,4	83,5	436,9	368,2	103,0	471,2
EKL (Mittelhöhe)	1.4	1.1		1.3	1.2	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)	76		76			
Grundfläche (qm/ha)	5,42		5,42			



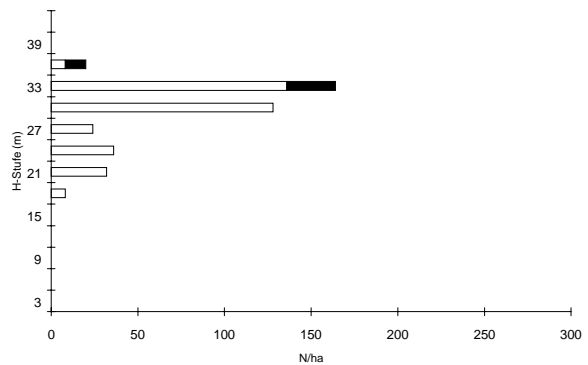
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

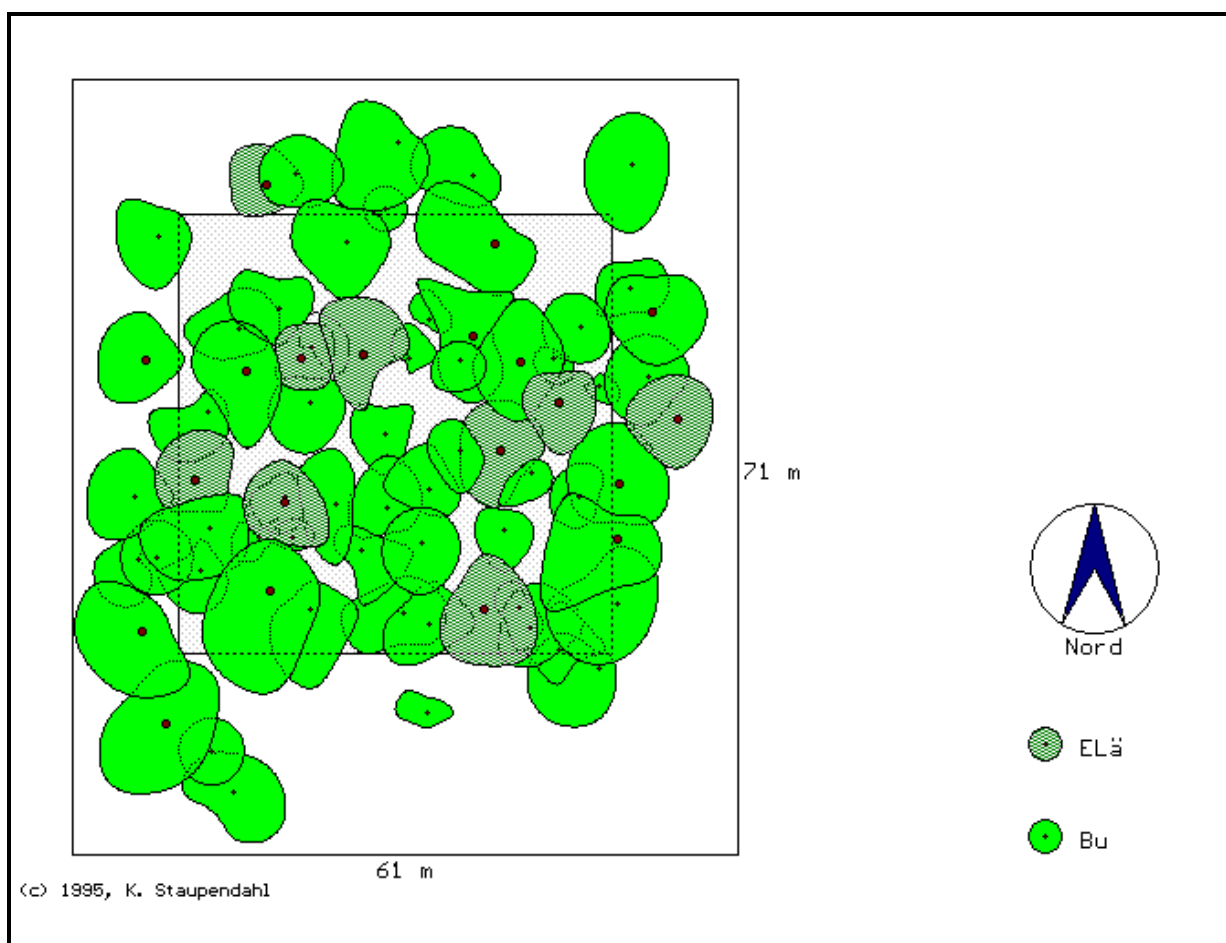


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
Oberschicht	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
N/ha	184	40	224	168	40	208
G/ha	20	6	26	22	8	30
V/ha	289	84	373	334	103	437
Mittelschicht						
N/ha	124		124	88		88
G/ha (V/ha)	5		5	3		3
V/ha	62		62	33		33
Unterschicht						
N/ha	32		32	8		8
G/ha (V/ha)	0,4		0,4	0,1		0,1
V/ha	3,1		3,1	0,6		0,6
Evenness (G)			0.502			0.545
Evenness (N)			0.336			0.389
Vertikales Artprofil (A)			1.129			1.165
Aggregation (Clark&Evans)	1.236	0.857	1.261	1.209	0.857	1.245
Segregation (Pielou)			0.105			0.222

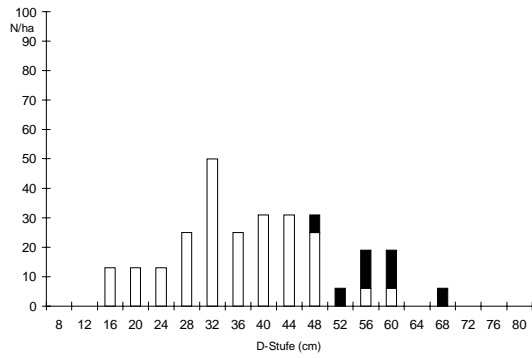
Fläche	307
Flächengröße	0,1600



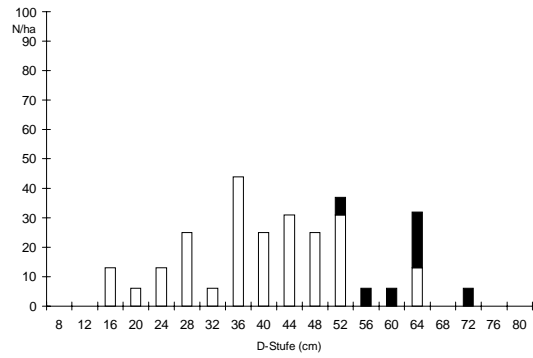
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

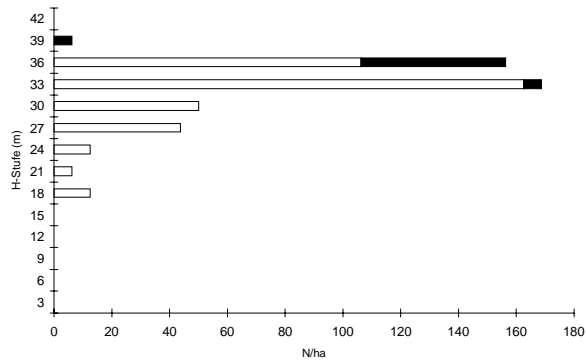
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	106	106		116	116	
Stammzahl (N/ha)	238	44	282	231	44	275
Grundfläche (qm/ha)	24,91	11,39	36,30	30,26	13,21	43,47
Grundflächenanteil (%)	69	31		70	30	
Dg	36,5	57,6		40,8	62,0	
D 100	45,1	57,6		50,1	62,0	
Hg	31,8	35,9		34,5	36,5	
H 100	34,6	35,9		37,4	36,5	
Vorrat (Fm/ha)	401,7	166,0	567,7	534,8	192,9	727,7
EKL (Mittelhöhe)	1,2	0,7		0,9	0,8	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)	7		7			
Grundfläche (qm/ha)	0,18		0,18			



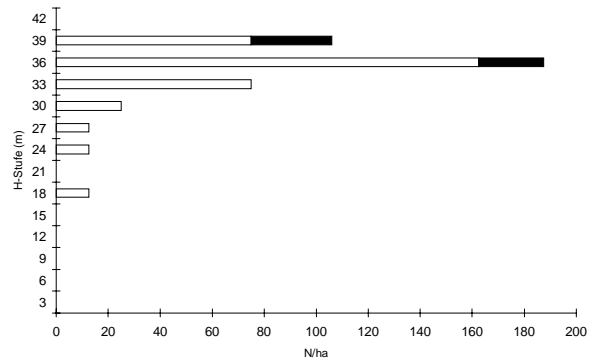
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

