

Wachstumsreaktionen einzeln eingemischter Vogelbeeren  
(*Sorbus aucuparia* L.) in Fichtenjungbeständen nach  
Freistellung

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor rerum silvaticarum (Dr. rer. silv.)

vorgelegt von

Dipl.-Forstw. Sonja Gockel

geb. am 05.09.1973 in Arnsberg (Westf.)

Gutachter:

Herr Prof. Dr. Sven Wagner

Technische Universität Dresden

Fakultät für Umweltwissenschaften

Institut für Waldbau und Waldschutz / Professur für Waldbau

Herr Prof. Dr. Andreas Roloff

Technische Universität Dresden

Fakultät für Umweltwissenschaften

Institut für für Forstbotanik und Forstzoologie / Professur für Forstbotanik

Herr Prof. Dr. Christian Ammer

Georg-August-Universität Göttingen

Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie

Abteilung Waldbau und Waldökologie der gemäßigten Zonen / Professur für  
Waldbau

*für Ella*

## **Danksagung**

Diese Arbeit hat mich über ein Jahrzehnt meines Lebens begleitet. Trotz des langen Fertigstellungszeitraumes bin ich sehr glücklich über die Tatsache, dass der Untersuchungsgegenstand, die Baumart Vogelbeere und ihre waldbauliche Behandlung, bis heute noch aktuell ist und sogar an Bedeutung zugenommen hat. Ich habe nie die Freude an der Bearbeitung des Themas verloren.

Vielen Menschen gilt an dieser Stelle mein herzlichster Dank. Die Reihenfolge der Nennung soll dabei nicht einer Wertung gleichkommen.

Ich danke Prof. Sven Wagner für die Überlassung des Themas, die Betreuung und das gemeinsame Durchhalten auf der letzten Strecke der Fertigstellung.

Antje Karge danke ich zutiefst für eine herrliche und unvergessliche gemeinsame Zeit bei der Errichtung der Versuchsflächen, sowie ihrer Unterstützung bei der Durchführung der umfangreichen Aufnahmen und Messkampagnen. Antje besaß immer einen rationalen Überblick über Notwendigkeiten und den Fortgang der Dinge, was mir damals die methodische Planung sehr erleichtert hat.

Dr. Franka Huth und Alexandra Wehnert gilt ebenfalls unermesslicher Dank für ihre technische und logistische Unterstützung auf der letzten Etappe der Fertigstellung. Nicht unerwähnt bleiben dürfen dabei die bis zum Schluss noch geführten, anregenden fachlichen Diskussionen. Wichtig waren mir vor allem aber die frohen gemeinsamen Stunden, die sehr zum meinem seelischen Rückhalt beigetragen haben.

Sven Martens (SachsenForst) danke ich für Überlassung und Erläuterungen zu den Klimadaten der Versuchsflächen.

Bestehen neben der Fertigstellung der Arbeit familiäre und berufliche Verpflichtungen, dann ist ein Netzwerk der persönlichen Unterstützung unerlässlich.

Hier danke ich vor allem meinen Eltern Monika und Wolfgang Gockel, und meinen Schwiegereltern Inge und Gerhard Körpert, für das entgegengebrachte Verständnis zur Fertigstellung der Arbeit. Vor allem danke ich Ihnen aber für ihre unermüdlich gewährte Hilfe in vielfältiger Hinsicht, logistisch wie auch seelisch.

Mein Dank gilt Ralf Brümmel und Ingolf Profft aus meinem beruflichen Umfeld für die gewährten Freiräume und das entgegengebrachte Vertrauen. Herzlichen Dank auch an Dr. Nico Frischbier für die hilfreichen fachlichen Gespräche und Diskussionen.

Heike Ackermann, Melanie Thomalla und Jutta Temmen haben mir während der ganzen Zeit Unterstützung, seelischen Beistand und Zuspruch gewährt. Dr. Andreas Schaaf konnte mir für meine Arbeit mit seinen wissenschaftlichen Erfahrungen sowohl fachlich als auch technisch sehr hilfreich beiseite stehen.

Meiner kleinen Tochter Ella bin ich zutiefst zu Dank verpflichtet. Ella hat die häufige Abwesenheit ihrer Mama zwar nicht mit Begeisterung, aber mit einer für ihr Alter erstaunlichen Reife und Geduld ertragen.

Ich danke Herrn T. als meinen kleinen treuen Begleiter von Beginn der Arbeiten an.

Zutiefst dankbar bin ich meinem Lebensgefährten Karsten Körpert.  
Körpi, ohne Dich wäre „das Ding“ nicht möglich gewesen!

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	1
1.1	Thematische Einführung und Stand des Wissens	1
1.1.1	Thematische Einführung	1
1.1.1.1	Waldumbau	2
1.1.1.2	Ökologischer Waldumbau	6
1.1.1.3	Eingliederung des Vorhabens in das Verbundprojekt „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“	12
1.1.2	Stand des Wissens	13
1.1.2.1	Potentialerfassung von Mischbaumarten in jungen Fichtenreinbeständen	13
1.1.2.2	Die Baumart Vogelbeere und ihre waldbaulichen Eigenschaften	17
1.1.2.3	Wachstumsreaktionen von Einzelbäumen in Jungbeständen nach Freistellung	30
1.2	Zielstellung der Arbeit und Arbeitshypothesen	37
1.2.1	Ziele und Hypothesen zur Bestimmung des Waldumbaupotenzials	37
1.2.2	Ziele und Hypothesen zur Initiierung von Wachstumsreaktionen	38
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	40
2.1	Inventur von Einzelmischungen	40
2.1.1	Datenabfrage im Programm FESA	40
2.1.2	Datengrundlage	40
2.1.2.1	Stichprobe	40
2.1.2.2	Terrestrische Stichprobe aus der FESA-Datenbankabfrage	43
2.1.2.3	Terrestrische Inventur / Waldaufnahme	47
2.1.2.3.1	Vogelbeere	47
2.1.2.3.2	Fichte	50
2.2	Freistellungsexperiment	51
2.2.1	Untersuchungsgebiet	51
2.2.2	Versuchsaufbau	55
2.2.2.1	Wuchsreihe	56
2.2.2.2	Auswahl der Versuchsglieder	59
2.2.2.2.1	Vogelbeeren	59
2.2.2.2.2	Fichtenkonkurrenten und Konkurrenzsituation	60
2.2.2.2.3	Konkurrenzschätzung mit hemisphärischen Abbildungen	66
2.2.2.3	Freistellung der Vogelbeeren	72
2.2.2.4	Erfassung individueller Parameter an den Vogelbeeren	75
2.2.2.4.1	Dokumentation des Durchmesser- und Höhenwachstums	77
2.2.2.4.2	Kronen- und Primärastwachstum	83
2.2.2.4.3	Fruchtmasse	85
2.2.2.4.4	Feinwurzelmasse	86
2.2.2.5	Allometrische Beziehungen und Allokationen	90
2.2.2.5.1	Allometrische Beziehungen	90
2.2.2.5.2	Allokationsmuster	91

2.2.2.5.3	Baumentnahme .....	92
2.2.2.5.4	Probeäste – Auswahlverfahren und Messungen .....	95
2.2.2.5.5	Randomized Branch Sampling .....	97
2.2.3	Statistische Verfahren zum Freistellungsexperiment .....	103
2.2.3.1	Allgemeine statistische Verfahren .....	103
2.2.3.2	Varianzanalytische Auswertungen.....	105
2.2.3.3	Modelle der horizontalen Feinwurzelverteilung .....	110
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>115</b>
3.1	Inventur von Einzelmischungen der Vogelbeere in Fichtenbeständen der mittleren Lagen des Erzgebirges .....	115
3.1.1	Ergebnisse der Datenabfrage.....	115
3.1.2	Ergebnisse der terrestrischen Inventur .....	118
3.2	Freistellungsexperiment .....	129
3.2.1	Vergleich der Konkurrenzindizes.....	129
3.2.2	Effekte der Freistellung .....	134
3.2.3	Wachstumsreaktionen .....	138
3.2.3.1	Stamm .....	138
3.2.3.1.1	BHD und Höhe .....	139
3.2.3.1.2	Triebblängen und Jahrringe .....	150
3.2.3.1.3	Stammform und -volumen.....	159
3.2.3.2	Kronendimensionen und Primärastwachstum .....	167
3.2.3.2.1	Kronenschirmfläche und Kronenradius .....	167
3.2.3.2.2	Kronenlänge .....	172
3.2.3.2.3	Zuwachs Primärastlänge.....	174
3.2.3.2.4	Primärastmasse .....	177
3.2.3.3	Blattmasse.....	179
3.2.3.4	Fruchtmasse .....	189
3.2.4	Modellierung der Feinwurzelbiomasse .....	194
3.2.5	Allokationsmodell .....	201
<b>4</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>204</b>
4.1	Diskussion Inventur .....	204
4.1.1	Methodendiskussion zum waldbaulichen Experiment .....	216
4.1.1.1	Versuchsaufbau.....	216
4.2	Ergebnisse des waldbaulichen Experimentes .....	232
4.2.1	Vergleich der Konkurrenzindizes und Effekte der Freistellung .....	232
4.2.2	Oberirdische Wuchsreaktionen .....	236
4.2.3	Unterirdische Wuchsreaktionen .....	273
4.2.4	Allokationsmodell .....	278

4.3	Waldbauliche Behandlungsstrategien und Schlussfolgerungen zur Integration der Vogelbeere.....	284
4.3.1	Bedeutung und Potential der Vogelbeere als Mischbaumart.....	284
4.3.2	Wuchspotential.....	288
4.3.3	Waldbauliche Behandlung .....	289
4.3.4	Waldumbau .....	299
4.3.5	Ausblick .....	301
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>303</b>
<b>6</b>	<b>Summary</b> .....	<b>307</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>311</b>
	<b>Abkürzungen</b> .....	<b>339</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>340</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>344</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>349</b>
	<b>Erklärung</b> .....	<b>355</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Thematische Einführung und Stand des Wissens

### 1.1.1 Thematische Einführung

Die vorliegende Arbeit konnte im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojektes „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft (1998-2003)“ erstellt werden. Dieses Verbundprojekt gehörte zum Forschungsprogramm „Forschung für die Umwelt“ der Bundesregierung und ist 1998 in Zusammenarbeit mit den Ländern Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Sachsen initiiert worden. Das Programm sollte Voraussetzungen, Möglichkeiten und Grenzen für einen *ökologischen Waldumbau* klären, und dabei ökologisch nachhaltige Verfahren und ökonomisch vorteilhafte Strategien entwickeln. Die Folgen dieser Verfahren sollten geprüft und schließlich daraus integrierte Bewirtschaftungs- und Naturschutzkonzepte auf wissenschaftlicher Grundlage entworfen werden (BAUMGARTEN et al. 2003, VON TEUFFEL et al. 2005, FRITZ 2006).

Das Vorhaben hat damit die bundesweiten Forderungen und Zielvorstellungen der Landesforstverwaltungen aufgegriffen den Waldumbau von nicht standortgemäßen, naturfernen und instabilen Nadelbaumreinbeständen voranzutreiben und den Anteil an Mischbeständen in den Forstbetrieben deutlich zu erhöhen (RÖHRIG et al. 2006, ROSIN 2000, HEINZEL und PETERS 2001). So fordert die sächsische Landesforstverwaltung in ihren Waldbaugrundsätzen (SMUL 1999) den Aufbau und den Erhalt von ökologisch stabilen Mischbeständen auf 90 % der Landeswaldfläche. Neben ökonomischen Zielen wie Gewährleistung guter Holzqualität, Erhöhung der Sortimentsvielfalt, Verminderung des Produktionsrisikos, sollen auch ökologische Belange mehr in den Vordergrund rücken. Dies sind z.B. der Anbau standortgerechter Baumarten, die Beteiligung der Baumarten der natürlichen Waldgesellschaft und die Schaffung von Bestandesstabilität durch vertikale und horizontale Bestandesstrukturen. Diese Forderungen sind bis heute noch aktuell und sind z.B. auch in der „Waldstrategie 2020“ des BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2011) wiederzufinden. Auch zeigt die Diskussion um einen möglichen Klimawandel die Aktualität dieser Waldumbauziele. Hier werden oftmals der „klimaangepasste Umbau“ durch Einführung klimatoleranter Baumarten und der Aufbau klimaresistenter (Misch-)Wälder gefordert (WAGNER 2008, HARTARD und SCHRAMM 2009). Die aktuelle „Waldstrategie 2050“ der säch-



sischen Landesregierung (SMUL, 2013) sei an dieser Stelle noch einmal gesondert erwähnt. In der Strategie wird von einer Intensivierung von Waldumbaumaßnahmen seit 2003 berichtet und deren Fortführung vor dem Hintergrund des Klimawandels bis zum Jahr 2050 festgelegt.

### 1.1.1.1 Waldumbau

#### Geschichte

Der Wald hat sich seit der Menschheitsentstehung stets im Wandel befunden. Der Waldwandel setzte ein, als die Bedürfnisse der Menschheit sich so stark veränderten, dass der „...*bislang naturnahe Wald*...“ (THOMASIVS 1996) z.B. durch Rodung, Brenn- und Kohlholzgewinnung, Wald-Feldbau und Waldweide, diesen angepasst und somit verändert wurde (HASEL und SCHWARTZ 2002 S. 289 ff., KÜSTER 1998 S. 68 ff., WICKEL 1996). Nach BURSCHEL (1990) wurden Mitte des 16. Jahrhunderts mit der Aufstellung erster Holzordnungen die ersten waldbaulichen Ziele definiert und man konnte vom Beginn eines „...*systematischen Umbau[s] sprechen*...“. Für THOMASIVS (1996) waren die Waldumwandlungen in der Geschichte der Forstwirtschaft „... *Marksteine für die Abgrenzung verschiedener forsthistorischer Epochen*“. Auslöser von Waldumwandlungen waren immer ein „...*unbefriedigender Waldzustand*...“, aber auch eine „...*leitende Idee, die durch Formulierung von Ziel und Weg der Umwandlung die theoretische Grundlage dafür lieferte*“. An dieser Stelle soll nicht im Detail auf alle vergangenen markanten Waldumwandlungen der Zeitgeschichte eingegangen werden. Bei KÜSTER (1998) und HASEL und SCHWARTZ (2002) sind die verschiedenen Epochen und Ereignisse ausführlich beschrieben.

#### Definitionen

Gemäß den gegenwärtigen Definitionen des Begriffes Waldumbau (*forest modification, forest conversion*) kann dieser zusammenfassend als Umgestaltung des Waldes mit einem klar definierten Ziel beschrieben werden. Dabei wird Waldumbau immer aktiv geplant und durchgeführt aufgrund eines ungewollten Ausgangszustandes des Waldes.