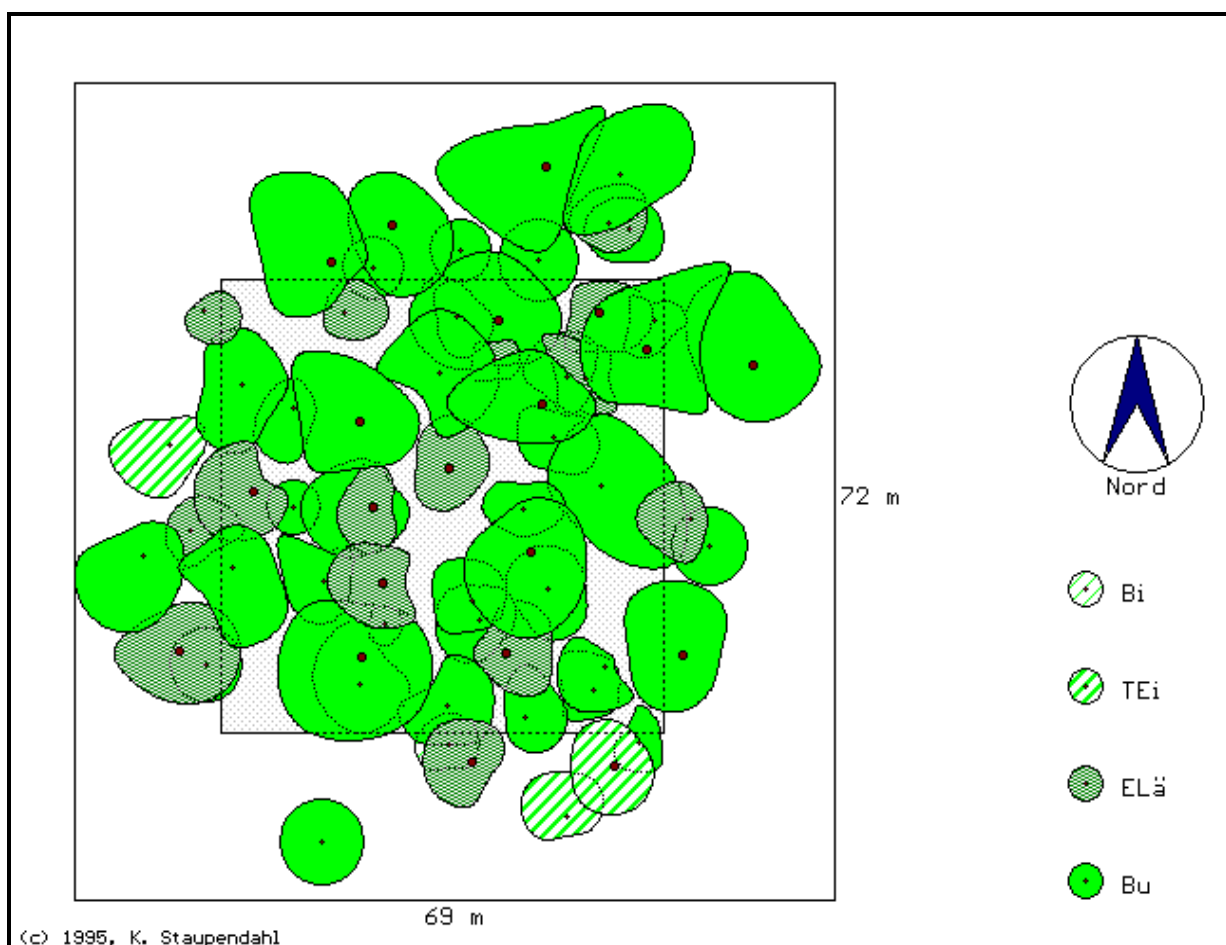


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
Oberschicht	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
N/ha	156	44	200	169	44	213
G/ha	20	11	31	27	13	40
V/ha	338	166	504	490	193	683
Mittelschicht						
N/ha	69		69	50		50
G/ha (V/ha)	4		4	3		3
V/ha	62		62	43		43
Unterschicht						
N/ha	12		12	12		12
G/ha (V/ha)	0,2		0,2	0,2		0,2
V/ha	1,7		1,7	1,9		1,9
Evenness (G)			0.898			0.886
Evenness (N)			0.624			0.632
Vertikales Artprofil (A)			1.000			0.979
Aggregation (Clark&Evans)	1.291	0.894	1.260	1.308	0.894	1.274
Segregation (Pielou)			-0.154			-0.154

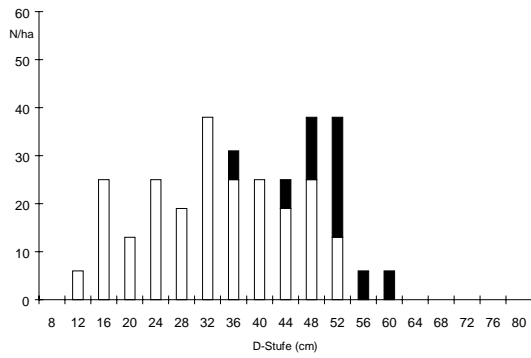
Fläche	308
Flächengröße	0,1600



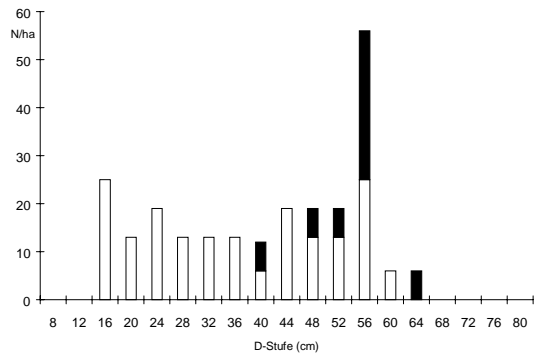
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

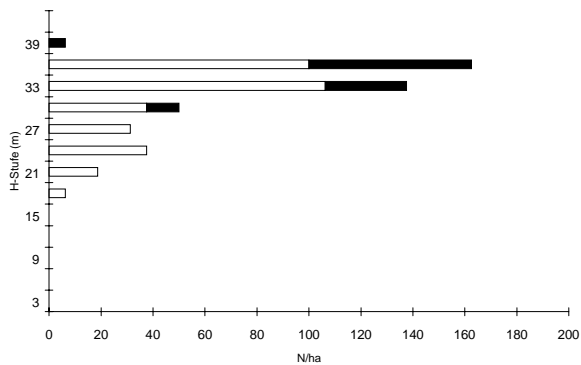
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	106	106		116	116	
Stammzahl (N/ha)	231	63	294	175	56	231
Grundfläche (qm/ha)	21,50	12,12	33,62	21,10	13,05	34,15
Grundflächenanteil (%)	64	36		62	38	
Dg	34,4	49,7		39,2	54,4	
D 100	43,7	49,7		48,1	54,4	
Hg	32,0	34,7		32,7	34,9	
H 100	34,8	34,7		35,7	34,9	
Vorrat (Fm/ha)	350,4	175,7	526,1	360,8	186,6	547,4
EKL (Mittelhöhe)	I.1	I.0		I.4	I.2	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)	56	7	63			
Grundfläche (qm/ha)	5,13	1,77	6,90			



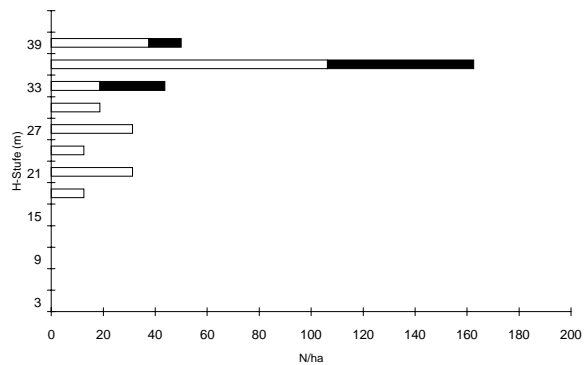
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

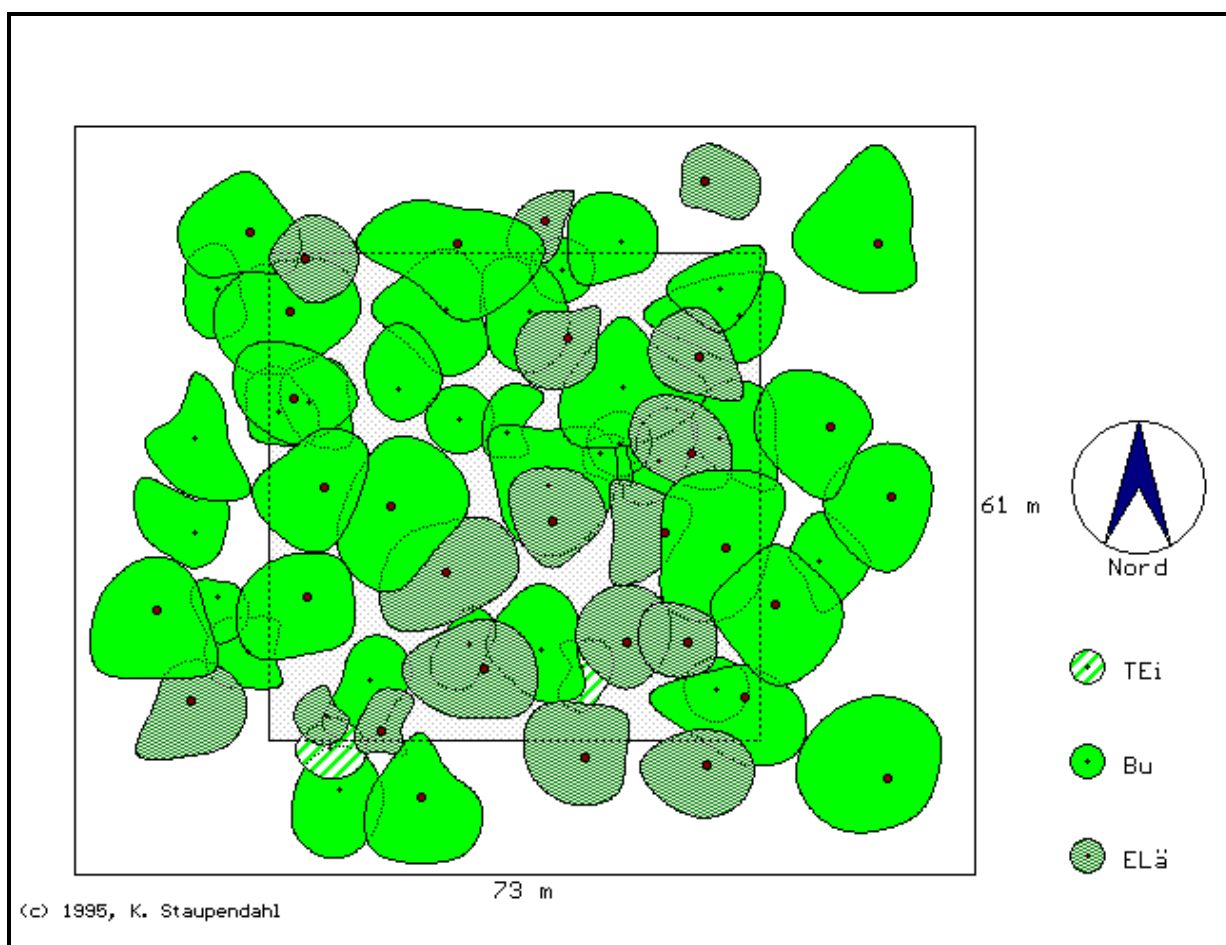


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
Oberschicht	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
N/ha	162	62	289	106	56	162
G/ha	20	12	32	19	13	32
V/ha	328	176	504	332	187	519
Mittelschicht						
N/ha	62		62	56		56
G/ha (V/ha)	2		2	2		2
V/ha	22		22	27		27
Unterschicht						
N/ha	6		6	12		12
G/ha (V/ha)	0,1		0,1	0,2		0,2
V/ha	1		1	2		2
Evenness (G)			0.943			0.960
Evenness (N)			0.747			0.800
Vertikales Artprofil (A)			1.068			1.203
Aggregation (Clark&Evans)	1.291	1.062	1.242	1.181	1.193	1.182
Segregation (Pielou)			-0.118			-0.167

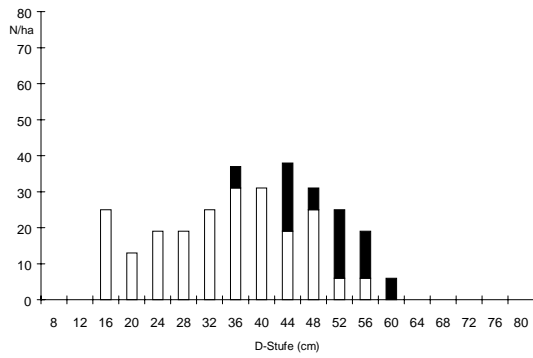
Fläche	309
Flächengröße	0,1600



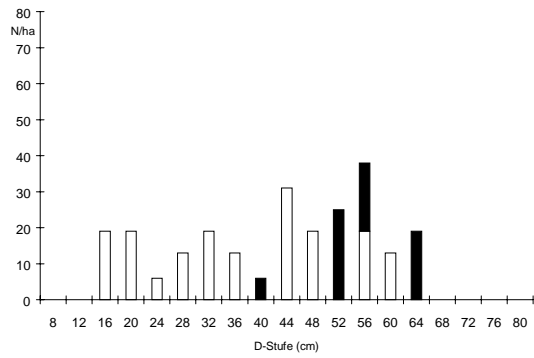
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

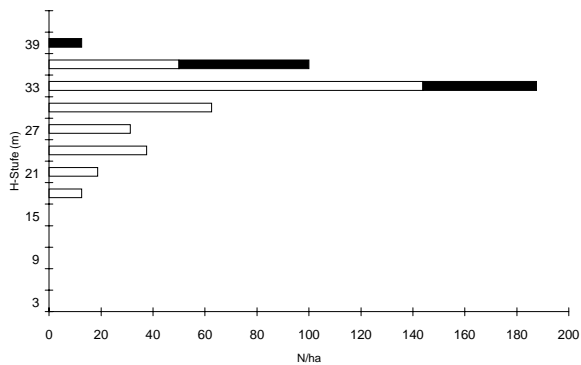
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	106	106		116	116	
Stammzahl (N/ha)	219	69	288	169	69	238
Grundfläche (qm/ha)	21,40	12,94	34,34	20,94	16,55	37,49
Grundflächenanteil (%)	62	38		56	44	
Dg	35,3	48,9		39,7	55,4	
D 100	43,7	48,9		47,8	55,4	
Hg	29,9	34,0		32,2	35,2	
H 100	32,5	34,0		34,5	35,2	
Vorrat (Fm/ha)	329,1	183,6	512,7	353,6	238,5	592,1
EKL (Mittelhöhe)	I.6	I.1		I.5	I.1	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)	50		50			
Grundfläche (qm/ha)	5,07		5,07			



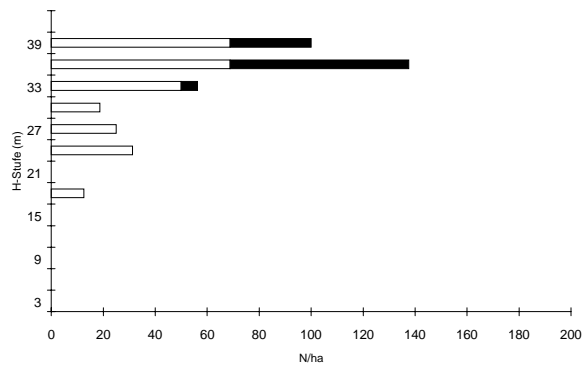
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

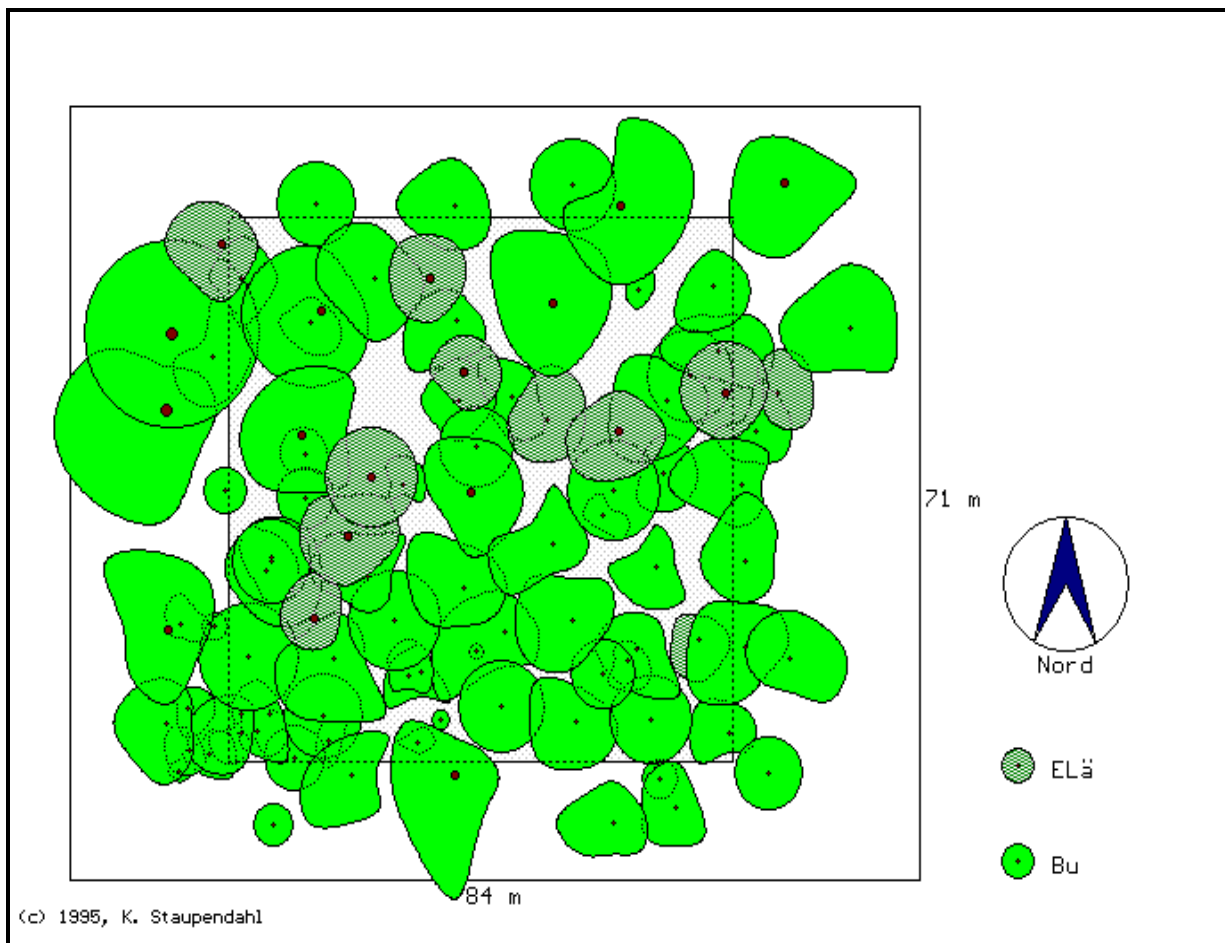


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Oberschicht						
N/ha	112	69	181	87	69	156
G/ha	16	13	29	16	17	33
V/ha	256	184	440	294	238	532
Mittelschicht						
N/ha	94		94	69		69
G/ha (V/ha)	5		5	4		4
V/ha	71		71	57		57
Unterschicht						
N/ha	12		12	12		12
G/ha (V/ha)	0,2		0,2	0,3		0,3
V/ha	2		2	2		2
Evenness (G)			0.660			0.681
Evenness (N)			0.591			0.650
Vertikales Artprofil (A)			1.212			1.239
Aggregation (Clark&Evans)	1.247	1.052	1.279	1.167	1.052	1.226
Segregation (Pielou)			-0.111			-0.125

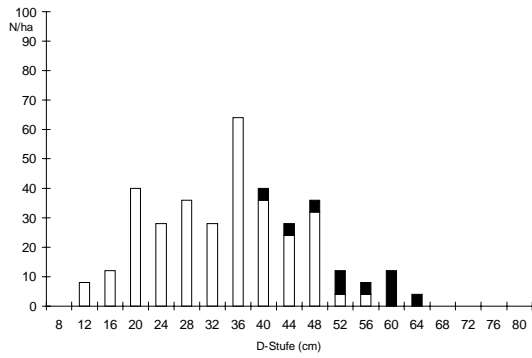
Fläche	310
Flächengröße	0,2500



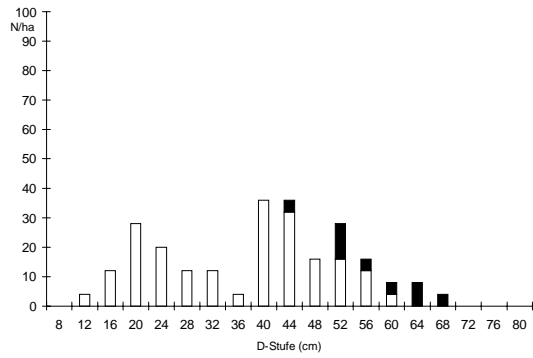
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