THOMASIVS (1996) und BRÜNING und MAYER (1980) führen zunächst die Begriffe *Rekonstruktion, Umwandlung* und *Überführung* als Verfahren für die „*grundlegende(n) Umgestaltungen der Wälder bzw. die zu ihrer Realisierung angewandten Verfahren* [...]“ an. (Tab. 1). Der Begriff Waldumbau sei zu den Definitionen der Waldumgestaltung erst in den letzten Jahren hinzugekommen (THOMASIVS 1996). Tatsächlich findet sich in der gegenwärtigen

Fach- und Lehrliteratur zum Waldbau eher die Begriffe *Umwandlung* und *Überführung*, als der Begriff *Waldumbau* (MAYER 1992, BURSCHEL und HUSS 1997, RÖHRIG et al. 2006).

Tab. 1: Definition einschlägiger Begriffe für grundlegende Umgestaltungen von Wäldern (THOMASIVS 1996)

<p><b>Rekonstruktion:</b> Ablösung leistungsschwacher Bestockungen durch neue oder im Laufe der Zeit wesentlich veränderte, den gesellschaftlichen Anforderungen besser entsprechende Waldbestände. Das kann durch <b>Umwandlung</b> oder <b>Überführung</b> erfolgen.</p>	
<p><b>Umwandlung:</b> Kurzfristige Beseitigung vorhandener leistungsschwacher Waldbestockungen durch Kahl- oder Schirmhieb mit nachfolgender Kunstverjüngung auf der Freifläche oder unter dem Schirm des Vorbestandes (z.B. im Voranbauverfahren).</p>	<p><b>Überführung:</b> Verbesserung vorhandener Waldbestockungen durch Naturverjüngung oder Maßnahmen der Bestandenserziehung und -pflege (Mischungs-, Stammzahl- und Standraumregulierung sowie Phänotypenauslese).</p>
<p><b>Waldumbau:</b> Planmäßige Veränderung von Forsten, die den naturgesetzlichen und gesellschaftlichen Erfordernissen nicht entsprechen, nach adäquaten natürlichen Vorbildern (PNV), die funktionsabhängig (Produktion, Protektion, Rekreation) modifiziert werden.</p>	

THOMASIVS (1996) folgert „[...] *dass der Begriff „Waldumbau“ Strukturveränderungen nach einem fundierten Leitbild bedeutet. Das **Leitbild** eines solchen Umbaus ergibt sich nach heutigen Auffassungen aus adäquaten natürlichen Vorbildern (PNV) und der **Zielwald** ist eine funktionsabhängige Modifikation desselben*“. Die Notwendigkeit für den Waldumbau besteht „[...] *wenn erhebliche ökologische Diskrepanzen, d.h. Widersprüche zwischen Umwelt (Geotop) und Phytozönose und/oder funktionelle Diskrepanzen, d.h. Widersprüche zwischen den realen und erwarteten Wirkungen von Waldökosystemen auftreten*.“

BRÜNING und MAYER (1980) definieren den Begriff Waldumbau in beispielhafter Art und heben hierbei das Ziel Wandlung zu Mischbeständen hervor: „*Umbau von beispielsweise standortswidrigen Fichtenreinbeständen nach Rückgang der Leistungsfähigkeit durch Standortverschlechterung, Windwurfkatastrophen, oder Insektenkalamitäten in standortstauglichere, resistenterere und krisensicherere Mischbestände; Sanierung von Schneedruck-Katastrophen-Beständen*.“ Ähnlich definiert auch ARENHÖVEL (1996): „*Waldumbau ist damit die Umgestaltung von geschädigten und/oder nicht standortsgerechten, labilen und damit katastrophenanfälligen Beständen, deren Bestockung nach Erscheinungsbild und Funktions-tauglichkeit in grobem Mißverhältnis zur standörtlichen Leistungskraft und den örtlich erwünschten Vorrangfunktionen des Waldes steht*.“ BAUMGARTEN und VON TEUFFEL (2005) definieren den Begriff kurz: „*Waldumbau ist allgemein definiert als eine durch Bewirtschaftungsmaßnahmen herbeigeführte Änderung der Bestockungs- und Bewirtschaftungsverhält-*

*nisse in Wäldern.*“ Weiterhin zitierten BAUMGARTEN und VON TEUFFEL (2005) in ihrer Arbeit Anonymus (2000): *„Unter Waldumbau wird im Allgemeinen der durch Bewirtschaftungsmaßnahmen herbeigeführte Wechsel von Betriebsform und Baumartenmischung in Waldbeständen verstanden.“*

In der Definition von FISCHER und FISCHER (2006) wird dagegen der Begriff der „Naturnähe“ als Waldumbauziel genannt: *„Unter dem Begriff „Waldumbau“ wird in Deutschland die gezielte Veränderung der Strukturen – insbesondere Baumartenzusammensetzung – und Prozesse von und in Waldbeständen in Richtung auf naturnähere Verhältnisse verstanden.“*

WAGNER (2007 und 2008) stellt verschiedene Waldumbaustrategien vor, um auf durch den prognostizierten Klimawandel hervorgerufenen Planungsunsicherheiten im Waldbau reagieren zu können. Dabei werden zwei Strategien vorgestellt, welche unterschiedlichen Zeithorizonten zugeordnet werden können: „Nachhaltumbau“ und „Funktionsumbau“. Zum einen möchte man eine *„[...] optimale aktuelle Funktionenerfüllung [...]“* erreichen (Funktionsumbau) oder *„[...] eine langfristige Flexibilität der Funktionenerfüllung [...]“* erhalten (Nachhaltumbau). Die Ziele des Funktionsumbaus sprechen dabei die Bedürfnisse der heutigen Generation an, als Beispiel kann ein flächiger Voranbau mit den gewünschten Baumarten angeführt werden. Die Ziele des Nachhaltumbaus sollen den nachfolgenden Generationen zugutekommen, dies ist beispielsweise die punktuelle Etablierung von gewünschten Umbaubaumarten, um Mischungsinhalte für die Zukunft zu schaffen. WAGNER (2007) gibt aber gleichzeitig auch zu bedenken, dass genügend Wissen für die Etablierung einer Nachhaltbasis vorhanden sein muss und die Forstbetriebe diesem Anliegen auch dauerhaft gebührende Aufmerksamkeit widmen müssen.

### Zielsetzungen und Techniken

THOMASIU (1996) definiert einen umfassenden Ansatz für Ziele und Techniken des Waldumbaus. Nach seinen Ausführungen ist der strategische Weg des Waldumbaus der vom *„[...] mechanistischen Raum-Zeit-System des Schlagweisen Waldes zu einem dynamischen Raum-Zeit-System des Dauerwaldes“*. Der technologische Weg beschreibt *„[...] wie überwiegend gleichaltrige und einschichtige Reinbestände in geotop- und funktionsgerechte, ungleichaltrige und mehrschichtige Mischbestände umzubauen sind.“* Das Waldumbauziel würde in den Strukturen des Zielwaldes zum Ausdruck kommen: *„[...] der Artenstruktur, Altersstruktur und Raumstruktur“*. Diese Strukturelemente müssten weiterhin in verschiedenen Hierarchie-

ebenen betrachtet werden. Dies seien die Landschafts- bzw. Wuchsbezirksebene, Naturraumeinheit bzw. Geotopsebene und letztendlich kleine Zellen (Mosaikflecken, räumliche und zeitliche Nischen). Im Detail heißt dies, dass Waldumbau zum einen durch Änderung der Waldbaustrategie bzw. Systeme geschieht (Abkehr vom Schlagweisen Hochwald, Aufgabe Kahlschlag und Anwendung von Schirm-, Saum- oder Femelschlagbetrieben). Zum anderen wird die Waldbautechnologie verändert durch Einsatz von Verjüngungsmaßnahmen (auf Freiflächen und / oder in Beständen) und durch Erziehungs- und Pflegemaßnahmen (Struktur- und Gruppendurchforstung). Insgesamt wird der Weg zum Dauerwald letztendlich durch die Strategie der Verknüpfung von Raum und Zeit beschrieben, welche beim System des Schlagweisen Hochwaldes stets getrennt aufzufassen war.

In einer Zusammenfassung zum Waldumbauprogramm der sächsischen Landesforstverwaltung (SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN 1999) wird der technologische Weg des Waldumbaus mit den zwei Säulen „Pflege“ und „Verjüngung“ hervorgehoben (Abb. 1).

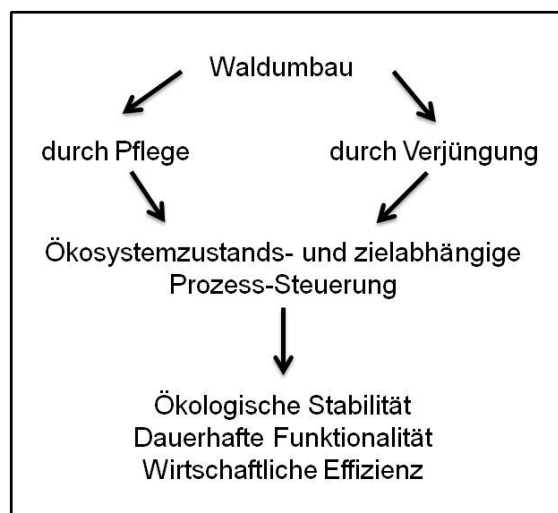


Abb. 1: Ziele und Techniken des Waldumbaus (aus: Sächsische Landesanstalt für Forsten (1999): Waldumbau auf Tieflands- und Mittelgebirgsstandorten in Sachsen)

Bei KRETSCHMER (2004) wird SCHÜTZ (1975) zitiert, der für den Waldumbau den Schwerpunkt besonders auf die Säule „Verjüngung“ legt. *„Der langfristige Erfolg von Waldumbau-maßnahmen zur Erhaltung der Diversität hängt direkt von der Verjüngung bzw. von dem Nach- und Einwuchs in die oberen Bestandesschichten ab. Dabei ist für den Erhalt dauerwaldartiger Strukturen insbesondere ein ständig fließender Strom von Ansamung, Nachwuchs und Einwuchs in den Derbholzbereich notwendig, dem somit auch bei Umbaumaßnahmen eine entscheidende Bedeutung zukommt (SCHÜTZ, 1975)“*. KRETSCHMER (2004) schreibt weiterhin: *„Nicht nur die Anzahl der Verjüngung auf der Fläche ist für den Erhalt heterogener Strukturen entscheidend, sondern vor allem deren räumliche Verteilung“*.

Letztendlich werden bei KRETSCHMER (2004) die verschiedenen Waldumbauphasen genannt, in denen sich ein Bestand beim Waldumbau-Prozess befinden kann:

1. Reinbestand,
2. Umbauphase,
3. Überführungsphase und
4. Dauerwald.

*„Die jeweilige Phase ist nach der zu dem gegenwärtigen Zeitpunkt prägenden Bestandesstruktur oder nach der dominierenden Zielsetzung einzuordnen. Der Begriff „Phase“ wurde gewählt, da es sich um einen längeren Zeitraum handelt, in dem die Bestände wiederum verschieden ausgeprägte Zustände aufweisen können“* (KRETSCHMER 2004).

Bei ROSIN (2000) werden auch Zeithorizonte genannt, die sich die verschiedenen Landesforstverwaltungen gesetzt haben, bis wann Waldumbau umzusetzen ist (S. 22). Die Spanne reicht dabei von 10 (Schleswig-Holstein) bis 100 Jahren (Mecklenburg-Vorpommern).

### 1.1.1.2 Ökologischer Waldumbau

#### Hintergrund

KRETSCHMER (2004) hat sich in ihrer Arbeit mit den Auswirkungen des ökologischen Waldumbaus befasst, ebenfalls im Rahmen der Initiative „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“. Sie schreibt einleitend, dass sich der Begriff „ökologischer Waldumbau“ schwer definieren ließe, da mit diesem *„mehrere[n] Prinzipien der Forstwirtschaft der vergangenen Jahre Rechnung getragen werden sollte, indem die Bemühungen der Forstwirtschaft, den erheblich gestiegenen Anforderungen und Bedürfnissen der Gesellschaft an den Wald, dokumentiert werden.“*

Dies kann den Ausführungen WEIDENBACHS (2001) ebenfalls entnommen werden. Er beschreibt die Veränderungen der waldbaulichen Ziele der vergangenen 200 Jahre. Daraus wird deutlich, dass die Leitidee eines ökologischen Waldumbaus vor allem durch den Wandel der gesellschaftlichen Ziele im Laufe der vergangenen Jahrzehnte entstehen konnte. So waren in den Nachkriegsjahren die forstlichen Zielvorstellungen vor allem noch auf die Erfüllung einer hohen Wertschöpfung bei der Holzproduktion gerichtet. Diese rein ökonomischen Zielvorstellungen wurden erst durch das aufkommende Naturbewusstsein der Gesellschaft in den 70er Jahren nach und nach auf alle Waldfunktionen, insbesondere der Schutz- und Erholungsfunktion „umverlagert“. In der weiteren Entwicklung machten dann *„[d]ie veränderte Ge-*

wichtung der Aufgaben und Funktionen des Waldes und die bedrohliche Entwicklung der neuartigen Waldschäden in den 80er Jahren [...] eine stärkere Berücksichtigung ökologischer Belange und walddynamischer Prozesse erforderlich und mündete im Konzept „Naturnahe Waldbewirtschaftung“.

Das Konzept der naturnahen Waldbewirtschaftung wurde schon vor über 100 Jahren entwickelt (GAYER 1886, MÖLLER 1922, DENGLER 1930, RÖHRIG et al. 2006). Im Laufe der weiteren Entwicklung der Waldbewirtschaftung kam es aber zu einer Art „Wiederentdeckung“ dieses Konzeptes.

Vereinigungen, wie z.B. die Arbeitsgemeinschaft für Naturgemäße Waldwirtschaft (ANW), griffen dieses Konzept schon in den 1950er Jahren frühzeitig als zentralen Leitgedanken für ihre Vorhaben und Ziele, eine „*naturngemäße Waldpflege*“ hin zum Dauerwald, auf (ROSIN 2000, ANW 2015).

Zusätzlich unterstützend wirkten in diesem Zusammenhang auch die zunehmend globalen Nachhaltigkeitsforderungen der „Rio-Konvention“ (1992) und der „Helsinki-Abkommen“ (1993) (LARSEN 1996, ROSIN 2000, FUJIMORI 2001, REQUARDT et al. 2004).

Unter dem Druck der Öffentlichkeit entwickelte sich zusehends ein Konkurrenzkampf zwischen „dem Naturschutz“ und „der Forstwirtschaft“ (ROSIN 2000, S. 105). Als Reaktion darauf entwickelten die Landesforstverwaltungen Waldumbauprogramme, in denen ökologische Aspekte eine immer größere Rolle spielten.

Die niedersächsische Landesforstverwaltung machte dazu einen frühen Vorstoß. Sie beschloss bereits 1991 „das niedersächsische Programm zur langfristigen *ökologischen Waldentwicklung* in den Landesforsten“ (kurz LÖWE, HARTARD und SCHRAMM 2009).

Auch BAUMGARTEN UND VON TEUFFEL (2005) sehen den ökologischen Waldumbau als eine Art Entwicklungsprozess, der von vielen Forstverwaltungen als „Leitvorstellung“ genutzt würde, um mit dem Instrument des „naturnahen Waldbaus“ die Ziele dieser Leitvorstellung zu erreichen.