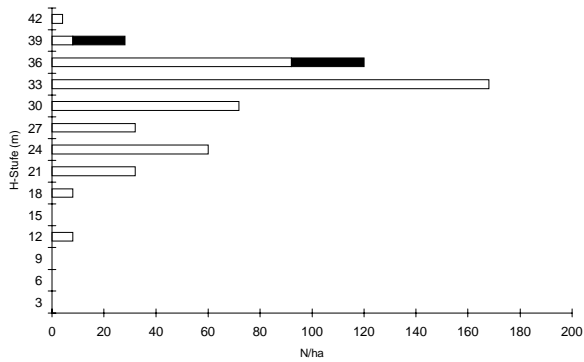
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	106	106		116	116	
Stammzahl (N/ha)	316	40	356	208	36	244
Grundfläche (qm/ha)	28,99	9,18	38,17	24,10	9,63	33,73
Grundflächenanteil (%)	76	24		71	29	
Dg	34,2	54,1		38,4	58,3	
D 100	44,5	54,1		48,0	58,3	
Hg	30,6	35,3		30,8	38,3	
H 100	34,1	35,3		33,9	38,3	
Vorrat (Fm/ha)	451,0	133,1	584,1	392,6	150,5	543,1
EKL (Mittelhöhe)	1,5	0,8		1,8	0,4	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)	108	4	112			
Grundfläche (qm/ha)	9,07	1,17	10,24			



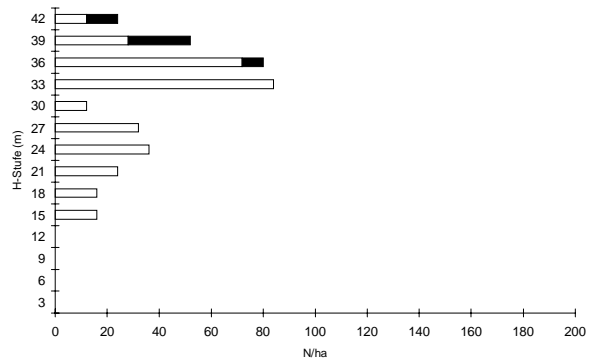
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

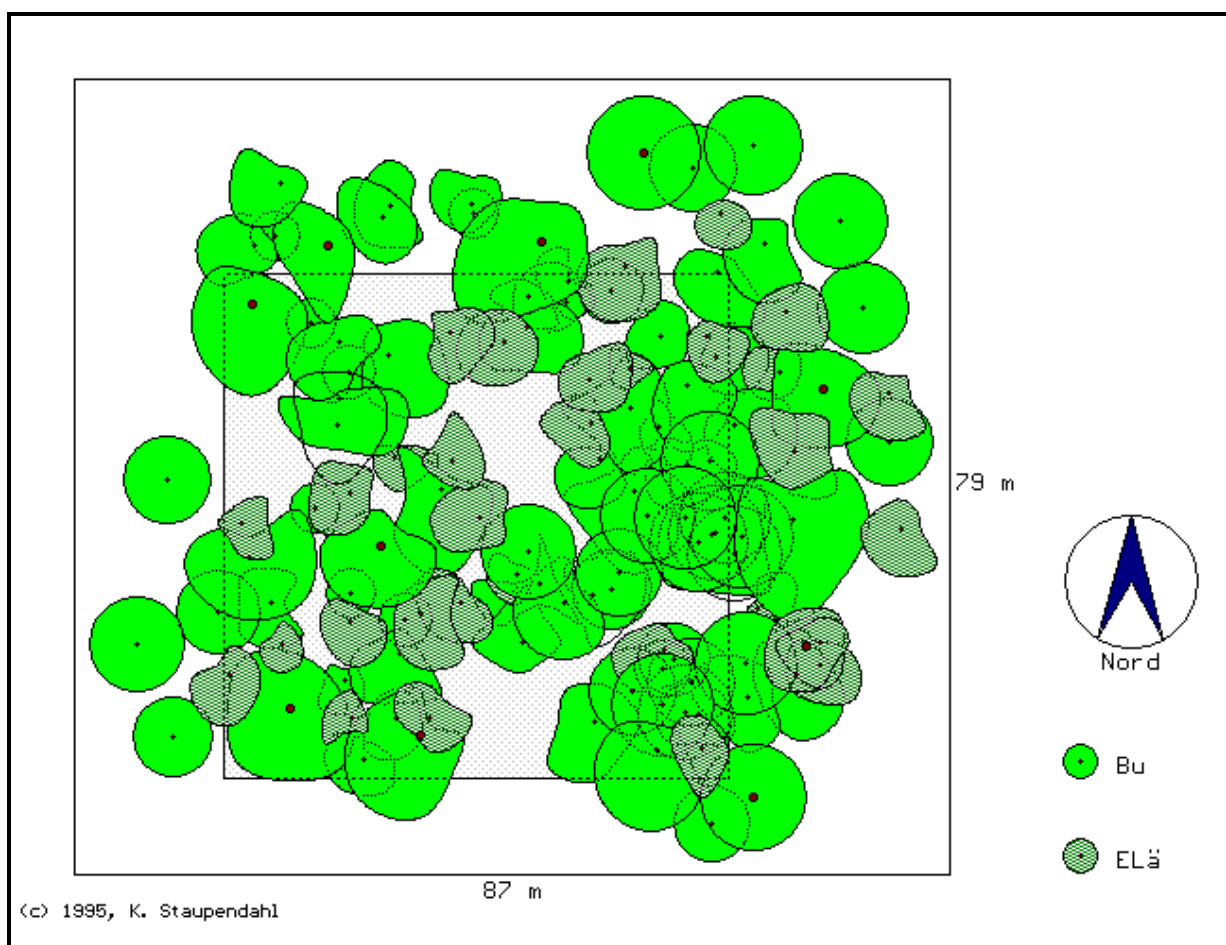


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
Oberschicht	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
N/ha	176	40	216	76	36	112
G/ha	22	9	31	14	10	24
V/ha	354	133	487	242	150	392
Mittelschicht						
N/ha	128		128	100		100
G/ha (V/ha)	7		7	10		10
V/ha	96		96	143		143
Unterschicht						
N/ha	12		12	32		32
G/ha (V/ha)	0,2		0,2	1		1
V/ha	1,1		1,1	7		7
Evenness (G)			0.796			0.863
Evenness (N)			0.507			0.604
Vertikales Artprofil (A)			1.076			1.278
Aggregation (Clark&Evans)	1.219	1.091	1.192	1.161	0.956	1.182
Segregation (Pielou)			-0.111			-0.133

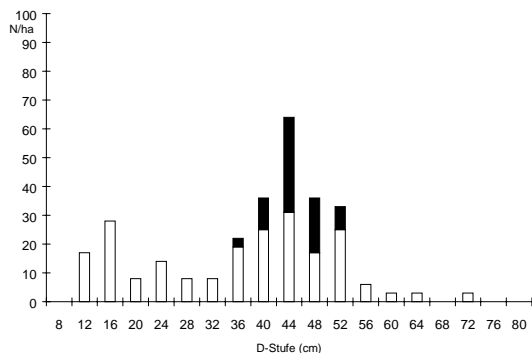
Fläche	109
Flächengröße	0,3600



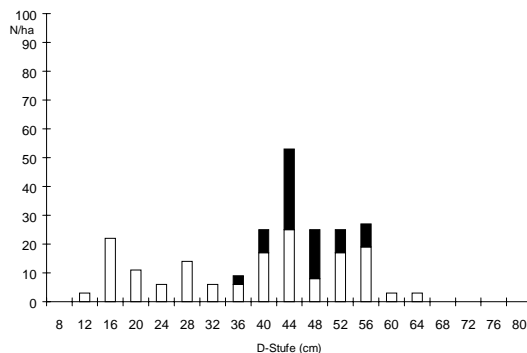
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

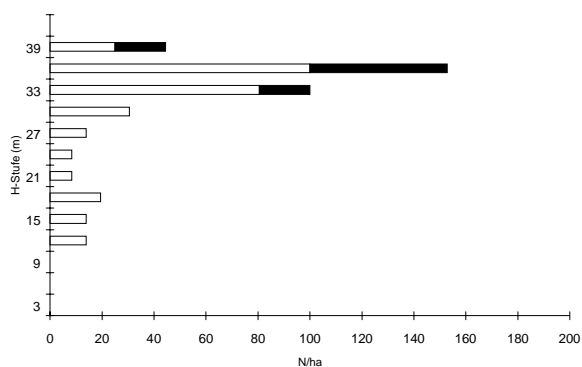
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	138	123		148	133	
Stammzahl (N/ha)	214	75	289	158	72	230
Grundfläche (qm/ha)	24,37	11,46	35,83	20,60	12,14	32,74
Grundflächenanteil (%)	68	32		63	37	
Dg	38,1	44,1		40,7	46,3	
D 100	48,4	44,1		48,5	46,3	
Hg	31,4	34,6		31,6	35,4	
H 100	35,4	34,6		34,2	35,4	
Vorrat (Fm/ha)	404,3	169,6	573,9	340,9	182,7	523,6
EKL (Mittelhöhe)	II.3	I.3		II.4	I.3	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)	56	3	59			
Grundfläche (qm/ha)	6,88	0,42	7,30			



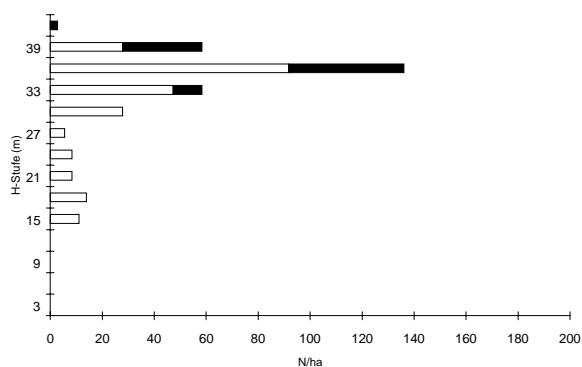
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

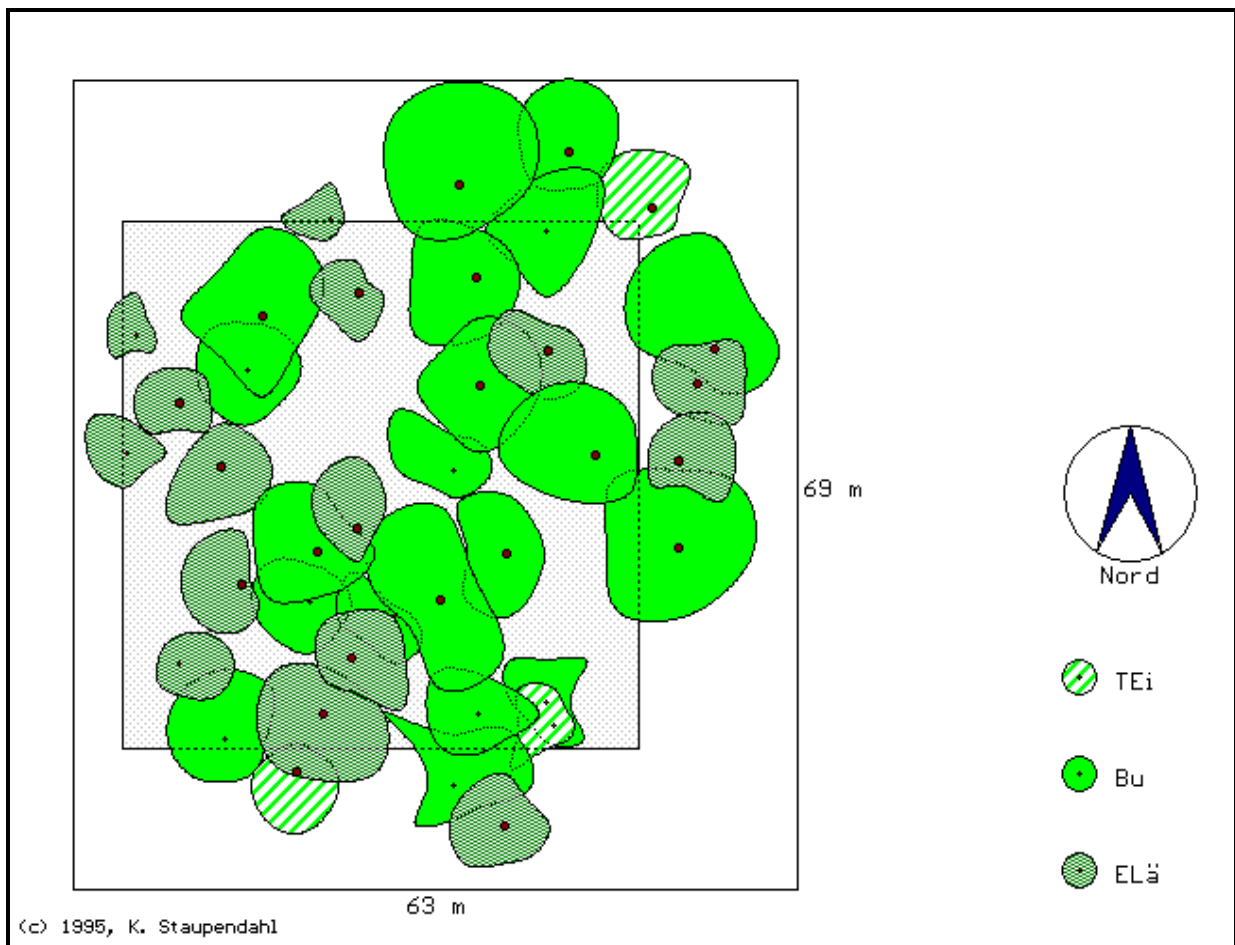


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
Oberschicht	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
N/ha	117	72	189	86	69	155
G/ha	19	11	30	16	12	28
V/ha	337	166	503	281	178	459
Mittelschicht						
N/ha	50	3	53	42	3	45
G/ha (V/ha)	4	0,2	4,2	4	0,3	4,3
V/ha	62	3	65	55	4	59
Unterschicht						
N/ha	47		47	31		31
G/ha (V/ha)	0,8		0,8	0,6		0,6
V/ha	6		6	5		5
Evenness (G)			0.627			0.659
Evenness (N)			0.573			0.622
Vertikales Artprofil (A)			1.356			1.360
Aggregation (Clark&Evans)	1.216	1.165	1.265	1.096	1.125	1.159
Segregation (Pielou)			-0.195			-0.176

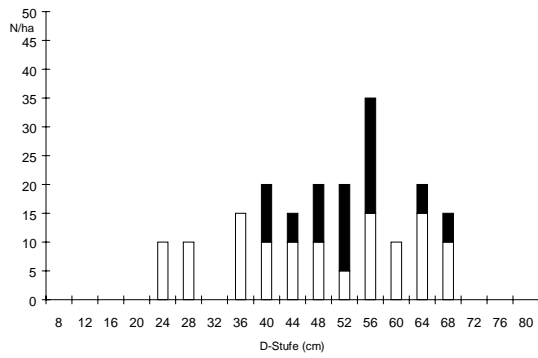
Fläche	110
Flächengröße	0,2025



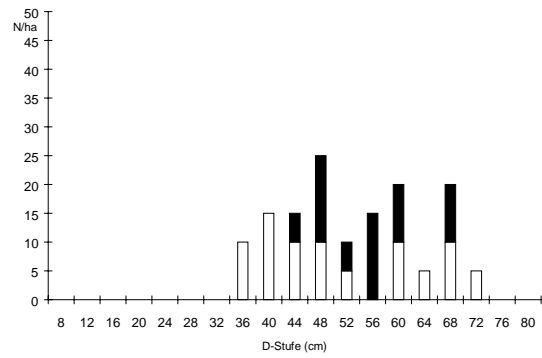
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

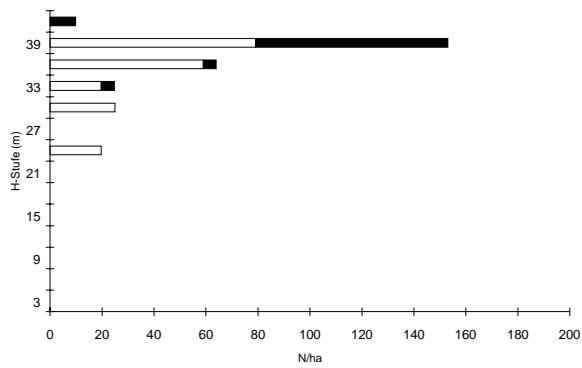
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	143	134		153	144	
Stammzahl (N/ha)	119	69	188	79	59	138
Grundfläche (qm/ha)	22,59	14,91	37,50	17,21	14,41	31,62
Grundflächenanteil (%)	60	40		54	46	
Dg	49,3	52,4		52,7	55,6	
D 100	52,8	52,4		52,7	55,6	
Hg	34,3	37,8		35,2	38,4	
H 100	35,2	37,8		35,2	38,4	
Vorrat (Fm/ha)	405,2	234,5	639,7	316,2	227,8	544,0
EKL (Mittelhöhe)	1,7	0,8		1,7	0,8	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)	40	10	50			
Grundfläche (qm/ha)	7,79	1,70	9,49			



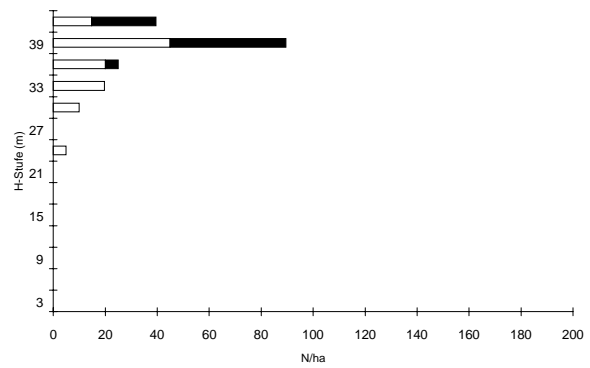
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

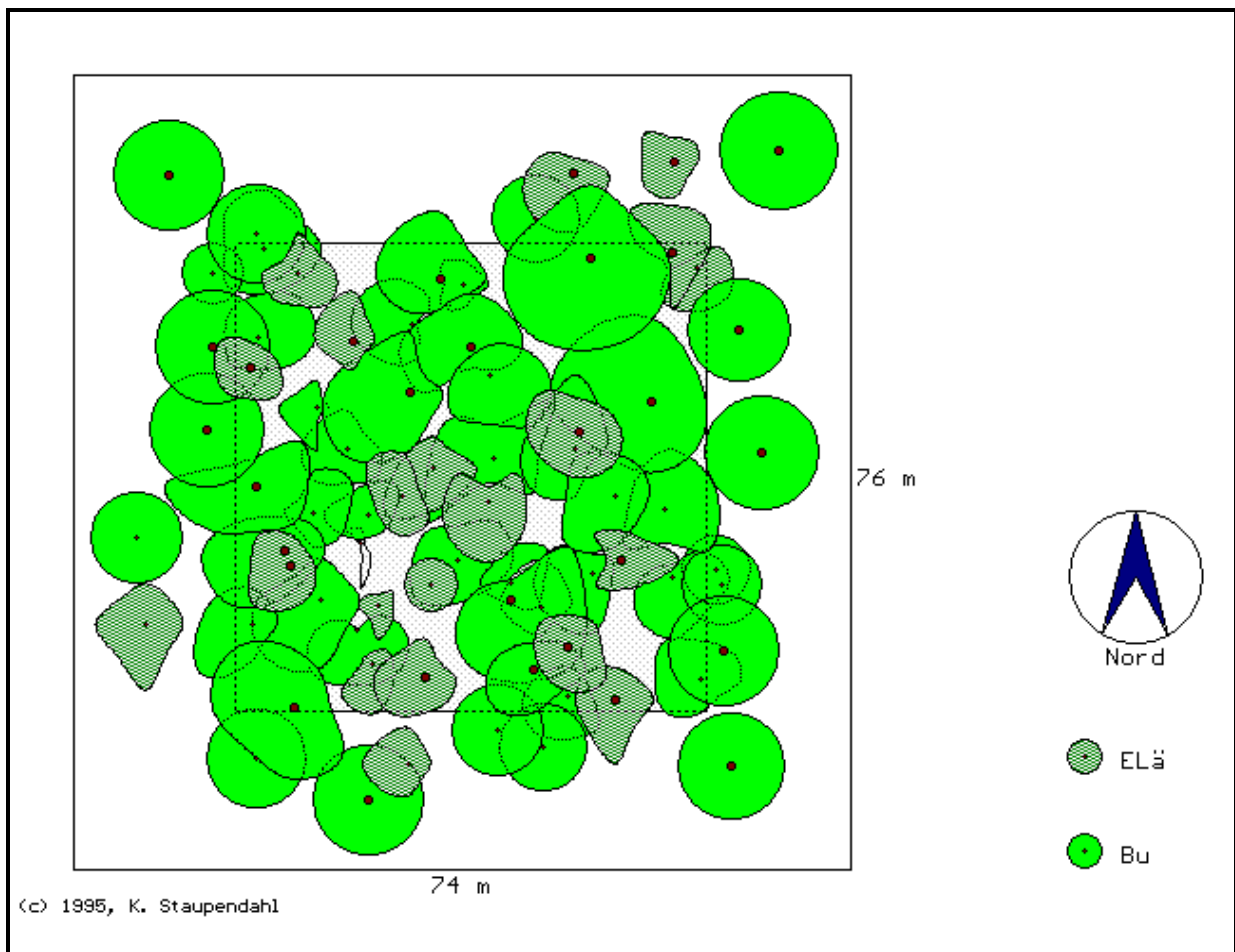


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
Oberschicht	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
N/ha	69	69	138	49	59	108
G/ha	18	15	33	13	14	27
V/ha	333	235	568	260	228	488
Mittelschicht						
N/ha	49		49	30		30
G/ha (V/ha)	5		5	4		4
V/ha	73		73	56		56
Unterschicht						
N/ha						
G/ha (V/ha)						
V/ha						
Evenness (G)			0.970			0.994
Evenness (N)			0.949			0.985
Vertikales Artprofil (A)			1.087			1.061
Aggregation (Clark&Evans)	1.126	1.099	1.288	1.019	1.094	1.277
Segregation (Pielou)			0.222			0.286