Dennoch wurde gleichzeitig festgestellt: „*Wer aktiv Waldumbau betreibt, verbessert die ökologische Bilanz und rutscht ins Defizit*“ (WICKEL 1996). Die beginnende „Waldumbauwelle“ Mitte der 90er Jahre hat vielfach gezeigt, dass die initiierten Umbauprogramme durch hohe finanzielle Startinvestitionen, z.B. aufgrund von Nutzungsverzicht für die Verlängerung von Umtriebszeiten oder durch aufwendige Verjüngungsmaßnahmen, gekennzeichnet waren. Sie führten daher vielerorts zunächst zu betriebswirtschaftlichen Belastungen (BURSCHEL 1990, ARENHÖVEL 1996, HEINZEL und PETERS 2001). Daher werden bis heute neue Verfahren erprobt, die in extensiverer und effizienterer Art gleichermaßen zum Ziel eines Umbaus von

Nadelbaumreinbeständen in langfristig ökologisch wie ökonomisch stabilere Bestockungsstrukturen führen.

Die folgenden Entwicklungen lassen die Vermutung zu, dass der ökologische Waldumbau die Antwort auf das ökonomische Problem sein sollte. Für FRITZ (2006) ist der ökologische Waldumbau auch gleichzeitig ein ökonomischer Waldumbau. Hier sei nur das Problem, dass die erwarteten positiven ökonomischen Erfolge im Prozess des ökologischen Waldumbaus schwer zu erfassen seien. Die (positiven) ökologischen Erkenntnisse überwiegen dagegen, weil sie eher nachweisbar seien.

Auch HARTARD und SCHRAMM (2009) betonen, dass die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen des Umbaus sehr vielgestaltig und regional unterschiedlich zu bewerten seien. Warum Waldumbau „ökologisch“ sein kann und soll, ist nach den Ausführungen in RÖHRIG et al. (2006, S. 48) gut zu nachzuvollziehen. Hier wird das Vorwort der vor mehr als 70 Jahren erschienenen 1. Auflage „Waldbau auf ökologischer Grundlage“ zitiert: *„Erst die volle Beherrschung der ökologischen Grundlagen ermöglicht ein richtiges Verständnis der verwickelten Beziehungen im Leben des Waldes und damit auch eine wissenschaftliche Begründung aller waldbaulichen Maßregeln.“* Diese Ziele seien noch nicht erreicht und seien wohl auch unerreichbar. Daher sollte waldbauliches Handeln auf einer Kombination aus praktischer Erfahrung und ökologischen Erkenntnissen aufbauen, immer offen für neue Kenntnisse, um Waldbau auf ökologischer Grundlage zu sein. Und mit Blick auf die Erfordernisse der heutigen Gesellschaft: *„Die Ökologie eröffnet meist **mehrere** gut begründbare **Möglichkeiten** und setzt zugleich **Grenzen** für unrealistische oder unerfüllbare Forderungen, wie sie bisweilen aus ökonomischer Sicht, viel häufiger noch aus Voreingenommenheit erhoben werden. Die Würdigung der vielfältigen Waldfunktionen soll nicht den Blick auf das Ziel verstellen, einen wichtigen erneuerbaren Rohstoff mit langfristig umweltverträglichen und ökonomisch für alle Waldbesitzer verantwortbaren Verfahren zu erzeugen“* (RÖHRIG et al. 2006).

Auch THOMASIIUS (1996) führt aus, dass die *„Theoretische Grundlage solcher (Waldumbau)Maßnahmen [...] Erkenntnisse der Waldökologie sein“* (müssen).

Diese Erkenntnisse geben vor allem einer wissenschaftlichen Begleitung des ökologischen Waldumbaus eine besondere Gewichtung und sind Motivation für die entsprechenden initiierten Forschungsprogramme, und die sie begleitenden wissenschaftlichen Untersuchungen und Arbeiten.

### Definitionen und Zielsetzungen

Definitionen zum ökologischen Waldumbau finden sich überwiegend in den Publikationen von FRITZ (2006) und VON TEUFFEL et al. (2005), welche eine Synthese der Forschungsinitiative „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“ darstellen. In diesen wird **Waldumbau allgemein** „als eine durch forstliche Maßnahmen herbeigeführte Änderung der Bestockungs- und Bewirtschaftungsverhältnisse in Wäldern verstanden.“. Der **ökologische Waldumbau** wird dann wie folgt definiert: „[...] spezielle Form des Waldumbaus, der auf eine Umwandlung von heute auf der Waldfläche dominierenden naturfernen Nadelbaumforsten in naturnähere Mischwälder aus Nadel- und Laubbäumen und Laubwälder zielt. Wesentliches Element ist die Erhöhung der Naturnähe der Baumartenzusammensetzung. Der ökologische Waldumbau geht in der Regel aber auch einher mit einer Änderung der Betriebsform. Das Ziel des ökologischen Waldumbaus besteht in einer nachhaltigen Verbesserung möglichst vieler ökonomischer, ökologischer und sozialer Funktionen des Waldes.“

Bei HARTARD und SCHRAMM (2009) findet man folgende Definition: „[...] Entsprechend bedeutet ‚ökologischer Waldumbau‘ grundsätzlich den Umbau jener Wälder, die bisher von naturfernen Reinbeständen (in großen Teilen stark anfällige Nadelbaumreinbestände) dominiert sind, hin zu anpassungsfähigen, standortgerechten und damit widerstandsfähigen (Laub)Mischwäldern, in denen die ursprüngliche natürliche Baumart (in Deutschland in weiten Bereichen die Buche) dominiert.“

Für BAUMGARTEN UND VON TEUFFEL (2005) sind der Ersatz von Nadelbaumarten auf für sie ungeeigneten Standorten durch standortgerechte Baumarten und die Erhöhung des Laubholzanteils auf der Gesamtwaldfläche die Ziele des ökologischen Waldumbaus. Bei GEROLD (1996) wurde zusätzlich noch die Erfüllung der Waldfunktionen genannt: „Das Ziel des ökologischen Waldumbaus ist auf Stabilität, Elastizität, Diversität und Nischenreichtum gerichtet, und zwar harmonisiert auf ganzer Fläche und bei Wahrung der Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion.“

Diese Leitziele werden in den Waldbauprogrammen ersichtlich, welche die meisten deutschen Bundesländer in den vergangenen zwei Jahrzehnten aufgestellt haben. Bei den Programmen liegt der inhaltliche Schwerpunkt stark auf ökologischen Belangen und der Ausnutzung von walddynamischen Prozessen, der sogenannten „biologischen Automation“ oder biologische Rationalisierung als Instrument (ROSIN 2000, BRANG 2004).



Die meisten Konzepte benutzen dabei häufig Begriffe wie „naturnah“, „naturgemäß“ und „ökogerecht“ und seltener den Begriff des ökologischen Wald(um)baus (BAUMGARTEN UND VON TEUFFEL 2005; KRETSCHMER 2004). Das Ziel ist hier aber nicht die „*Wiederherstellung eines Urwaldes*“, sondern das Ausnutzen natürlicher bzw. naturnaher Prozesse bei der Waldbewirtschaftung (BAUMGARTEN und VON TEUFFEL 2005, FRITZ 2006, S. 266). Der Mensch und seine veränderliche Nutzung der Ressource Wald stehen dabei weiterhin im Vordergrund. Der Waldbau kann als Ökosystemmanagement verstanden werden (ERLBECK et al. 2002).

BAUMGARTEN und VON TEUFFEL (2005) nennt weiterführend noch operationale Maßnahmen des ökologischen Waldumbaus und verbindet diese mit den Begriffen „Umbau“ und „Überführung“. Der „Umbau“ sei eine aktive Einbringung von Mischbaumarten in Reinbeständen „*durch Vorbau oder Förderung der Naturverjüngung*“. „Überführung“ meine einen allmählichen Wandel von Altersklassenwäldern zu strukturierten Dauerwäldern durch Pflegeeingriffe.

Kretschmer (2004) resümiert: „*Allen Definitionen ist gemeinsam, dass sie ein multifunktionales Waldbaukonzept beschreiben, das sich sowohl an natürlichen Abläufen orientiert, um ein hohes Maß an Naturnähe und Nachhaltigkeit zu erreichen, als auch einen ökonomischen Nutzen langfristig und vollständig wahren will. Dieses Verständnis von Ausnutzen natürlicher Abläufe zur Verwirklichung ökonomischer Zielsetzungen soll in dem Ausdruck ökologischer Waldumbau durch den Begriff „ökologisch“ deutlich gemacht werden.*“ [...] „*Der ökologische Waldumbau ist somit ein wesentlicher Beitrag für eine multifunktionale Waldwirtschaft auf der selben Fläche, da er durch Ausnutzung natürlicher Abläufe und Selbststeuerungsmechanismen sowohl einer ökologischen Waldbewirtschaftung, den daran gebundenen Schutz- und Erholungsfunktionen Rechnung trägt, als auch gleichzeitig sich durch Aufwandsminimierungen positiv auf die Nutzfunktionen auswirkt.*“

Situation heute, Kritik zum (ökologischen) Waldumbau und Ausblick

Nach WAGNER (2007) ist heutzutage „unter dem Eindruck angespannter Haushalte die „Um-  
baueuphorie“ spürbar geringer geworden“. Waldumbaumaßnahmen sind zunächst mit hohen  
Kosten verbunden, welche in der Zeitspanne der Überführung bzw. des Umbaus zunächst zu  
Einbußen des Forstbetriebes führen (HANEWINKEL 2005). Dennoch erscheint es, dass die  
Landesforstverwaltungen trotz der zunächst existierenden ökonomischen Nachteile an den  
Waldumbauprogrammen festhalten. Die jeweiligen Programme sind aktuell sogar in vielen  
Ländern auch politisch verankert. So wird Waldumbau in vielen Koalitionserklärungen der  
Länder als ein voranzutreibendes Ziel erwähnt (Sachsen: CHRISTLICH DEMOKRATISCHEN UNI-  
ON DEUTSCHLANDS - LANDESVERBAND SACHSEN; FREIE DEMOKRATISCHE PARTEI - LANDES-  
VERBAND SACHSEN 2009; Niedersachsen: SPD; BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 2013; Thüringen:  
DIE LINKE; SPD; BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 2014).

In der „Waldstrategie 2050-Sachsen“ (2013) des Freistaates Sachsen ist festgelegt, den Waldum-  
bau auf kritischen Standorten bis zum Jahr 2050 abzuschließen. Allgemein soll in einem kon-  
tinuierlichen Waldumbauprozess 1.300 bis 1.500 ha jährlich umgebaut werden.

Die Einwirkungen des prognostizierten Klimawandels auf den Wald stellen für die Forstwirt-  
schaft einen zunehmenden Unsicherheitsfaktor dar (BROSINGER und TRETTER 2007, WAGNER  
und FISCHER 2007, WAGNER 2007 und 2008). Dies ist vor allem bei der Behandlung von  
Fichtenbeständen von Bedeutung, welche „außerhalb ihres durch das Klima vorgegebenen  
Areal eine tragende Rolle bekommen“ haben (KÖLLING und AMMER 2006). Die Bedeutung  
und Notwendigkeit des Waldumbaus wird vor diesem Hintergrund deutlich. Insbesondere der  
ökologische Waldumbau gilt hier als Anpassungsstrategie, um auf diese Unsicherheiten rea-  
gieren zu können. (HARTARD und SCHRAMM 2009).

Aktuell existieren aber auch kritische Stimmen zum Thema Waldumbau. Die Ziele des Wald-  
umbaus führten zur Abnahme des Nadelbaumanteils und dies führe nachweislich auch zur  
Abnahme der Rentabilität der Betriebe (BAUMGARTEN et al. 2003, VON TEUFFEL et al. 2005,  
HARTARD und SCHRAMM 2009). Folglich kritisiert die DEUTSCHE SÄGE- UND HOLZINDUSTRIE  
(2010): „Der Waldumbau gefährdet die künftige Nadelholzversorgung“. Nadelbäume wie  
Fichte und Kiefer seien je nach Region der „Brotbaum“. Es wird deutlich, dass der ökologi-  
sche Waldumbau „im [...] Spannungsfeld zwischen Forstkultur und Waldnatur“ steht (FRITZ  
2006).

Insgesamt ist festzuhalten, dass Waldumbau immer als ein Programm oder eine Kampagne aufgefasst werden kann. Diese Programme oder Kampagnen werden sich je nach den gesellschaftlichen Erfordernissen stets im Wandel befinden, nicht endgültig zu definieren sein und eine fortwährende Generationenaufgabe bilden (ARENHÖVEL 1996). THOMASIU (1996) spricht in diesem Zusammenhang von einem „Jahrhundertprogramm“.

Dabei muss der Blick nicht nur auf die Ökonomie, sondern hinsichtlich des Klimawandels vor allem in die Zukunft gerichtet werden. Dabei muss ein gesellschaftlicher Dialog, welcher die Politik, Öffentlichkeit und Wirtschaft gleichermaßen einbindet, entwickelt und gefördert werden (FRITZ 2006). Der Forschungsbedarf „auf dem Gebiet des ökologischen, klimawandel-tauglichen Waldumbaus“ sei weiterhin groß, um „aktuelle und zukünftige Waldumbau-Maßnahmen [...] als zwingendes Handlungskonzept zur Risikominimierung/-vorsorge im Hinblick auf den fortschreitenden Klimawandel“ anzusehen (HARTARD und SCHRAMM 2009).

### 1.1.1.3 Eingliederung des Vorhabens in das Verbundprojekt „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“

Innerhalb des BMBF-Projektes war die Arbeit im Projektverbund Sachsen, und dort als Teilprojekt „Mischbaumarten in Jungbeständen“ thematisch in der Gruppe III „Umbauverfahren und waldbauliche Bewertung“ eingegliedert. Der sächsische Verbund hatte das Forschungsprogramm „Nachhaltigere Verfahren und ökologische Prozesse eines Umbaus von Fichten- und Kiefernreinbeständen zu naturnahen Mischwäldern“ in den Regionen „Sächsisches Tiefland“ und „Mittleres Erzgebirge“ zum Schwerpunkt. Träger des Verbundes waren die Technische Universität Dresden, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Fachrichtung Forstwissenschaften und die damalige Landesanstalt für Forsten (LAF) in Graupa<sup>1</sup>. Die Projektgruppe III hat sich mit folgenden Schwerpunkten befasst (FÜRST et al. 2004):

- Entwicklung von Waldumbauverfahren unter Einbeziehung der Bestandessukzession und Naturverjüngung in Kiefernreinbeständen (EISENHAUER et al. 2004)
- Waldumbau von Fichtenbeständen in Lücken, natürliche und künstliche Lückendynamik (MÜLLER und WAGNER 2003, BATHEN und IRRGANG 2004, MÜLLER und WAGNER 2004)
- Zoochore Verbreitungsmechanismen für Laubbaumarten (TIEDE UND HERZOG 2004),

---

<sup>1</sup> heute Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft des Staatsbetriebs Sachsenforst

- Wachstumsreaktionen natürlich angesamter und einzeln eingemischter Weichlaub-bäume in Nadelbaumreinbeständen (GOCKEL und WAGNER 2004)
- Waldbauliche Bewertung der Umbauverfahren (HEINZEL und PETERS 2001)

## 1.1.2 Stand des Wissens

### 1.1.2.1 Potentialerfassung von Mischbaumarten in jungen Fichtenreinbeständen

Eine großräumige Erfassung und Analyse von Mischungsanteilen und seltenen Baumarten in Beständen kann mit Hilfe von Fernerkundungsdaten und Waldinventurdatenbanken ermöglicht werden. Als Fernerkundungsdaten stehen im Allgemeinen Informationen aus Luft- und Satellitenbildern zur Verfügung. Die Datenbanken enthalten in der Regel Informationen aus terrestrischen Waldinventuren, welche flächig oder stichprobenartig durchgeführt wurden.

#### Forstliche Inventurverfahren

Die Durchführung einer periodischen Waldinventur zur mittel- und langfristigen Betriebsplanung, die sogenannte Forsteinrichtung, ist für Forstbetriebe ab einer gewissen Größe in den Waldgesetzen der Länder vorgeschrieben und geregelt (SPEIDEL 1972, KRAMER 1988). Die Forsteinrichtung wird in der Regel alle 10 Jahre durchgeführt, dabei werden die Inventur- und Planungsdaten bei terrestrischen Inventuren gewonnen. Die Durchführung kann flächig und bestandesweise, oder stichprobenartig durchgeführt werden (BITTER 2001). Unterstützend werden für die Inventuren Fernerkundungsdaten herangezogen, z.B. zur Erstellung von Arbeitskarten (SPEIDEL 1972, HILDEBRANDT 1996, KOCH 2011).

#### Inventurdatenbanken und deren Nutzung zur Erfassung von Mischbaumarten

Die Daten aus Forsteinrichtungsinventuren münden überwiegend in zentrale Forsteinrichtungsdatenbanken der Forstverwaltungen auf Landesebene. Die Bundesländer nutzen teilweise unterschiedliche Datenbanksysteme (MOOSMAYER und GILSA 2004, FALTL et al. 2010, NOWACK 2012). Der Freistaat Sachsen hat z.B. seit 1992 das Forsteinrichtungssystem Sachsen (FESA) aufgebaut (BRAUN et al. 2000, LOHR und STEIGER 2000).

Auf dem Gebiet der DDR wurde seit 1970 der Datenspeicher Waldfonds (DSWF) als zentrale Datenbank geführt. Dies war ein einheitliches Verfahren, welches bis 1993 fortgeschrieben wurde (BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR FORST- UND HOLZWIRTSCHAFT 1994). Danach hat

z.B. für Sachsen das FESA-System die Daten aus dem DSWF übernommen bzw. konvertiert und fortgeschrieben (BRAUN et al. 2000). Mit der Einführung eines neuen Forsteinrichtungsverfahrens ab 1992 wurden die Mischbaumarten wieder detaillierter erfasst als es das alte Verfahren („Anweisungen zur Forsteinrichtung des Waldfonds der DDR (BRA V/1978)“) praktiziert hat. Im Ergebnis weist dann auch die neue Forsteinrichtung des gesamten öffentlichen Waldes in Sachsen mehr Laubbaumanteile als die fortgeschriebene Walddatenbank (DSWF) aus (BRAUN et al. 2000).

FESA beinhaltet Module der Forsteinrichtung und typische Funktionalitäten eines Datenbankverwaltungssystems. Ein wichtiges Tool für Analysen und Potentialbestimmungen von Baumarten ist dabei die SQL-Abfrage und der Ergebnis-Export aus der Datenbank (LOHR und STEIGER 2000).

Die Forstverwaltungen anderer Länder haben in der Regel ähnliche Forsteinrichtungssysteme (MOOSMAYER und GILSA 2004, FALTL et al. 2010, NOWACK 2012). In den letzten Jahren wurden diese Systeme zusätzlich noch mit GIS-Anwendungen verbunden (JOHANN et al. 2012).

#### *Vor- und Nachteile von terrestrischen Inventuren hinsichtlich der Baumartenerfassung*

Die flächigen terrestrischen Inventuren haben den Vorteil, dass alle Waldorte der zu inventarisierenden Fläche erfasst werden. Somit kann man immer Rückschlüsse auf die Einzelflächen ziehen. Von Nachteil ist, dass einige Bestandesparameter geschätzt werden müssen und somit bei Analysen ein Stichprobenfehler nicht ausgewiesen werden kann. Weiterhin kann die Aktualität der Daten unterschiedlich sein, wenn verschiedene Forsteinrichtungs-Stichtage zur Geltung kommen (ONTRUP 2008).

In den verschiedenen Forsteinrichtungsanweisungen der Länder ist die Erfassung der Misch- bzw. Nebenbaumarten durch eine „Prozent-Hürde“ klar geregelt. Für Sachsen ist z.B. ein Mindestmischungsanteil von 5 % gefordert, damit eine Baumart in die Bestandesdaten aufgenommen werden (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN 1995). In Sachsen kann auch eine Mindestfläche von 0,1 ha reichen, wenn das Kriterium „wertvolle Baumart“ zutrifft. Die Forsteinrichtungsanweisung von Thüringen setzt sogar eine höhere Grenze von 10 %, wenn die Baumart als „bestandprägend“ aufgenommen werden soll. Das Flächenkriterium von mind. 0,1 ha ist der sächsischen Anweisung gleichgestellt. Das Kriterium „wertvolle Baumart“ ist dabei aber nicht vorgegeben (Thüringer Forsteinrichtungsanweisung, TMLFUN 2010). Oftmals ist es dem Forsteinrichter dann über-

lassen, ob er die seltene Baumart im Textteil der Bestandesbeschreibung erwähnt. Dies kann zu einem gewissen Maß auch ausgewertet werden.

Stichprobeninventuren erfassen dagegen alle in einem bestimmten Radius befindlichen Bäume. Alle vorgegebenen Parameter werden gemessen, so dass bei den anschließenden Analysen ein Stichprobenfehler berechnet werden kann (ONTRUP 2008). Je nach Inventurziel können noch andere Parameter auf Stichprobenbasis erfasst werden, wie z.B. Verjüngungspotentiale, Verbiss und vor allem ein flächenbezogener Zuwachs (FUCHS 1993, NATIONALPARK HAINICH 2008). Daten aus permanenten Stichprobeninventuren können z.B. auch für die Bestimmung von Diversitätsindizes zur Erfassung von Artenvielfalten genutzt werden (MOSHAMMER 2005).

Auch die Daten der Bundeswaldinventur werden bei terrestrischen Inventuren an permanenten Stichprobenpunkten alle 10 Jahre aufgenommen und münden in eine Datenbank, die am von Thünen-Institut in Eberswalde verwaltet wird. Auch hier können die Potentiale von Mischbaumarten ausgewertet werden. Je seltener aber eine Baumart innerhalb der untersuchten Bestände vorkommt, desto höher können bei der Auswertung die statistischen Unsicherheiten ausfallen (BMEL 2014).

Die Waldinventuren anderer Länder werden in TOMPPPO et al. (2010) und OLSTHOORN et al. (1999) zusammenfassend dargestellt.

#### *Vor- und Nachteile Fernerkundungsdaten zur Baumartenerkennung*

Die Luftbilddauswertung ist für forstliche Planungen, Waldinventuren und Biotopkartierungen auf betrieblicher Ebene eine grundlegende Standardmethode zur Erfassung von Altersklassen und Baumartenzusammensetzungen (AFL 1999, KOCH et al. 2001). Zudem kommt ihnen für die (forstliche, Einschub Verfass.) Raumplanung noch eine entscheidende Rolle zu (SCHMIDTKE et al. 2000). In den Anfängen der forstlichen Luftbilddauswertung war die Qualität des verfügbaren Luftbildmaterials oftmals noch problematisch (FRANKEN und HOFFMANN 2010). Die gängigen Luftbildformate waren analoge Schwarzweiß-, Farb- oder Schwarzweiß-Infrarotluftbilder (AFL 2012). Aus den Schwarzweiß-, Schwarzweiß-Infrarot und Farbbildern konnten Baumaltersklassen erkannt werden, aber für eine Baumartenerkennung ist das nahe Infrarot des CIR-Bild entscheidend (HILDEBRANDT 1996, AFL 1999, BECK G. 2010).

Der Arbeitskreis der Forstlichen Luftbildinterpreten hat Ende der 90er Jahre zur einheitlichen Auswertung und Analyse von CIR-Luftbildern zwei Luftbildinterpretationsschlüssel entworfen (AFL 1998 und 1999). Mit dem Interpretationsschlüssel II (AFL 1999) wurde versucht die Altersklassen von Beständen anhand baumartenspezifischer Merkmale (Form und Struktur des Einzelbaumes und des Bestandes, Schattenwurf und Farbe) anzusprechen. Die verwendeten Luftbilder mussten dabei den Anforderungen der VDI-Richtlinie 3793 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993) genügen, dies waren aufgrund der guten Farbdifferenzierung CIR-Luftbilder im Maßstab 1: 10 000, aufgenommen mit einem Colorinfrarotfilm (Kodak Aerochrome 2443). Im Ergebnis konnten aber in den Altersklassen Dichtung und Stangenholz die Einzelbaumstrukturen von Laubhölzern i.d.R. nicht erkannt werden. Mit Laubhölzern waren Buche und Eiche im Reinbestand gemeint, wobei die Eiche ab dem Stangenholzstadium etwas besser zu erkennen gewesen sei. Auch SCHNOKLAKE und AKÇA (1998) untersuchten die Möglichkeiten und Grenzen der Luftbildauswertung mit CIR-Bilder im Maßstab 1:10 000 und resümierten, dass eine Baumartenerkennung erst in älteren Beständen relativ sicher gelang. Über alle betrachteten Altersklassen konnten in 62 % der untersuchten Bestände die Hauptbaumart richtig erkannt werden.

In der weiteren Entwicklung und Nutzung von Fernerkundungsdaten kamen später vermehrt digitalisierte Luftbilder und Orthophotos zum Einsatz, welche sich relativ problemlos in Geoinformationssysteme (GIS) einbinden ließen und mit rechnergestützten Verfahren ausgewertet werden konnten (EILERMANN 2002). Die Baumartenerkennung blieb allerdings nur begrenzt möglich und vor allem unterständige Baumarten waren nicht zu erkennen (SCHMIDTKE et al. 2000, KOCH et al. 2001).

Die Analyse von Luftbilddaten hat dann in den vergangenen 10 Jahren durch die Wandlung von der analogen zur digitalen Foto- bzw. Aufnahmetechnik an vielfältigen Möglichkeiten gewonnen. Die Ausrüstungstechnik (neue Bildsensoren), sowie die Aufnahme- und Auswertungsmethoden haben eine enorme Entwicklung erfahren, so dass die Informationsdichte des Bildmaterials stark zunehmen konnte (AFL 2012). Gleichzeitig stiegen noch die Möglichkeiten der Nutzung von optischen Satelliten und Radarsatelliten, dessen Informationen und Daten im Laufe der Jahre auch eine immer bessere räumliche Auflösung bieten (KOCH und FRITZ 1998). Der Einsatz von Airborne-Laserdaten ist eine relativ neue Methode, welche die Generierung von 3D-Daten und so die Erfassung von Waldstrukturen ermöglicht (REITBERGER 2010, WEICHELT und KLEINSCHMIDT 2010, KOCH 2011). Die Fehlerquote der Baumart-

tenerkennung sei hier nah an der terrestrischer Inventur, allerdings bleiben die Nebenbaumartenenerkennung und die Schichtung in den Beständen bei der Analyse der Daten weiterhin ein Problem (HOFFMANN 2008, zit. in KOCH 2011).

Auch die Möglichkeiten der Nutzung von Satellitendaten erweitern sich stetig. Durch die Freigaben von neuen Spektralkanälen ergeben sich z.B. auch für die Baumartenklassifikation aus Satellitenbildern neue methodische Wege für die Fernerkundung (IMMITZER et al. 2012).

Zur Entwicklung „praxisreifer Methoden“ und „praxisorientierter Forschung auf dem Fernerkundungssektor“ schloss sich kürzlich die Arbeitsgruppe Forstliche Fernerkunder der Länder (AFFEL, ACKERMANN et al. 2014) zusammen. Erwähnenswert bleibt weiterhin, dass die Baumartenenerkennung ein weiterer Arbeitsschwerpunkt des Zusammenschlusses bleibt.

### 1.1.2.2 Die Baumart Vogelbeere und ihre waldbaulichen Eigenschaften

#### Waldgeschichte

Die Vogelbeere (Gemeine Eberesche, *Sorbus aucuparia* L.) ist aufgrund ihrer hohen klimatischen und standörtlichen Anpassungsfähigkeit in den Mittelgebirgslagen Europas eine der häufigsten Nebenbaumarten in Fichtenwaldgesellschaften und künstlichen Fichtenforsten (PRIEN 1964, PRIEN und LEMME 1997, HILLEBRAND 1998, ZERBE 2001). Speziell im herzynischen Fichten-Bergwald (*Piceetum hercynicum*) wird ihr die eigene Assoziation *Sorbo-Piceetum* zugeschrieben (SCHMIDT 1995, TÜRK 1997). In montanen und tieferen Lagen der Karpaten existiert auch die Reliktgesellschaft der Karpatenbirken-Ebereschen-Blockwälder (*Betulo carpaticae-Sorbetum*) ohne natürliche Fichtenbeteiligung. Diese Gesellschaft besiedelt Standorte, welche für andere Baumarten nicht besiedelbar sind, wie Blockmeere und Felsklippen. Die Verbreitung der Vogelbeere wird vor allem durch Schadereignisse wie Windbruch, Kalamitäten und Immissionsschäden begünstigt, dies sowohl auf Freiflächen als auch innerhalb von Fichtenbeständen, wenn diese sich in der Regenerationsphase befinden (KOCH 1997, TÜRK 1997, JONÁŠOVÁ und PRACH 2004, KEIDEL et al. 2008, ŻYWIEC und LEDWOŃ 2008).

Die erd- bzw. waldgeschichtlichen Nachweise der Baumart Vogelbeere reichen ca. 6.500 Jahre vor unserer Zeitrechnung zurück. Bei PRIEN (1964) wird FIRBAS (1949 und 1952) zitiert, der ein Auftreten von *Sorbus aucuparia* in der Späteiszeit beschreibt. Bei RASPÉ et al. (2000) wird über Untersuchungen von BOYD und DICKSON (1987) und FOSSITT (1996) berichtet,



welche Vogelbeerenpollen in Moor- und Seesedimentablagerungen Schottlands gefunden haben. Weiterhin wird REGNELL et al. (1995) in RASPÉ et al. (2000) zitiert, der eine menschliche Nutzung der Vogelbeere in Südschweden in der ersten Siedlungsphase dokumentiert hat.