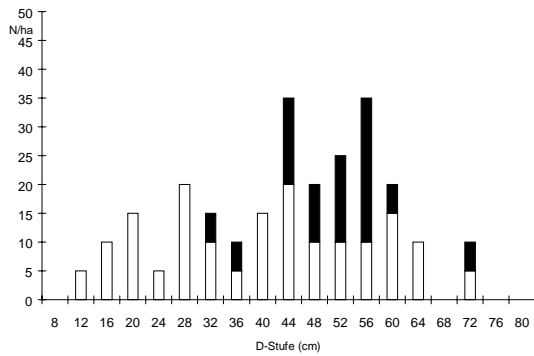
Fläche	111
Flächengröße	0,2025



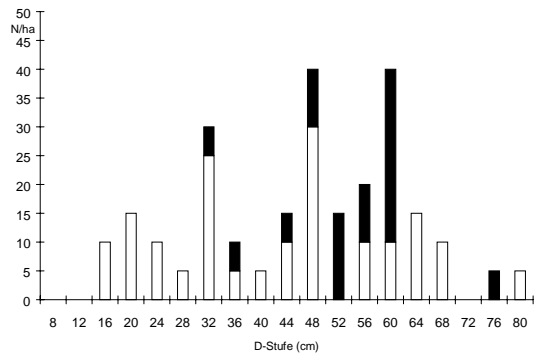
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

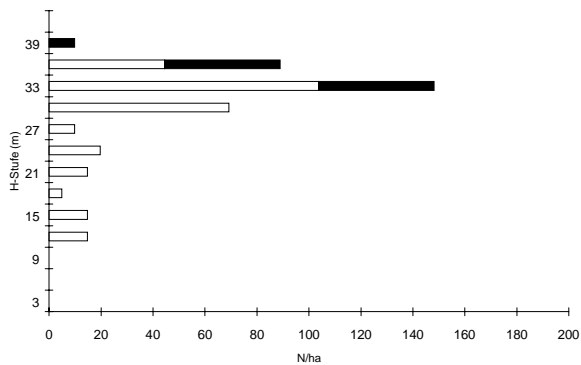
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	143	134		153	144	
Stammzahl (N/ha)	163	84	247	163	84	247
Grundfläche (qm/ha)	23,26	17,18	40,44	27,21	19,61	46,82
Grundflächenanteil (%)	58	42		58	42	
Dg	42,6	51,1		46,1	54,5	
D 100	51,3	51,1		55,5	54,5	
Hg	28,5	34,1		30,4	36,0	
H 100	31,5	34,1		33,4	36,0	
Vorrat (Fm/ha)	353,7	242,2	595,9	441,6	289,4	731,0
EKL (Mittelhöhe)	III.0	I.6		II.8	I.3	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)						
Grundfläche (qm/ha)						



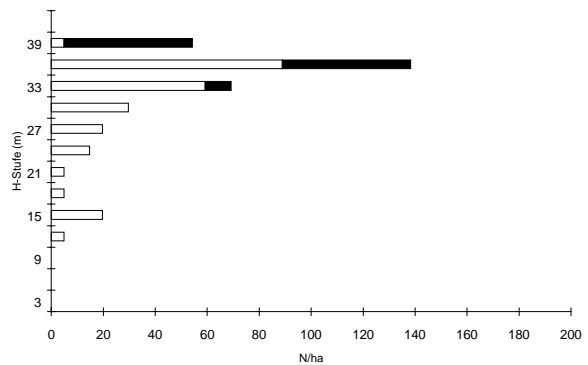
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984

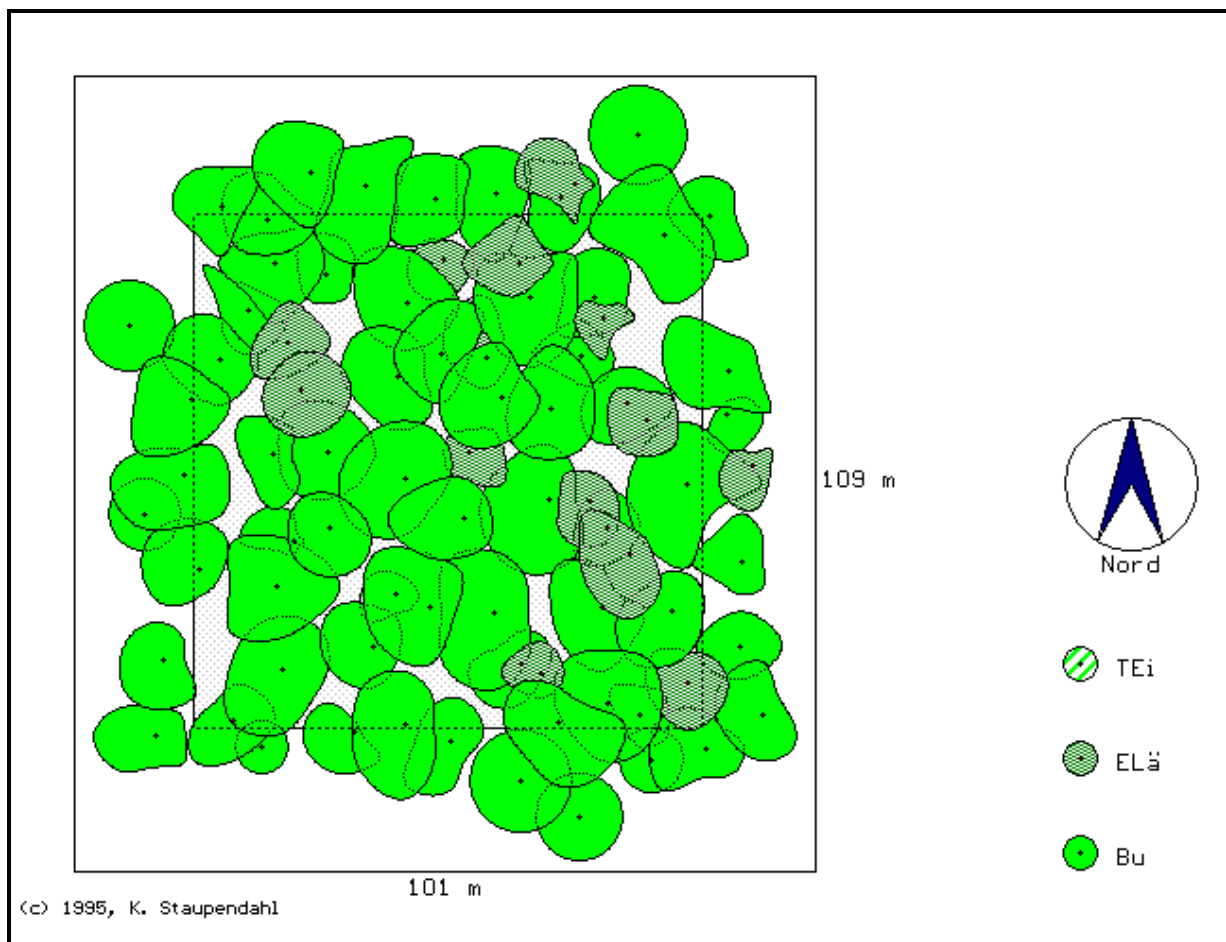


Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Oberschicht						
N/ha	79	84	163	89	84	173
G/ha	18	17	35	22	19	41
V/ha	293	242	535	384	289	673
Mittelschicht						
N/ha	54		54	44		44
G/ha (V/ha)	4		4	4		4
V/ha	57		57	52		52
Unterschicht						
N/ha	30		30	30		30
G/ha (V/ha)	0,7		0,7	1		1
V/ha	4		4	6		6
Evenness (G)			0.984			0.981
Evenness (N)			0.925			0.925
Vertikales Artprofil (A)			1.319			1.298
Aggregation (Clark&Evans)	1.288	1.218	1.277	1.288	1.218	1.277
Segregation (Pielou)			-0.273			-0.273

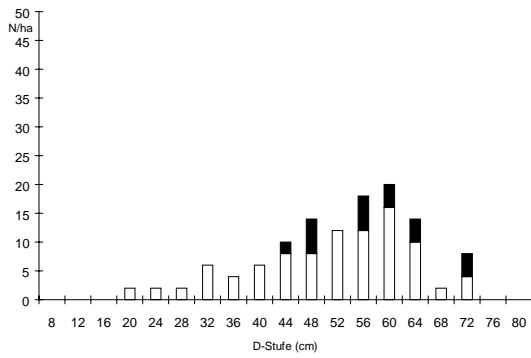
Fläche	112
Flächengröße	0,4900



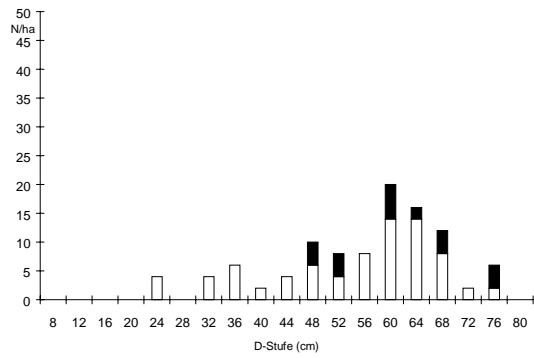
Bestandesaufsicht Buche-Lärche (Aufnahme 1994)