Nach BLANCKMEISTER und HENGST (1971) wurde die Vogelbeere in Waldbeschreibungen aus dem 16. Jahrhundert im Gegensatz zur Birke, Erle, Salweide und Hasel nicht erwähnt. Nach PRIEN (1964) könnten die damaligen Waldhutungen der Grund dafür sein, dass die Vogelbeere zu dieser Zeit eine fortwährende Verdämmung durch stetigen Verbiss erfuhr.

Die Vogelbeere wird, auch wenn ihre Holzdichte nach dem LEXIKON DER HOLZTECHNIK (KURT et al. 1990) über die definierte Rohdichte von Weichlaubebäumen von  $0,55\text{g/cm}^3$  liegt, zur selben Kategorie gezählt. Allgemein zeichnen sich Weichlaubebäume durch höhere Lichtansprüche, rasch nachlassende Wachstumsraten und eine kürzere Lebensspanne aus (LEDER 1995).

Man findet die Vogelbeere in vorwaldartigen Strukturen, aber auch als stetige Schlusswaldbaumart in bodensauren, montanen und hochmontanen Waldgesellschaften (ROLOFF et al. 2010), hier vor allem in Mischbestockungen mit Fichte, aber konzentriert an Bestandesrändern und Waldsäumen (MYKING et al. 2013). Die Mischungsform reicht dabei von einzelbaumweise bis flächenhaft. Als Pionierbaumart wird sie aber als „Spätansiedlerin“ bezeichnet, da sich die Vogelbeere innerhalb der Primärsukzessionen eher langsam einfindet (LEDER 1992, ROLOFF et al. 2010). DRAPIER (1993, zit. in ROLOFF et al. 2010) nennt sie daher auch „nomadische Postpionier-Baumart“.

In dieser Arbeit werden die Formulierungen Einmischung und Beimischung im Sinne einer einzelbaumweisen Mischungsform gemäß der Definition der Forsteinrichtung benutzt.

Die Vogelbeere besitzt vielfältige Verbreitungs- und Verjüngungsstrategien. Sie verjüngt sich z.B. natürlich in Form von Aufschlag oder durch vegetative Vermehrung als Stockausschlag, oder Wurzelbrut (Adventivwurzeln). Die zoochore Verbreitung verhilft ihr zu einer relativ großräumigen Verbreitung, aber auch die Wurzelbrut ist eine Art Verbreitungsstrategie, welche ihr eine räumliche Ausbreitung von bis zu 5m Entfernung ermöglicht (KULLMANN 1986; zit. in ZERBE 2001). Die zoochore Verbreitung, vor allem durch Vögel, und die relativ hohe

Anzahl Samen je Frucht von durchschnittlich 5 Stück (eigene Beobachtungen<sup>2</sup>, bis zu 8 Stück) möglich (RASPÉ et al. 2000) fördert zudem das geklumpfte Vorkommen der Einzelbäume auf kleiner Fläche (FRANKHAUSER 1910, zit. in PRIEN 1964; MYKING et al. 2013, RASPÉ et al. 2000). ZERBE (2001) hat in seinen Untersuchungen festgestellt, dass die Vogelbeere innerhalb der Fichtenbestände vorwiegend aus Samen (Kernwuchs) entsteht. Die Vermehrung auf der Freifläche geschieht zusätzlich aus klonalem Wachstum (Stockausschläge und Wurzelbrut). In extremen Lagen (Hochlagen) vermehrt sie sich eher vegetativ, da unter den entsprechenden Gegebenheiten wenig vitale Samen gebildet werden (RASPÉ et al. 2000).

Die Vogelbeere kann im Freiland relativ früh mit 4-5 Jahre fruktifizieren und dies dann in der Regel jährlich (R-Strategie, BEGON et al. 1998), wobei die Keimung generell erst im zweiten Frühjahr nach der Fruchtreife erfolgt (PRIEN 1964, RASPÉ et al. 2000, Zerbe 2000, ROLOFF et al. 2010). HILL (1979, zit. in RASPÉ et al. 2000) vermutet eine mehrjährige Überlebensfähigkeit der Samen im Boden. ERLBECK (1998) nennt einen möglichen Zeitraum von bis zu 5 Jahren und ROLOFF et al. (2010) führen sogar bis zu 8 Jahren an, wenn das Saatgut luftdicht zw. 1°C und 3°C gelagert wird.

Bezüglich des Standorts und der Bodenverhältnisse ist die Vogelbeere eine anspruchslose Baumart. Sie bevorzugt aber saure (pH-Bereich 3,0 bis 4,9), lockere und humose Böden in humider Lage, Kalk dagegen meidet sie. In trocken-warmen Gebieten fehlt sie in der Regel (ZERBE 1993). Nach PRIEN (1964) hat sie ihr Wuchsoptimum innerhalb der Mittelgebirge Deutschlands und der Tschechischen Republik und zeige da beste Wüchsigkeit an den frischen Nord- und Nordosthängen.

Die Vogelbeere ist für das Wachstum auf Extremstandorten, vor allem in den Hochlagen, gut ausgerüstet. Sie ist tolerant gegenüber Wurzelaustrocknung und ihre Wurzeln und Knospen besitzen zudem eine gewisse Frosthärte (PRIEN und LEMME 1997, RASPÉ et al. 2000). Die Zweige enthalten unter der Rinde Chlorophyll. Dies ermöglicht Assimilationsvorgänge schon vor dem Blattaustrieb (ERLBECK 1998). Daher kommt sie insgesamt gut mit kurzen Vegetationszeiten zurecht. Aufgrund ihrer geringen Baumhöhe (max. 20 bis 25 m) und ihrer winddurchlässigen Kronenmorphologie ist sie resistent gegen Sturm-, Schneebruch und Eisanhang (PRIEN und LEMME 1997). Die Wurzelmorphologie trägt auch zu diesen Eigenschaften bei und soll im Folgenden auch noch näher beschrieben werden. Aufgrund ihrer ektotrophen My-

---

<sup>2</sup> Auszählung von Saatgut aus dem Thüringer Wald (Hochlagenherkunft) im Herbst 2014

korrhiza ist sie weiterhin ein guter Rohhumuskeimer (DÜLL 1959, NAMVAR und SPETHMANN 1985). Die Fähigkeit Mykorrhiza auszubilden verhilft ihr auf anmoorigen Standorten Fuß zu fassen (DÜLL 1959, PRIEN 1964, NAMVAR und SPETHMANN 1985). Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, dass sie z.B. in den Karpaten die Reliktgesellschaft Karpatenbirken-Ebereschen-Blockwälder (*Betulo carpaticae-Sorbetum*) ohne eine natürliche Fichtenbeteiligung ausbildet. Diese Reliktgesellschaft befindet sich auf Standorten, die für andere Baumarten nicht besiedelbar sind, wie z.B. Blockmeere und Feldklippen (sowohl in montanen und tieferen Lagen) (TÜRK 1997). NAMVAR und SPETHMANN (1985) betonen dagegen, dass sie keine Rohböden und Alluvionen besiedelt. Sie bedürfe eines gewissen Humusgehaltes. KUTZELNIGG (1994) beschreibt sogar ein Vorkommen als Epiphyt auf alten Kopfweiden.

Der Vogelbeere wird häufig eine bodenverbessernde Wirkung nachgesagt und dies vor allem in Fichtenbeständen. In SCHMIDT-VOGT (1991) wird sie in diesem Zusammenhang als Hilfsbaumart bezeichnet, da sie zur Bodenmelioration (in Fichtenbeständen) beitragen würde. Ihre gute Wurzelaktivität produziert eine Bodenlockerung, dies führt zu einer nachhaltigen Bodenverbesserung.

Zum einen wirkt die Vogelbeere rohhumuszersetzend (PRIEN 1964 und 1995, ROLOFF 2010). PRIEN (1964) fand unter Vogelbeerengruppen vermehrt die Humusform Moder bis rohhumusartiger Moder im Vergleich zum umliegenden Fichtenbestand mit Rohhumusaufgabe. Auch die Vegetation unter den Vogelbeergruppen zeige ein anderes Bild. Dies sei überwiegend auch darauf zurückzuführen, dass die Vogelbeere aufgrund ihrer Kronenstruktur mehr Licht und Niederschlag (ohne, dass vergleichende Messungen genannt werden können) auf den Waldboden durchlasse (PRIEN 1964). Eine andere Vegetation, die bezüglich des Standorts bessere Verhältnisse anzeigt, stellten auch ZERBE und MEIWES (2000) unter Vogelbeervorwäldern fest. Sie machen ebenfalls dafür den höheren Lichtgenuss und eine höhere Nitrifizierungsrate verantwortlich. Ähnliche Erfahrungen machte MÜLLER (1998) in Fichtenjungwüchsen mit Vogelbeereinmischungen.

Zum anderen haben ihre Blätter ein gutes C/N-Verhältnis (LEDER 1992, HILLEBRAND 1998). In diesem Zusammenhang wird dann gern der Begriff der „Basenpumpe“ zur Umschreibung der bodenverbessernden Eigenschaften genannt (KOCH 1997). Sicherlich ist bezüglich des Streuumsatzes die bodenverbessernde Wirkung relativ zu sehen, denn dies ist auch von der Mischungsintensität der entsprechenden Baumart abhängig (WAGNER 2007).

Die Durchwurzelung ist für eine bodenverbessernde Wirkung nicht so entscheidend, da sie jeweils sehr standortsangepasst ist. Die Vogelbeere kann je nach Bodenbeschaffenheit eine Pfahlwurzel auszubilden (PRIEN 1964) und ermöglicht dadurch einen guten Bodenaufschluss (KUTSCHERA und LICHTENEGGER 2002). Ein von PRIEN (1964) durchgeführtes Abgrabungs-experiment zeigte, dass sie dabei eine Bodentiefe von bis zu 3 m erreicht. Je nach Standort, z.B. bei Flachgründigkeit, bildet sie aber auch eine flach streichende Wurzel aus (NAMVAR und SPETHMANN 1985, MAUER und PALÁTOVÁ 2002). Im Vergleich zur Fichte besitzt sie aber eine bessere Zwischenraum- und Tiefendurchwurzelung und ist damit z.B. sturmresistenter. Die Fichte erobert eher den Oberboden und den Humus. Eine direkte Wurzelkonkurrenz mit Fichte ist daher kaum gegeben (PRIEN 1964).

Die Vogelbeere ist eine wichtige Futterpflanze für Tiere. Nachgewiesen wurde dies bislang für 31 Säugetier- und 72 Insektenarten, darunter 41 Kleinschmetterlinge und zwölf Rüsselkäfer (LEDER 1992, SCHMIDT 1998). So ist z.B. die Entwicklung der geschützten Schmetterlingsarten Kupferglucke (*Gastropacha quercifolia*) und Baumweißling (*Aporia crataegi*) an die Vogelbeere gebunden (WEIDEMANN 1986 und 1988, zit. in LEDER 1992). Insgesamt wurden 63 Vogelarten (TURCEK 1961) und 20 Säugetierarten als Nutzer der Früchte festgestellt. Nach RASPÉ et al. (2000) können fast alle fruchtfressenden Tiere Vogelbeeren aufnehmen, bis hin zur Vogelart Grasmücke. Die Bedeutung der Vogelbeere für den Artenschutz wird häufig hervorgehoben (EBERT 1973, SCHMIDT 1981, LEDER 1992).

Nicht unerwähnt bleiben soll, wenn auch eher für den skandinavischen Raum bedeutend, dass sie eine gute Substratgrundlage für Flechten darstellt (HILMO et al. 2011, zit. in MYKING et al. 2013).

### Historische Verwendung der Vogelbeere

Ende des 18. Jahrhunderts gibt es Erwähnungen zur Verwendung der Vogelbeere als Alleebaum (CRAMER 1798, in LEDER 1992) oder als Proßholz für das Wild (BURGSDORF 1795, zit. in LEDER 1992). Eine Verwendung als Vorwaldbaumart und die sich daraus ergebenden Vorteile werden erst ab Anfang des 20. Jahrhunderts beschrieben (u.a. HEMMANN 1904, in LEDER 1992, SCHREIBER et al. 1996).

Aus den 1930er Jahren berichtet SPLETTSTÖBER (1936) über die mögliche Verwendung von Vogelbeerenholz. Ein Selbstversuch mit einer Sperrholzfirma ergab eine sehr gute Verwendung für die Sperrholzproduktion, welche die Eigenschaften der Baumart Buche für dieses Produktionsziel in vielerlei Hinsicht noch übertreffen würde. Im weiteren Zusammenhang betont SPLETTSTÖBER (1936) auch die waldbaulichen Vorzüge und die ökologische Bedeutung

der Vogelbeere für die Landschaftspflege und fordert, „..., daß dem rücksichtslosen Aushieb dieses schönen Baumes Einhalt geboten wird“.

Ein schwerpunktmäßiger Anbau der Vogelbeere erfolgte nach dem zweiten Weltkrieg auf den Kahlschlägen der Reparationshiebe im Thüringer Wald. Hier wurde sogar aufgrund Mangels an geeignetem Pflanzenmaterial die Begründung neuer Bestände durch Saat von Vorwäldern mit Birken- und Vogelbeeren angeordnet (4000ha mit Birke und Eberesche) (PRIEN 1964, PRIEN 1967, SCHREIBER et al. 1996). HEGER (1949) propagiert zur Begründung von Mischwäldern auf den Großkahlfächen die Pflanzung unter Vorwäldern. Unter den wichtigsten „Pionier- und Vorwaldholzarten“ nennt er auch die Vogelbeere. In den Hochlagen (*Picetum*) und mittleren Lagen des „herzynischen Bergwaldes“ kommt der Vogelbeere eine besondere Bedeutung zu. HEGER (1949) empfiehlt den Anbau aller Hauptbaumarten (Tanne, Fichte, Buche und Edellaubarten) unter einem Vorwaldschirm, in den Hochlagen vor allem die Fichte.

Erste waldbauliche Ansätze für die Vogelbeere als Baumart, die am Oberstand der Fichte teilhaben kann, geben PRIEN (1964) und NEUPERT (1965). Dabei werden u.a. Wachstumsgänge der Vogelbeere in Fichtenbeständen verglichen. Dennoch liegt auch hier der Schwerpunkt auf der Pflege der Vogelbeere als Vorwaldbaumart (PRIEN 1967). PRIEN (1964) empfiehlt noch den Anbau als Alleebaum entlang von Straßen und Waldwegen, um eine Verbreitung als Vorwaldbaumart in den relevanten Gebieten auf Kahlfächen zu begünstigen. Dies kann hinsichtlich eines Nachhaltumbau (WAGNER 2008) als ein Pioniergedanke angesehen werden (Anmerk. d. Verfass.).