Bestandesdaten

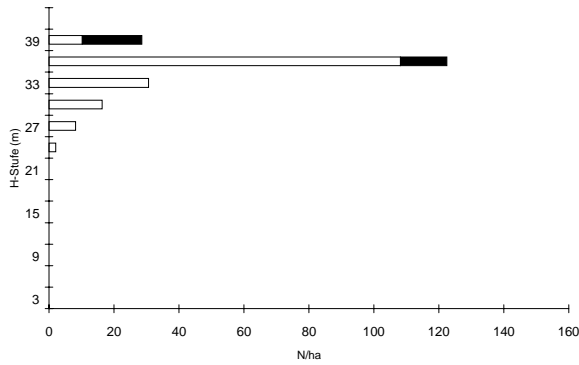
<i>verbleibender Bestand</i>	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Alter	148	148		158	158	
Stammzahl (N/ha)	96	27	123	80	24	104
Grundfläche (qm/ha)	20,19	7,03	27,22	19,52	7,45	26,97
Grundflächenanteil (%)	74	26		60,1	39,9	
Dg	51,8	58,1		55,9	62,2	
D 100	51,8	58,1		55,9	62,2	
Hg	34,2	36,4		35,3	37,2	
H 100	34,2	36,4		35,3	37,2	
Vorrat (Fm/ha)	355,1	103,6	458,7	356,3	110,8	467,1
EKL (Mittelhöhe)	I.8	I.2		I.8	I.1	
<i>ausscheidender Bestand</i>	Buche	Lärche	Gesamt			
Stammzahl (N/ha)	16	3	19			
Grundfläche (qm/ha)	3,75	0,52	4,27			



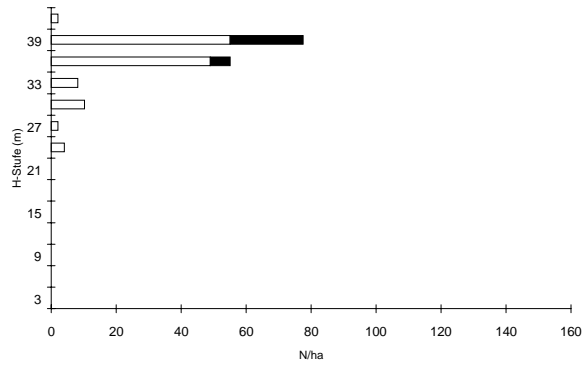
Durchmesserverteilung 1984



Durchmesserverteilung 1994



Höhenverteilung 1984



Höhenverteilung 1994

Bestandesstruktur

	1. Aufnahme (1984)			2. Aufnahme (1994)		
	Buche	Lärche	Gesamt	Buche	Lärche	Gesamt
Oberschicht						
N/ha	78	27	105	63	24	87
G/ha	19	7	26	18	7	25
V/ha	331	104	435	336	111	447
Mittelschicht						
N/ha	18		18	16		16
G/ha (V/ha)	1,6		1,6	1,4		1,4
V/ha	24		24	20		20
Unterschicht						
N/ha						
G/ha (V/ha)						
V/ha						
Evenness (G)			0.824			0.850
Evenness (N)			0.754			0.787
Vertikales Artprofil (A)			0.905			0.934
Aggregation (Clark&Evans)	1.317	0.995	1,323	1.288	1.218	1,317
Segregation (Pielou)			-0.182			-0.182

Anlage 4

Funktionen und Koeffizienten für die Datenergänzung

	Höhe	Kronenansatz	Kronenradius
Funktionen	PETTERSON (n.KRAMER, 1982) $h = 1,3 + \left(\frac{BHD}{a_0 + a_1 \cdot BHD} \right)^2$	van DEUSEN und BIGING (1985) $K_a = h \cdot \left[1 - e^{-\left(b_0 + b_1 \cdot \frac{h}{BHD} \right)^2} \right]$	linear $K_r = c_0 \cdot BHD + c_1$

Fläche : BL1.1	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1994)	$a_0 = 0.620538$	$R^2 = 0.41$	$b_0 = 0.802336$	$R^2 = 0.43$	$c_0 = 0.0135$	$R^2 = 0.69$	$c_0 = 0.0073$	$R^2 = 0.51$
	$a_1 = 0.358406$		$b_1 = 0.066185$		$c_1 = -0.0322$		$c_1 = 0.3793$	

Fläche : BL1.2	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1994)	$a_0 = 0.808429$	$R^2 = 0.58$	$b_0 = 0.950735$	$R^2 = 0.44$	$c_0 = 0.0097$	$R^2 = 0.61$	$c_0 = 0.0066$	$R^2 = 0.53$
	$a_1 = 0.337649$		$b_1 = -0.081283$		$c_1 = 0.1664$		$c_1 = 0.2225$	

Fläche : 301	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 0.957726$	$R^2 = 0.85$	$b_0 = 0.901017$	$R^2 = 0.44$				
	$a_1 = 0.170997$		$b_1 = -0.108626$					
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.060434$	$R^2 = 0.88$	$b_0 = 0.885302$	$R^2 = 0.53$	$c_0 = 0.0089$	$R^2 = 0.85$	$c_0 = 0.0068$	$R^2 = 0.89$
	$a_1 = 0.158606$		$b_1 = 0.160824$		$c_1 = 0.1714$		$c_1 = -0.0378$	

Fläche : 101	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 1.009932$	$R^2 = 0.84$	$b_0 = 1.030280$	$R^2 = 0.49$				
	$a_1 = 0.154113$		$b_1 = -0.103080$					
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.128795$	$R^2 = 0.87$	$b_0 = 1.091793$	$R^2 = 0.55$	$c_0 = 0.0069$	$R^2 = 0.52$	$c_0 = 0.0076$	$R^2 = 0.53$
	$a_1 = 0.148777$		$b_1 = -0.120376$		$c_1 = 0.8146$		$c_1 = -0.4503$	

Funktionen	Petterson		van Deusen und Biging		linear			
Fläche : 302	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 1.090815$ $a_1 = 0.171089$	$R^2 = 0.86$	$b_0 = 1.030908$ $b_1 = -0.210968$	$R^2 = 0.50$	$c_0 = 0.0764$ $c_1 = 0.9752$	$R^2 = 0.67$	$c_0 = 0.0946$ $c_1 = -0.6300$	$R^2 = 0.92$
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.139460$ $a_1 = 0.158159$	$R^2 = 0.84$	$b_0 = 0.813399$ $b_1 = 0.205687$	$R^2 = 0.51$	$c_0 = 0.0810$ $c_1 = 0.4311$	$R^2 = 0.79$	$c_0 = 0.0742$ $c_1 = -0.4437$	$R^2 = 0.94$
Fläche : 303	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 1.106453$ $a_1 = 0.171961$	$R^2 = 0.86$	$b_0 = 0.925353$ $b_1 = -0.108820$	$R^2 = 0.40$	$c_0 = 0.0697$ $c_1 = 1.0359$	$R^2 = 0.61$	$c_0 = 0.0923$ $c_1 = -0.5050$	$R^2 = 0.59$
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.207793$ $a_1 = 0.162238$	$R^2 = 0.84$	$b_0 = 0.966688$ $b_1 = 0.025605$	$R^2 = 0.46$	$c_0 = 0.0674$ $c_1 = 0.9679$	$R^2 = 0.76$	$c_0 = 0.0718$ $c_1 = -0.2745$	$R^2 = 0.73$
Fläche : 304	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 1.235441$ $a_1 = 0.159453$	$R^2 = 0.81$	$b_0 = 0.938707$ $b_1 = -0.149326$	$R^2 = 0.37$	$c_0 = 0.0951$ $c_1 = 0.7167$	$R^2 = 0.69$	$c_0 = 0.1224$ $c_1 = -1.9950$	$R^2 = 0.80$
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.266382$ $a_1 = 0.154096$	$R^2 = 0.81$	$b_0 = -0.854444$ $b_1 = -0.177195$	$R^2 = 0.32$	$c_0 = 0.0914$ $c_1 = 0.4262$	$R^2 = 0.82$	$c_0 = 0.0910$ $c_1 = -1.3124$	$R^2 = 0.79$
Fläche : 305	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 1.046803$ $a_1 = 0.163444$	$R^2 = 0.80$	$b_0 = 0.937609$ $b_1 = -0.146646$	$R^2 = 0.29$	$c_0 = 0.0731$ $c_1 = 0.9460$	$R^2 = 0.62$	$c_0 = 0.0972$ $c_1 = -1.1176$	$R^2 = 0.83$
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.121240$ $a_1 = 0.156280$	$R^2 = 0.83$	$b_0 = -0.878755$ $b_1 = -0.087269$	$R^2 = 0.16$	$c_0 = 0.0661$ $c_1 = 0.8831$	$R^2 = 0.70$	$c_0 = 0.0642$ $c_1 = -0.1503$	$R^2 = 0.62$
Fläche : 106	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 1.050831$ $a_1 = 0.160082$	$R^2 = 0.81$	$b_0 = 0.794463$ $b_1 = 0.010919$	$R^2 = 0.22$				
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.122070$ $a_1 = 0.157176$	$R^2 = 0.79$	$b_0 = 0.659901$ $b_1 = 0.276033$	$R^2 = 0.21$	$c_0 = 0.0081$ $c_1 = 0.6305$	$R^2 = 0.83$	$c_0 = 0.0082$ $c_1 = -0.6299$	$R^2 = 0.70$