Die Waldbau- und Holzartenrichtlinien der DDR von 1966 folgten auf die Ära der vorratspfleglichen Waldwirtschaft der 1950er Jahre. In dieser Richtlinie erfolgte eine „Abkehr von dem Krutzschen Pflegegrundsatz“ und das „Förderprinzip der Bestandespflege“ wurde stärker betont (MILNIK 2013). Zur Baumart Vogelbeere gibt es dort noch einen Hinweis, der sie in Fichtenreinbeständen auf Mittelgebirgsstandorten in geringen Anteilen noch vertretbar einstuft, wenn die Standorte derartig beschaffen sind, dass die Fichte nachweisbar, auch nach wiederholtem Anbau, keine Bonitätsrückgänge zeigt. Weiterhin sei sie „in den klimatisch mehr oder weniger extremen oberen Lagen, insbesondere Kammlagen (*Piceetum typicum*)“ vertretbar (LANDWIRTSCHAFTSRAT BEIM MINISTERRAT DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK 1966). Im Verlauf der weiteren waldbaulichen Entwicklung der DDR erfolgten aber Erlasse, welche das Produktionsziel „Rohholzerzeugung“ mit Hilfe von rationellen und technisierten Maßnahmen wesentlich in den Vordergrund rückten (Mi-

NISTERIUM FÜR LAND-, FORST- UND NAHRUNGSGÜTERWIRTSCHAFT 1985). Die Bekämpfung von Weichlaubebäumen (hier vor allem die Baumart Birke) in Kulturen und Dickungen wurden bei den waldbaulichen Maßnahmen zunehmend vorgeschrieben. Dies geschah teilweise sogar mit Herbizideinsatz (BERGMANN 2000, BILKE 2000).

Mitte der 80er Jahre wurde der Vogelbeere wieder mehr waldbauliche Beachtung geschenkt (SPETHMANN und NAMVAR 1985). Im Jahr 1997 wurde sie als Baumart des Jahres gekürt (SCHUTZGEMEINSCHAFT DEUTSCHER WALD 1997).

Zwischenzeitlich wuchs auch ihre Bedeutung als Wiederaufforstungsbaumart für Flächen mit neuartigen Waldschäden (KOCH 1997, WICKEL et al. 1998), unter anderem weil sie aufgrund ihrer Vermehrungsstrategie eine zügige Wiederbewaldung ermöglicht (MÜLLER 1998) und ihr auch eine gewisse Rauchhärte nachgesagt wird (WEIHS 1995, SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN 1999, S. 27). So schreibt BURSCHEL (1990): *„Im Fichtelgebirge ist zum Beispiel ganz evident, daß die Buchen, aber auch die Vogelbeeren, deutlich weniger [durch Luftbelastungen] geschädigt sind als die Fichten. Schon deshalb werden sie an den neu zu begründenden Beständen substanziell beteiligt. Ihre positive Wirkung wird dabei um so ausgeprägter werden, je gleichmäßiger über die Fläche verteilt und je inniger sie mit der Fichte verbunden werden.“* LEDER (1998) schreibt dazu, dass Ende der 80er Jahre (mit Beginn der 90er Jahre) die Vogelbeere vermehrt als sukzessionale Begleitbaumart in geschädigten Fichtenbeständen („Fichtenabgang“) waldbaulich einbezogen wird. Dies zeigten Bestandesbilder im Harz, Erzgebirge, Fichtelgebirge, in den Vogesen und dem Isargebirge. Vor dem Hintergrund des prognostizierten Klimawandels (BMUB 2015, IPCC 2015) und der damit einhergehenden Zunahme von Sturmereignissen, wie es z.B. 2007 beim Sturmereignis „Kyrill“ deutlich wurde, ist gerade die Eigenschaft „Wiederaufforstungsbaumart nach Katastrophen mit zügiger Wiederbewaldungsfähigkeit“ eine wichtige und aktuelle waldbauliche Eigenschaft mit zunehmendem Wert.

Hervorzuheben ist, dass die Vogelbeere eine explizite Beachtung im „LöWE-Erlass“ der niedersächsischen Landesforstverwaltung von 1994 fand. Womit (für Niedersachsen) auch eine gesetzliche Grundlage gegeben ist, „die „Stiefmütter“ der Vergangenheit („begleitende Pionierbaumarten“ Anm. der Verfasserin) in einen positiven waldbaulichen Prozess mehr und mehr einzubinden“ (STÄDLER 1998). Geführt wird sie dort im Waldentwicklungstyp 54-Fichte-Eberesche mit einem geforderten Mischungsanteil von 20-40 % zugunsten der Eberesche.

In jüngster Vergangenheit eröffneten vor allem LEDER (1992) und LEDER und HILLEBRAND (1995) einen waldbaulichen Schwerpunkt mit der Baumart Vogelbeere als Mischbaumart in Oberbeständen der Hauptbaumarten. LEDER (1998) zeigt aber auch weitere Möglichkeiten zur Einbindung der Vogelbeere in waldbaulichen Konzeptionen auf:

- Integration bei der Kulturbegründung und in der extensiven Jungwuchs- und Jungbestandspflege durch Ausnutzung positiver Interaktionen in der Jungwuchsphase (LEDER 1992, 1995 und 1996)
- als Vorwald bei Erst- und Wiederaufforstungen (LEDER 1996)
- Generationswechsel der Buche in Buchenhochlagenbeständen (LEDER 1991)
- bei der Umwandlung von Fichtenreinbeständen in Mischbestände durch Einbeziehung der Vogelbeeren-Naturverjüngung (LEDER 1996)

Aber auch bei KOCH (1997) findet man Aussagen zur positiven Wirkung der Vogelbeere als Schutzbaumart, *„insbesondere für Buche und Tanne, Füll- bzw. Treibbaumart, vor allem in lückigen Buchen-, Edellaubholz- und Eichenkulturen zur Erhaltung des die Qualitätsentwicklung erforderlichen Schlusses sowie zur Förderung der Astreinigung, Differenzierungsbaumart in gleichschlüssigen dichten Naturverjüngungen, ...“*.

#### Waldbautechniken zur Etablierung, Förderung und Verjüngung der Vogelbeere

Auch vor über 100 Jahren hat man der Vogelbeere hinsichtlich ihrer Verjüngung und Pflege in Beständen waldbauliche Beachtung geschenkt. So empfahl schon GAYER (1886 und 1898) zur Förderung von wüchsigen Vogelbeeren „mit dem Ziel Stammholz“, die „Herauspflüge“ in Trupps und Gruppen. Dieses horst- und gruppenweise Vorgehen wird auch bei PRIEN (1964) für das Zwischenwaldstadium empfohlen. Dies sei dann auch ein guter Ausgangspunkt für die Vorverjüngung der nächsten Bestandesgeneration. HILLEBRAND (1998) empfiehlt aus seinen Erfahrungen ebenfalls die trupp- und gruppenweise Beimischung der Vogelbeere in Fichtenbeständen.

Hinsichtlich Vermehrungsstrategien wird bei FRANKHAUSER (1910, zit. in PRIEN 1964) z.B. die Beerensaat empfohlen. Allerdings könne diese auch zu „Verbüschelungen“ führen, da dabei die Samen nicht getrennt würden. Dies bringe zumindest für die Vorwaldbegründung Nachteile. Die Büsche nehmen zu viel Platz ein und andere Baumarten würden somit ver-

drängt. FRANKHAUSER (1910, zit. in PRIEN 1964) berichtet weiterhin, dass auch eine vegetative Vermehrung per Stecklingspflanzung möglich sei.

Für PRIEN (1964) ist die generative Vermehrung durch Saat und Pflanzung aber vorzuziehen. Er empfiehlt die Aussaat von stratifiziertem vereinzelt Saatgut. Für eine Vorwaldbegründung sollte die Aussaat im Dreiecksverband von 3 m x 3 m bis 4 m x 4 m durchgeführt (plätzeweise, Anmerk. d. Verfass.) werden. Dabei sollen 3-5 kg / ha reines stratifiziertes Saatgut ausgebracht werden. Vor dem Hintergrund der späteren Pflege sollte die Anlage nicht zu dicht sein. Pflanzungen sollten als Lochpflanzung durchgeführt werden. Auch EBERT (1973) empfiehlt bei Aufforstungen und Waldrandgestaltungen z.B. einen Pflanzabstand von 3-4 m.

HEGER (1949) dagegen empfahl für die Hochlagen der Mittelgebirge einen Verband von 1,5 x 1,5 m und die Pflanzung von Fichte zeitgleich darunter. Danach soll eine vorratspflegliche Pflege im Alter von ca. 20 bis 40 Jahren auf 800 Stück und dann im Alter von ca. 50 bis 60 Jahren auf ca. 400 bis 500 Stück folgen.

Derzeit kann zur Aussaat eine Empfehlung von 20 g / m<sup>2</sup> bei MC CÁRTHAIGH und SPETHMANN (2000) entnommen werden. Der günstige Aussaatzeitpunkt soll dabei von Januar bis April oder Oktober bis November sein. MOSANDL (1996) berichtet, dass die Saat von Vogelbeere nur mit vorheriger Bodenbearbeitung (Freilegen des Mineralbodens) gelang.

In PRIEN (1964) werden Empfehlungen für die Pflege der Vogelbeere im Vorwald- und Zwischenwaldstadium, d.h. zum Zeitpunkt des „Herauswachsens aus dem Vorwald“ gegeben. Das Zwischenwaldstadium sei in dem von ihm untersuchten Gebiet im Mittleren Thüringer Wald (Raum Oberhof) in einem Bestandesalter der Vogelbeere von ca. 20-40 Jahren erreicht. Er gibt Empfehlungen zu Standraumregulierungen, Eingriffsstärken und Pflageurnus für das Vorwaldstadium. Neben der mechanischen Pflege empfiehlt PRIEN (1967) auch die damals übliche chemische Pflege mit dem Präparat SELEST 100. Für die Behandlung des Zwischenwaldstadiums rät PRIEN (1964) von einem radikalen Abtrieb der Eberesche ab, sondern empfiehlt eher das Belassen von Einzelbäumen, auch aus Gründen der betrieblichen Sicherheit.

Heutzutage kann man vielerorts die künstliche Einbringung der Vogelbeere durch Pflanzung beobachten. Dies geschieht oftmals vereinzelt in Wuchshüllen auf Sturmschadflächen (Freiflächen) oder in größeren Bestandeslücken. Unterstützt werden derartige Pflanzungen durch Programme der Schutzgemeinschaft Deutscher Wald (SDW, THÜRINGENFORST 2013). Um die Verwendung von Baumschulpflanzen, deren Herkunft meist nicht regional angepasst ist



(die Vogelbeere unterliegt nicht dem Forstvermehrungsgut-Gesetzes, d.h. sie wird nicht im Saatgutregister geführt), zu umgehen, kommen gelegentlich bei den Pflanzungen auch Wildlinge zum Einsatz.

Gerade auf Katastrophenflächen, wie z.B. auf den durch das Sturmereignis „Kyrill“ entstandenen Freiflächen, wurde vielfach auch die Saat mit stratifiziertem Saatgut erprobt (THÜRINGENFORST 2013). In letzter Zeit zeigen Versuche mit Trestersaaten im sächsischen Erzgebirge gute Erfolge (TRIEMER 2013, OTTO mündlich 2014).

### Die waldbauliche Behandlung in Mischbeständen (spez. in Fichtenbeständen)

Insgesamt wird der Vogelbeere eine hohe Mischungsverträglichkeit mit vielen Baumarten nachgesagt, dies vor allem aber mit der Baumart Fichte (PRIEN 1964).

Tabelle 2 zeigt in diesem Zusammenhang vergleichend die maximalen Wachstumskennwerte zwischen Fichte und Vogelbeere.

Tab. 2: Maximale Wachstumskennwerte von Fichte und Vogelbeere im Vergleich (im Bestand stockend)

<b>Wachstumskennwerte im Bestand</b>	<b>Fichte</b>	<b>Vogelbeere</b>
<b>durchschnittl. Höhe im Endbestand [m]</b>	35 - 37 (je nach Standort, Kramer 1988)	20-25 (HILLEBRAND und LEDER (1995))
<b>Kulmination Höhenzuwachs [Jahre]</b>	40 (BURSCHEL und HUSS 1997)	5-15 (HILLEBRAND 1998)
<b>max. Alter [Jahre]</b>	> 200 (BURSCHEL und HUSS 1997)	80-150 (RASPÉ et al. 2000)
<b>Lichtanspruch in der Jugend</b>	mittel (BURSCHEL und HUSS 1997)	mittel (PRIEN 1964)
<b>Lichtanspruch im Alter</b>	groß (BURSCHEL und HUSS 1997)	groß (PRIEN 1964)

HILLEBRAND (1998) berichtet, dass die Vogelbeere keine ernstzunehmende Konkurrenz für die Fichte darstelle, sie sei eher als Zeitmischung zu betrachten sei. Läuft die Vogelbeere sehr stammzahlreich auf, dann reduziere sie sich ohne Eingriff schnell durch Selbstdifferenzierung. Pflegende Eingriffe zugunsten der Laubbaumart können gering gehalten oder unterlassen werden. Man erreicht trotzdem eine ausreichende Anzahl an Zielbäumen in der Jungbestandsphase. Ohne Pflege dunkelt die Vogelbeere, da sie von der Schatt- zur Halbschattbaumart wechselt, nach dem Dickungsstadium durch das überlegene Höhenwachstum der Fichte aus (PRIEN 1964, HILLEBRAND 1998).

Nimmt sie am Oberstand in Mischbeständen mit anderen Baumarten teil, werden auch positive Wirkungen auf die „Hauptbaumarten“ beschrieben, die von der Vogelbeere ausgehen sollen. So berichtet LEDER (1992) im Vergleich zur Salweide: „[...] wobei die Vogelbeere mit ihrer meist schmalen Krone und ihrer guten Wuchsform sicherlich positiver auf die Entwicklung benachbarter Hauptbaumarten zu werten ist als eine Salweide, die durch einen meist hohen Spreitungsgrad und auch durch eine weniger günstige Wuchsform gekennzeichnet ist.“

MÜLLER (1998) gibt eine Empfehlung für die Pflege von Fichtenjungwüchsen mit eingemischten Vogelbeeren. Hier sollen 700 bis 800 Vogelbeeren-Endbestandsanwärter einzelbaumweise oder in Gruppen herausgepflegt werden, um einen stabilen Mischbestand aus Fichten und Vogelbeeren zukünftig zu erreichen.

#### Abiotische und biotische Einflußfaktoren

Die Vogelbeere entwickelt sich im Laufe ihres Wachstums von einer Schatt-, über eine Halbschatten- bis hin zu einer Lichtbaumart („Alterslichtbaumart“) (KUCBEL und VENCURIK, 2008). Der Lichtbedarf erhöht sich sogar noch auf schlechteren Standorten (Prien 1964, ROLOFF 2010). ŻYWIEC und LEDWOŃ (2008) und ŻYWIEC und HOLEKSA (2012) beobachteten, dass die Vogelbeeren-Verjüngung bei zu geringen Lichtverhältnissen eine gewisse „Lauerstellung“ im Unterstand von Fichtenbeständen einnehmen kann. Die Individuen halten es dann lange im Schatten aus, bis die Lichtverhältnisse sich zu ihren Gunsten entwickeln. Die „Lauerstellung“ könne über einen Zeitraum von mindestens 10 Jahren andauern. Dies sei nicht nur durch die Schattenverträglichkeit der Vogelbeerenverjüngung gewährleistet, sondern auch durch ihre vegetative Vermehrung. Unter dem Fichtenschirm würden vielfach Vogelbeeren mit Garbenwuchs (Polykormie) stocken, bei denen die Stockausschläge ein unterschiedliches Alter aufweisen. Ein absterbender Stockausschlag würde dann von einem jüngeren Spross desselben Individuums ersetzt.