Funktionen	Petterson		van Deusen und Biging		linear			
Fläche : 104	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 1.112744$ $a_1 = 0.158955$	$R^2 = 0.81$	$b_0 = 0.706549$ $b_1 = 0.158262$	$R^2 = 0.36$	$c_0 = 0.0083$ $c_1 = 0.5644$	$R^2 = 0.75$	$c_0 = 0.0074$ $c_1 = 0.2220$	$R^2 = 0.88$
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.061553$ $a_1 = 0.158934$	$R^2 = 0.75$	$b_0 = 0.656752$ $b_1 = 0.320859$	$R^2 = 0.34$	$c_0 = 0.0081$ $c_1 = 0.9441$	$R^2 = 0.82$	$c_0 = 0.0086$ $c_1 = -0.1884$	$R^2 = 0.81$
Fläche : 307	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 1.221380$ $a_1 = 0.148963$	$R^2 = 0.81$	$b_0 = 1.058236$ $b_1 = -0.250510$	$R^2 = 0.34$	$c_0 = 0.0869$ $c_1 = 0.3696$	$R^2 = 0.63$	$c_0 = 0.0972$ $c_1 = -1.5654$	$R^2 = 0.61$
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.230172$ $a_1 = 0.146241$	$R^2 = 0.83$	$b_0 = 1.241815$ $b_1 = -0.282072$	$R^2 = 0.51$	$c_0 = 0.0835$ $c_1 = -0.0950$	$R^2 = 0.85$	$c_0 = 0.0413$ $c_1 = 1.3959$	$R^2 = 0.32$
Fläche : 308	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 1.104996$ $a_1 = 0.150859$	$R^2 = 0.79$	$b_0 = 1.097915$ $b_1 = -0.356097$	$R^2 = 0.44$				
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.362105$ $a_1 = 0.145771$	$R^2 = 0.83$	$b_0 = -1.054536$ $b_1 = 0.039696$	$R^2 = 0.48$	$c_0 = 0.0077$ $c_1 = 1.2490$	$R^2 = 0.83$	$c_0 = 0.0091$ $c_1 = -1.4364$	$R^2 = 0.72$
Fläche : 309	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 1.374171$ $a_1 = 0.147309$	$R^2 = 0.86$	$b_0 = 1.085137$ $b_1 = -0.342575$	$R^2 = 0.34$				
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.369582$ $a_1 = 0.144536$	$R^2 = 0.87$	$b_0 = -1.068137$ $b_1 = 0.079085$	$R^2 = 0.41$	$c_0 = 0.0062$ $c_1 = 1.5826$	$R^2 = 0.71$	$c_0 = 0.0100$ $c_1 = -1.8755$	$R^2 = 0.65$
Fläche : 310	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 1.299588$ $a_1 = 0.146950$	$R^2 = 0.80$	$b_0 = 1.057473$ $b_1 = -0.265701$	$R^2 = 0.42$	$c_0 = 0.0071$ $c_1 = 0.9814$	$R^2 = 0.57$	$c_0 = 0.0077$ $c_1 = -0.3000$	$R^2 = 0.40$
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.694121$ $a_1 = 0.136784$	$R^2 = 0.89$	$b_0 = -0.743764$ $b_1 = -0.291634$	$R^2 = 0.49$	$c_0 = 0.0092$ $c_1 = 0.1921$	$R^2 = 0.84$	$c_0 = 0.0054$ $c_1 = 0.7947$	$R^2 = 0.66$

Funktionen	Petterson		van Deusen und Biging		linear			
Fläche : 109	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 1.733343$ $a_1 = 0.136233$	$R^2 = 0.86$	$b_0 = 0.955489$ $b_1 = -0.146683$	$R^2 = 0.47$	$c_0 = 0.0060$ $c_1 = 1.7214$	$R^2 = 0.61$	$c_0 = 0.0115$ $c_1 = -2.1350$	$R^2 = 0.49$
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.672532$ $a_1 = 0.138169$	$R^2 = 0.81$	$b_0 = -0.888627$ $b_1 = -0.043440$	$R^2 = 0.40$	$c_0 = 0.0065$ $c_1 = 1.5181$	$R^2 = 0.66$	$c_0 = 0.0093$ $c_1 = -1.1447$	$R^2 = 0.62$
Fläche : 110	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 1.618861$ $a_1 = 0.138475$	$R^2 = 0.72$	$b_0 = 0.927249$ $b_1 = -0.124399$	$R^2 = 0.31$				
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.948239$ $a_1 = 0.132101$	$R^2 = 0.65$	$b_0 = -0.942969$ $b_1 = -0.528297$	$R^2 = 0.35$	$c_0 = 0.0068$ $c_1 = 1.2549$	$R^2 = 0.67$	$c_0 = 0.0078$ $c_1 = -0.9149$	$R^2 = 0.60$
Fläche : 111	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 2.099842$ $a_1 = 0.138773$	$R^2 = 0.83$	$b_0 = 0.569761$ $b_1 = 0.335254$	$R^2 = 0.46$	$c_0 = 0.0066$ $c_1 = 2.0357$	$R^2 = 0.68$	$c_0 = 0.0086$ $c_1 = -0.7202$	$R^2 = 0.73$
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.994769$ $a_1 = 0.138686$	$R^2 = 0.78$	$b_0 = -0.482119$ $b_1 = -0.580206$	$R^2 = 0.47$	$c_0 = 0.0056$ $c_1 = 1.8214$	$R^2 = 0.57$	$c_0 = 0.0036$ $c_1 = 1.3363$	$R^2 = 0.27$
Fläche : 112	Buche		Buche		Buche		Lärche	
Aufnahme 1 (1984)	$a_0 = 1.201906$ $a_1 = 0.150587$	$R^2 = 0.70$	$b_0 = 0.790247$ $b_1 = 0.055555$	$R^2 = 0.23$	$c_0 = 0.0075$ $c_1 = 1.2648$	$R^2 = 0.70$	$c_0 = 0.0053$ $c_1 = 0.6968$	$R^2 = 0.75$
Aufnahme 2 (1994)	$a_0 = 1.528002$ $a_1 = 0.143674$	$R^2 = 0.77$	$b_0 = -0.729977$ $b_1 = -0.235647$	$R^2 = 0.27$	$c_0 = 0.0075$ $c_1 = 1.8220$	$R^2 = 0.60$	$c_0 = 0.0053$ $c_1 = 1.4102$	$R^2 = 0.52$

Anlage 5 : Erläuterungen zu den verwendeten Standortskennziffern

Standortskennziffer Erläuterungen

- 9.4(-).2.3 / (9.4.3.5) vorratsfrische bis frische Plateaustandorte, mit ziemlich guter Nährstoffausstattung, aus 30/40 bis 70/80 cm mächtigen schluffig-lehmigen Decken, auch Lößlehmdecken oder stark schluffgeprägten Fließerden über basenarmen Silikatgestein (...3.5: über 70/80 cm mächtige typische Lößlehme, auch verarmte Feinlehm Böden und Lößfließerden über basenarmen Silikatgestein).
- 9t(23).3+/4-.2.3 frische Plateaustandorte, mit mäßiger bis ziemlich guter Nährstoffversorgung, aus 30/40 bis 70/80 cm mächtigen schluffig-lehmigen Decken, auch Lößlehmdecken oder stark schluffgeprägten Fließerden über basenarmen Silikatgestein.
- 19.4-.2.3 (19.4/4-.3.5) Frische Schatthangstandorte, mit noch ziemlich guter Nährstoffausstattung, aus 30/40 bis 70/80 cm mächtigen schluffig-lehmigen Decken, auch Lößlehmdecken oder stark schluffgeprägten Fließerden über basenarmen Silikatgestein (...3.5: über 70/80 cm mächtige typische Lößlehme, auch verarmte Feinlehm Böden und Lößfließerden über basenarmen Silikatgestein).
- 9.4-.2.3 t frische Plateaustandorte mit noch ziemlich guter Nährstoffausstattung aus 30/40 bis 70/80 cm mächtigen schluffig-lehmigen Decken, auch Lößlehmdecken oder stark schluffgeprägten Fließerden über basenarmen Silikatgestein
- 9.4(-).2.3 (t) frische bis vorratsfrische Plateaustandort, mit ziemlich guter Nährstoffausstattung, aus 30/40 bis 70/80 cm mächtigen schluffig-lehmigen Decken, auch Lößlehmdecken oder stark schluffgeprägten Fließerden über basenarmen Silikatgestein
- 23.4-/3+.2.3 (t) frische bis mäßig frische Sonnenhangstandorte, mit ziemlich guter bis mäßiger Nährstoffversorgung, aus 30/40 bis 70/80 cm mächtigen schluffig-lehmigen Decken, auch Lößlehmdecken oder stark schluffgeprägten Fließerden über basenarmen Silikatgestein.
- 9/23(f).4.2.3(3.5) frische bis vorratsfrische Plateau- bis Sonnenhangstandorte, mit ziemlich guter Nährstoffausstattung aus 30/40 bis 70/80 cm mächtigen schluffig-lehmigen Decken, auch Lößlehmdecken oder stark schluffgeprägten Fließerden über basenarmen Silikatgestein (...3.5: über 70/80 cm mächtige typische Lößlehme, auch verarmte Feinlehm Böden und Lößfließerden über basenarmen Silikatgestein).

- 9.4.3.5 (2.3) vorratsfrische Plateaustandorte, mit ziemlich guter Nährstoffversorgung, aus über 70/80 cm mächtigen typischen Lößlehm, auch verarmte Feinlehm Böden und Lößfließerden über basenarmen Silikatgestein (...2.3: 30/40 bis 70/80 cm mächtige schluffig-lehmige Decken, auch Lößlehmdecken oder stark schluffgeprägten Fließerden über basenarmen Silikatgestein).
- 19.4(-).2.3(3.5) (f) Frische bis vorratsfrische Schatthangstandorte, mit ziemlich guter Nährstoffversorgung, aus 30/40 bis 70/80 cm mächtigen schluffig-lehmigen Decken, auch Lößlehmdecken oder stark schluffgeprägten Fließerden über basenarmen Silikatgestein (...3.5: über 70/80 cm mächtige typische Lößlehme, auch verarmte Feinlehm Böden und Lößfließerden über basenarmen Silikatgestein).
- 23.3+/4-.2.3 (23.4-.3.5f) frische Sonnenhangstandorte, mit mäßiger bis noch ziemlich guter Nährstoffversorgung, aus 30/40 bis 70/80 cm mächtigen schluffig-lehmigen Decken, auch Lößlehmdecken oder stark schluffgeprägten Fließerden über basenarmen Silikatgestein (...3.5: über 70/80 cm mächtige typische Lößlehme, auch verarmte Feinlehm Böden und Lößfließerden über basenarmen Silikatgestein).