PRIEN (1964) hat beobachtet, dass der Lichtbedarf der Vogelbeere gerade ab einem Alter von ca. 8-10 Jahre ansteigt, das entspräche einer Baumhöhe von ca. 3 bis 4 m. Ein gutes Wachstum würde sie dann ab ca. 10 Jahren (mit 4 m Höhe) zeigen, wenn der Schlussgrad des Oberstandes 0,2 bis 0,3 nicht übersteigt. Für den Oberstand könnte dies, je nach Standort, Stabilität und Struktur, bezüglich einer auftretenden Sturmwurfgefahr problematisch sein.

Die Vogelbeere kann eine Kroneneinengung und Seitenbeschattung auch bis ins Baumalter vertragen. Dies führt u.U. sogar zu schmalen Kronen, mit denen sie in den Oberstand ein-

wachsen kann. Allerdings verträgt sie keine Beschattung von oben (Schirmdruck) (PRIEN 1964). Zudem brauche sie zum Blühen und Fruktifizieren ausreichend Licht (RASPÉ et al. 2000).

Die Vogelbeere neigt gern zum Phototropismus (PRIEN 1964, ROLOFF 2010). Mit dieser Eigenschaft kann sie zwar gut Lücken im Kronenraum schließen, aber sie bildet dann auch leicht krumme Stämme aus (ROLOFF 2010).

Die Saatgutbehandlung der Vogelbeere ist vergleichsweise aufwendig. Die Inhaltsstoffe des Fruchtfleisches wirken keimhemmend, deshalb sollte eine Aufbereitung ziemlich zeitnah erfolgen. Das Saatgut muss zum Abbau der Keimhemmung mindestens 3 Monate lang stratifiziert (warm-kalt) werden (SCHUBERT 1999, SCHMALEN 1997, ROGGE 2007). Für ein derart aufbereitetes Saatgut wird ein Keimprozent von 70 angegeben (MC CÁRTHAIGH und SPETHMANN 2000).

Die Vogelbeere bildet häufig eine Mehrstämmigkeit aus (Polykormie). Diese entsteht zum einen durch ihre zoochore Verbreitung durch Vögel, da sich dadurch die Samen schlecht vereinzeln, durch die vergleichsweise hohe Samenzahl je Frucht und vor allem durch die Fähigkeit der vegetativen Vermehrung (RASPÉ et al. 2000). UNGER (1997) führt die Ausbildung der Mehrstämmigkeit eher auf die Genetik des Einzelbaumes zurück. Nach ŻYWIEC und HOLEKSA (2012) sei Polykormie, wie oben schon beschrieben, eine Art Überlebensstrategie der Vogelbeere in älteren Fichtenbeständen. Eine Zwieselbildung wird u.a. auf Wildverbiss zurückgeführt (PRIEN und LEMME 1997). Die Stockausschläge werden in der Regel nicht so hoch wie der Hauptstamm (PRIEN 1964, LEDER 1992). Dies gilt ebenso für die Wurzelschösslinge aus den Adventivwurzeln (können bis zu 5 m Höhe erreichen, Angabe bei KULLMANN 1986, zit. in RASPÉ et al. 2000). Daher werden diese Stockausschläge und Schösslinge als waldbaulich weniger bedeutend eingeschätzt.

Es ist sicherlich davon auszugehen, dass man die Baumart Vogelbeere in größeren Stückzahlen antreffen würde, wenn sie vielerorts nicht Wildverbiss und -schäle eingedämmt würde (RASPÉ et al. 2000). Ihr Auflaufen innerhalb der Bestände in geeigneten Gebieten ist oftmals zahlreich. Sie „verschwindet“ dann aber wieder, sobald sie verholzt (LINDER et al. 1997 zit. in RASPÉ et al. 2000). Bezüglich ihrer bevorzugten Besiedlung von Lücken, Säumen und Kahlflächen, befindet sie sich oftmals auch automatisch in typischen „browsing habitats“, welche vom Wild viel frequentiert werden (KUIJPER et al. 2009; zit. in MYKING et al. 2013). Die Vo-

gelbeere nimmt vor allem für das Rotwild in der Beliebtheitsskala der Verbissattraktivität stets einen vorderen Rang ein (PRIEN und LEMME 1997, BIEDERMANN 1991, zit. in LEDER und PETRAK 2000, MYSTERUD et al. 2010). Dabei erleidet sie neben dem Verbiss vor allem auch eine intensive Winter- und Sommerschäle (PRIEN und LEMME 1997): „*Offenbar ist die Rinde der Vogelbeere ganzjährig nährstoff- und wasserreich, denn in ihr vollzieht sich auch in unbelaubtem Zustand noch eine Stoffproduktion (Photosynthese).*“

Auch HEGER (1949) bemerkte schon, dass die Vorwaldbegründung mit Vogelbeere nicht unter Wildeinfluss funktioniere.

Mit dieser hohen Attraktivität für das Schalenwild und den guten „Wildfutter-Eigenschaften“ wird sie aber auch aus einem anderen Blickwinkel sehr geschätzt. Bei guter Regenerationsfähigkeit kann sie bei überhöhten Wildbeständen den Schäldruck auf die Wirtschaftsbaumart Fichte verringern (sog. „Blitzableiterfunktion“) (KOCH 1997, PRIEN und LEMME 1997, LEDER und PETRAK 2000).

Die Schäle tritt in der Regel erst ab einem BHD von ca. 3 cm auf. Der Baum besitzt dann genügend Steifigkeit und Widerstand, dies erleichtert das Schälen. Die Stämme werden sogar mehrfach geschält (MÜLLER 1998). PRIEN und LEMME (1997) stellten fest, dass dies dann zur typischen Spannrückigkeit der Vogelbeere führt.

Als problematisch ist vor allem der durch Schäle verursachte Hallimasch-Eintritt zu werten. Dies mache jegliche waldbauliche Bemühungen zunichte (NAMVAR und SPETHMANN 1985). Weitere vorkommende holzzerstörende Pilze, Bakterien und Viren werden bei PRIEN und LEMME (1997) aufgelistet.

Insgesamt wird die Gefahr durch Schädlingsbefall für die Vogelbeere als gering eingeschätzt (PRIEN und LEMME 1997). Die größte Gefahr gehe von der *Ebereschennotte* (*Argyresthia conjugella*) aus, welche die reifen Früchte vor allem in Mastjahren befallen und die darin enthaltenden Samen durch Larvenfrass zerstören (SPERENS 1996, SATAKE et al. 2004, ŻYWIEC und HOLEKSA 2012).

SCHMIDT (1998) berichtet von Fraß durch Blatt- und Rüsselkäferarten, die zwar nicht zu den forstlichen Großschädlingen gehören, aber für die Vogelbeere eine Bedeutung haben und ihre Funktion als Vorwaldbaumart einschränken würden, da sie die Blätter bis auf die Mittelnerven abfressen oder entsprechenden Lochfraß hinterlassen. Weiterhin kann es auch zum Befall

des Großen Braunen Rüsselkäfers (*Hylobius abietis*) kommen, der dann auch an der Vogelbeere seinen typischen Pockennarbenfraß an der Rinde hinterlässt (PRIEN und LEMME 1997). Weiterhin geben PRIEN und LEMME (1997) dem Kleinen Frostspanner (*Operophtera brumata*) und den Buchenfrostspanner (*Operophtera fagata*) eine gewisse Bedeutung, da mehrfache Gradationen dieser Arten im östlichen Erzgebirge aufgetreten sind, welche bekämpft werden mussten.

An dieser Stelle sollte auch der Rindenbrand, der manchmal nach plötzlicher Freistellung entstehen kann, erwähnt werden (PRIEN und LEMME 1997). HILLEBRAND (1998) berichtet darüber hinaus von aufgetretenen Absterbeerscheinungen in Reinbeständen in den letzten Jahrzehnten und empfiehlt daher keine Erziehung der Vogelbeere in Reinbeständen über das Stangenholzalter hinaus.

### 1.1.2.3 Wachstumsreaktionen von Einzelbäumen in Jungbeständen nach Freistellung

#### Einleitung

Durchforstungen und damit verbundene Freistellungen beeinflussen und steuern die Ressourcenversorgung. Auf Freistellungen folgen in der Regel arttypische Wachstumsreaktionen, sowohl bei Ressourcenzufuhr, als auch bei Ressourcenverknappung. Diese münden in Allokationsmuster bzw. -strategien (WAGNER und FISCHER 2008).

Untersuchungen zu Wachstumsreaktionen von Bäumen nach Entnahme von konkurrierenden Nachbarbäumen waren in der Vergangenheit von der klassischen ertragskundlichen Forschung dominiert. Bereits Ende des 18. Jahrhunderts wurden in Reinbeständen Durchforstungsversuche für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche durchgeführt, und dabei Ertragstafeln entwickelt (KRAMER 1988). Die gewonnenen Erkenntnisse bezogen sich aber immer nur auf die Bestandesebene. Erst seit dem Aufkommen des Dauerwaldgedankens befasste man sich Mitte des 20. Jahrhunderts und im Zuge der vorratspfleglichen Waldwirtschaft mit dem Nutzungsprinzip der Einzelstammpflege (KRUTZSCH 1952). In den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts wendete sich die ertragskundliche Forschung dann mehr der Einzelbaumebene zu (WAGNER und SPELLMANN 1995), so unter anderem bei Untersuchungen zur Auslesedurchforstung und der damit einhergehenden Z-Baum-Strategie (SCHÄDELIN 1942, ABETZ 1975, KURT 1982). Einzelbaumbasierte Untersuchungen in Mischbeständen erfolgten

erst seit den letzten zwei Jahrzehnten (PRETZSCH 1992, NAGEL 1996, PRETZSCH 2002). Schwerpunktmäßig wurden dabei vor allem Waldwachstumsmodelle im angelsächsischen Sprachraum und Skandinavien entwickelt (WAGNER und SPELLMANN 1995). Gegenwärtig gibt es eine Fülle von Wachstumsmodellen für Rein- und Mischbestände. Eine Übersicht geben u.a. PRETZSCH (2002, S. 303 ff.) und LIU und ASHTON (1995). Die waldbauliche und waldökologische Forschung setzt ebenfalls zunehmend Wachstumsmodelle ein, so benutzt z.B. HILLEBRAND (1997 und 1998) das 1999 von NAGEL entwickelte Programm B-Win zur Simulation von Durchforstungen und der darauf folgenden Wachstumsreaktionen in Fichten-Vogelbeeren-Mischbeständen.

Aus Gründen des Aufnahmeaufwandes liegen für die Wachstumsmodelle oftmals keine Messergebnisse echter Zeitreihen zugrunde. Man verfolgt hier meist die Strategie „Raum statt Zeit“ und analysiert „Wuchsreihen“ bzw. „unechte Zeitreihen“. BIBER (1996, S. 23 ff.) geht intensiv auf die Verwendung derartiger Zeitreihen und die damit einhergehenden Probleme ein.

### *Begründungen für die Betrachtung der Einzelbaumebene*

Die Betrachtung der Einzelbaumebene ist eigentlich ein „altes“ Prinzip, welches von allen Wirtschaftlern bei der Auswahl von Zukunftsbäumen (Z-Baum) beachtet wird. Hierbei werden nur Einzelbäume als Z-Baum angesprochen, wenn diese eine gewisse Stabilität, Qualität und Dimension aufweisen (ASSMANN 1961, KRAMER 1988, BURSCHEL und HUSS 1997, RÖHRIG et al. 2006).

Die heutigen Waldumbauprogramme versuchen die Zielvorstellungen der Landesforstverwaltungen umzusetzen und den Anteil an Mischbeständen in den Forstbetrieben deutlich zu erhöhen. In diesem Zusammenhang ist der Fokus der ertragskundlichen und waldbaulichen Wissenschaft heute vor allem auf die Erforschung von Wachstumsgängen und Konkurrenzmechanismen in Mischbeständen gerichtet. Aus den Erkenntnissen sollen dann Handlungsempfehlungen für die waldbauliche Praxis abgeleitet werden. Um aber die Konkurrenzmechanismen und Wachstumsgänge in Mischbeständen verstehen zu können, muss der analytische Weg in der Regel oftmals mit dem Einzelbaumansatz beginnen.

Systematische Untersuchungen zur Erforschung von Reaktionsmustern auf Einzelbaumebene haben sich erst in den letzten drei Jahrzehnten zunehmend etabliert. Dabei wurde auch immer

mehr die Analyse von jüngeren Bäumen einbezogen. PRETZSCH (2002) spricht in diesem Zusammenhang von einem „Paradigmenwechsel“ (im Sinne der Abkehr von der Bestandesebene, Anmerk. d. Verfass.) und die „Schlüsselerkenntnis“ aus diesen neuen Untersuchungen sei, „daß die Bestandesentwicklung besser verstanden werden kann, wenn der Bestand in ein Mosaik von Individuen aufgelöst und ihr Miteinander als dynamisches, räumlich-zeitliches System aufgefaßt wird.“ Dieses neue Verständnis würde auch die Prognosemöglichkeiten der Bestandesentwicklung, welche „von den zugrundeliegenden Individuen her aufgerollt wird“, verbessern. Eine in dieser Hinsicht richtungsweisende Studie ist nach PRETZSCH (2002) bei HUSTON et al. (1988) zu finden.

Die mittlerweile vorhandenen Untersuchungen sind dabei vor allem ökologisch geprägt und befassen sich mit inter- und intraspezifischen nachbarschaftlichen Konkurrenzverhältnissen der Baumarten. Viele Arbeiten analysieren die Lichtverhältnisse und die daraus resultierende Konkurrenzsituation für die jeweilige Baumart unter Schirm (KING 1991, MESSIER und PUTTONEN 1995, PACALA et al. 1994, AMMER 1996, GRALLA et al. 1997, BRUNNER und NIGH 2000). Gerade die Untersuchung von Jungwüchsen sei „mit Erleichterungen und Erschwernissen verbunden“ (WAGNER und SPELLMANN 1995). Die Bäume sind aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Höhe zwar gut zu erreichen und Wachstumsreaktionen können präzise erfasst werden. Die Erschwernisse überwiegen aber aufgrund der hohen Zahl an wachstumsbeeinflussenden Faktoren, des Dichtstandes und der verhältnismäßig hohen Zuwachsreaktionen der jungen Bäume, welche auch nur für kurze Zeiträume Prognosen zulassen. WAGNER und SPELLMANN (1995) weisen darauf hin, dass es auffallend sei, dass früher im angelsächsischen Sprachraum und in Skandinavien eher Konkurrenzmechanismen untersucht wurden, die schwerpunktmäßig in Modellen Berücksichtigung fanden. Waldbauliche Fragestellungen wurden dabei weniger beachtet und der Aspekt der Überschildung fehlt ganz (THAM 1988, SHAINSKY und RADOSEVICH 1991, MC DONALD et al. 1990). In Mitteleuropa sei dies eher umgekehrt, hier spielt die Untersuchung von überschilderten Verhältnissen und deren waldbauliche Behandlung eine bedeutende Rolle (LEDER 1992, AMMER 1996, GRALLA et al. 1997). Für die Analyse von Einzelbaumreaktionen nach Freistellungen existiert eine ganz frühe Arbeit von DRINKWATER (1960), welcher gezielt die Kronen von jungen Bäumen des Zuckerahorns in verschiedenen Varianten freistellte. Allgemein bekannt ist, dass Freistellungen die Kronendimensionen positiv fördern und dies nachfolgend zu einem Durchmesserzuwachs der freigestellten Baumart führt. Speziell für die Buche gibt es seit Jahrzehnten Untersuchungen (BADOUX 1939, zit. in GUERICKE 1999, ASSMANN 1961, MITSCHERLICH 1970, SCHÖBER

1971), welche die Plastizität und Expansionsfähigkeit der Krone für diese Baumart nach Störereignissen und Durchforstungen hervorheben. Für diese Erkenntnisse werden auch gegenwärtig noch Belege erbracht (GUERICKE 1999 und 2001).

Einen methodischen Fortschritt erzielten WOOD et al. (1996), indem sie die Reaktionen von etwa 20-jährigen Gelbbirken (natürlich angesamt auf Schmalkahlschlägen von Edellaubholzbeständen) nach Freistellung beschreiben.

MÄRD (1997) und LOKVENC und CHROUST (1987) beschreiben Eingriffsversuche in jüngeren Beständen, dies aber für die Baumart Fichte. Zudem werden die Ergebnisse nicht auf Einzelbaum-, sondern auf der Ebene von Bestandesmittelwerten präsentiert.

### Einfluss der soziologischen Stellung

Die soziologische Stellung des Einzelbaumes im Bestandesgefüge beeinflusst ebenfalls die Reaktionsmuster der Bäume nach Veränderung ihrer Konkurrenzsituation. Das Wissen um derartige Reaktionsmuster ist besonders vor dem Hintergrund der Entwicklung einer ausreichenden Einzelbaumstabilität nach einem Freistellungseingriff wichtig. Hier hat KENNEL schon 1966 grundlegend festgestellt, dass der Zuwachs stark von der soziologischen Stellung des Einzelbaumes abhängig ist.

Die Einteilung der einzelnen Bäume eines Bestandes nach soziologischen Stellungen geht schon auf KRAFT (1884) zurück. Diese Baumklasseneinteilung ist aber „*bei Mischbeständen nur bedingt anwendbar*“ und ist sehr subjektiv (KENNEL 1966). Heute wird deshalb die erweiterte Baumklasseneinteilung der „International Union of Forest Research Organizations (IUFRO)“ zur waldbaulichen Verwendung empfohlen (RÖHRIG et al. 2006).

Es ist allgemein bekannt, dass Einzelbäume im Verlauf ihres Bestandeslebens und nach waldbaulichen Eingriffen aufgrund ihres Regenerationspotentials in ihrer soziologischen Stellung auf- und absteigen können (mit dem Begriff „Umsetzen“ bezeichnet) (KRAMER 1988, RÖHRIG et al. 2006). Nur wenige Arbeiten haben aber bisher die soziologische Stellung des Einzelbaumes als weiteren Faktor in die Analyse der Zuwachsreaktionen nach Freistellungen einbezogen. Die Arbeit von LÜPKE (1991) zeigt z.B. in diesem Zusammenhang, dass auch vormals unterdrückte Traubeneichen, welche von Birkenkonkurrenz freigestellt wurden, mit verstärktem Höhen- und Durchmesserzuwachs reagierten, wohingegen vormals herrschende Pflanzen in den Untersuchungen genau das umgekehrte Reaktionsmuster zeigten. Die untersuchten



Bäume waren aber mit einem Alter von 4 Jahren vergleichsweise jung. VANNINEN UND MÄKELÄ (2000) zeigten anhand ihrer Untersuchungen, dass Kiefern unterschiedlicher soziologischer Stellung andere Allokationsmuster nach Freistellung entwickelten. Zunehmend richteten sich die Analysen auch auf Zuwachsreaktionen verschiedener Biomassekompartimente (JOHNSON et al. 1998, MÄKINEN 1999, BALDWIN et al. 2000) und Allokationsmuster (Urban et al. (1994).

Ein weiteres Phänomen nach Freistellung kann die verzögerte Zuwachsreaktion auf die Freistellungen sein (LÜPKE 1991, WAGNER und RÖKER 1999, JOHNSON et al. 1994) und eine Art „Durchforstungsstress“, welcher die Baumreaktion beeinflusst (PUKKALA et al. 1998 und 2002, KARIUKI 2008).

Aus dem wissenschaftlichen Blickwinkel ermöglicht die Untersuchung von Einzelbaumplots präzise Aussagen zur Konkurrenz- und Umgebungssituation des betrachteten Individuums (WAGNER und SPELLMANN 1995). Dies hat aus analytischer Sicht viele Vorteile, da die beeinflussenden Faktoren genau bestimmt werden können. In einem weiteren Schritt münden diese „verfeinerten Aufnahmen“ in Maßzahlen und werden zu Konkurrenzindizes umgewandelt, welche die Ressourcenverfügbarkeit der Einzelbäume innerhalb der Bestände in wenigen Kennzahlen verdichtet (PRETZSCH 2002).

Eine grundlegende Theorie zur Erforschung von Konkurrenzwirkungen ist die Theorie der „Ökologischen Felder“. Die Definition soll hier wörtlich aus WAGNER und FISCHER (2008) entnommen werden, da die Autoren auch ein spezielles Beispiel zur Theorie mit der Baumart Vogelbeere geben: *„Alle diese räumlich um den Baum herum festzustellenden Einflüsse auf die Ressourcen haben WU et al. (1985) und Walker et al. (1989) zu einer „Theorie ökologischer Felder“ zusammengefasst. Sie besagt, dass ein als ökologisches Feld bezeichneter Einflussbereich eines Baumes existiert, in dem eine ökologisch bedeutsame Ressourcenbeeinflussung stattfindet. Krone, Stamm und Wurzeln eines Baumes bilden ökologische Felder für die verschiedenen Ressourcen. So ist beispielsweise die Vogelbeere wegen ihrer schräg nach oben gestellten Äste in der Lage, bedeutsame Niederschlagsmengen, die mit der Krone aufgefangen werden, direkt am Stamm zu den eigenen Wurzeln zu leiten. Dadurch wird die Ressource „Bodenwasser“ in unmittelbarer Stammnähe deutlich beeinflusst; in diesem Fall nicht primär verbraucht, aber einer konzentrierten Aufnahme durch die Vogelbeere selbst zugeführt.“*

Grundlegende Arbeiten zur Verwendung von Konkurrenzindizes finden sich bei HEGYI (1974). Diese Arbeiten basieren auf Untersuchungen in Nadelbaumbeständen. Spätere Arbeiten untersuchten auch die Verhältnisse in Mischbeständen (TOMÉ und BURKHART 1989, MC DONALD et al. 1990, HOLMES und REED 1991, zit. in AMMER 1996; BIGING und DOBBERTIN 1992, NÜBLEIN 1995).

#### Einzelbaumorientierte Steuerung von Freistellungen mittels Konkurrenzindizes

Die Verwendung eines Konkurrenzindizes zur Steuerung von Freistellungsmaßnahmen ist eine rein wissenschaftliche Methode, um die Stärke der Maßnahme anhand von konkreten Maßzahlen, im Gegensatz zu bestandesbezogenen Sollwerten, einordnen bzw. skalieren zu können (PRETZSCH 2002).

Grundlegende Studien wurden hierzu von JOHANN (1982) und HASENAUER et al. (1996) durchgeführt, welche mit Hilfe des von JOHANN (1982) entwickelten Konkurrenzindex „A-Wert“ Freistellungsversuche steuerten. Die in der Arbeit von LEE und GADOW (1997) vorgestellte Methode zur iterativen Bestimmung von Konkurrenzbäumen stellt ein Verfahren dar, welches der einzelbaumorientierten Freistellung mit Hilfe von Konkurrenzindizes vorgelagert werden kann.

#### Bedeutung der Einzelmischung von Weichlaubebäumen im Waldumbau, speziell Vogelbeere

Die Bewirtschaftung von Weichlaubebäumen ist wieder zu einem gängigen waldbaulichen Verfahren geworden, welches gerade im Zuge eines ökologischen Waldumbaus als „Überführungsmaßnahme“ mit extensivem Charakter angesehen wird (LEDER 1998, WAGNER 2008). Viele bisherige Untersuchungen haben den Einfluss von Weichlaubebäumen auf die Hauptbaumarten untersucht (ERLER 1983 (Weichlaubhölzer in Douglasienjungwuchs); v. LÜPKE 1991 (Weichlaubhölzer und Traubeneichen); LEDER 1992 (Weichlaubhölzer in Buche und Eiche)); AMMER und DINGEL 1997 (Konkurrenz von Salweiden und Aspen auf Stieleichen), KENTER 1999 (Konkurrenz von Salweiden auf Buchen), WAGNER und RÖKER 1999 und 2000 (Birkenanflug in Eichenkulturen).

Für die vorliegende Studie sind nur wenige Arbeiten mit dem umgekehrten Ziel, den Einfluss von Hauptbaumarten auf Einzelbäume der Weichlaubhölzer zu untersuchen, gefunden worden. Hier analysierten z.B. MESSIER und PUTTONEN (1994) den Einfluss der Beschattungsver-

hältnisse eines sich in Verjüngung befindenden Fichtenoberstandes auf die Wachstumsverhältnisse von Birken.

Studien, welche den intraspezifischen Einfluss von Weichlaubhölzern in gleichaltrigen Reinbeständen untersuchen, sind vor allem für die Baumart Birke verfügbar (LOCKOW 1998, LUDWIG 1998).

Grundsätzlich sind Studien zur Analyse von intraspezifischen Konkurrenzmechanismen bei Weichlaubebäumen in der Erforschung von vorwaldartigen Strukturen zu finden. Zur Wuchsreaktion und vor allem Behandlung der Vogelbeere in vorwaldartigen Strukturen gibt es vergleichsweise viele Erkenntnisse aus früheren Arbeiten (HEGER 1949, FIEDLER 1962, PRIEN 1964, SCHINDLER 1992, LEDER 1992, PRIEN 1995).

Die Vogelbeere findet sich von Natur aus in trupp- bis gruppenweiser, aber auch in Einzelmischung. Zum Einzelbaumwachstum und Konkurrenzverhalten der Vogelbeere ist grundsätzlich bekannt, dass sie bei unterlassener Pflege „Ausdunkeln“ kann (PRIEN 1964, HILLEBRAND 1998). Der Kronenfreiraum ist für ihr Wuchsverhalten entscheidend (PRIEN 1964, REIS 1994, zit. in MÜLLER 1998, HILLEBRAND 1998). Dagegen zeigt sie im Alter eine negative Reaktion auf plötzliche Freistellungen (PRIEN 1964).

NEUPERT (1965) hat ertragskundliche Vergleiche zwischen Fichte und Vogelbeere in der damaligen Oberförsterei Oberhof in den Hochlagen des Mittleren Thüringer Waldes durchgeführt. HILLEBRAND (1998) hat eine bisher grundlegende Studie zum Einzelbaumwachstum der Vogelbeere für das Westfälische Bergland verfasst. REIS (1995, zit. in HILLEBRAND 1998) untersuchte das Konkurrenzverhalten zwischen Fichten und Eberschen im Oberharz.

Untersuchungen zur einzelbaumorientierten Erfassung von Wuchsreaktionen sind der Verfasserin für die Vogelbeere bisher nicht bekannt.

### Fazit

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass derzeit ein Defizit an echten Messreihen besteht, bei denen einzelbaumweise auf quantitativer Basis das Wachstum unter Konkurrenz über mehrere Jahre beobachtet wurde. Darüber hinaus fehlen Untersuchungen zu Freistellungseffekten als Resultat unterschiedlicher Eingriffsstärken, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt und mit derselben Methodik dokumentiert wurden.

## 1.2 Zielstellung der Arbeit und Arbeitshypothesen

In der vorliegenden Arbeit sollte für den Landeswald in Sachsen an repräsentativen Fichtenjungbeständen Flächen geprüft werden, ob diese im Rahmen des Waldumbaus das Potenzial haben, die Vogelbeere in die waldbauliche Behandlung zu integrieren.

### 1.2.1 Ziele und Hypothesen zur Bestimmung des Waldumbaupotenzials

Dieses Potenzial sollte zunächst mit Hilfe einer Abfrage der Forsteinrichtungsdatenbank Sachsens (FESA) eingeschätzt werden. Als geeignete und hinsichtlich eines Waldumbaus repräsentative Bestände wurden dazu Jungbestände des Fichtentyps bis zum Alter 50 in den mittleren Lagen des Landeswaldes angesehen.

Folgenden Arbeitshypothesen wurden hinsichtlich der (A) Datenbankabfrage und der terrestrischen Inventur aufgestellt:

- (1) Die Durchführung einer Abfrage in Forsteinrichtungsdatenbanken ist grundsätzlich ein praktikables Verfahren, um großräumig Potentiale von seltenen, einzelbaumweise eingemischten Nebenbaumarten analysieren zu können. Aus diesen Datenbankabfragen lassen sich zusätzliche Suchkriterien ableiten (z.B. Lage, Standort, Bestandesalter), die eine gute Basis für weiterführende terrestrische Untersuchungen bilden. Das quantitative Potenzial der Vogelbeere in den Fichtenjungbeständen des Erzgebirges kann auf diese Weise ermittelt werden.
- (2) Eine terrestrische Inventur, welche auf einer Stichprobe aus der Datenbank beruht, bietet zusätzlich die Möglichkeit die Aussagefähigkeit der Datenbank zu prüfen und diese anhand weiterer, qualitativer Messungen zu erweitern. Aussagen zur Förderungswürdigkeit der Vogelbeere als Mischbaumart im Rahmen des Waldumbaus lassen sich nur anhand der detaillierten terrestrischen Ansprache (z.B. Wachstumsparameter, Vitalitätseinschätzung) treffen.
- (3) Die gewählten Verfahren besitzen eine unterschiedliche Aussagefähigkeit hinsichtlich Baumartenpräsenz, Flächenrelevanz und Wachstumseigenschaften der Vogelbeere. Mit der Kombination beider Verfahren wird die Qualität der Potenzialeinschätzung deutlich erhöht.

## 1.2.2 Ziele und Hypothesen zur Initiierung von Wachstumsreaktionen

Weiterhin sollte die Möglichkeit geprüft werden, ob in jungen Fichtenreinbeständen einzelbaumweise eingemischte Vogelbeeren aus Naturverjüngung frühzeitig in die Bestandespflege einbezogen werden können, so dass sie für eine erhebliche Dauer des Bestandeslebens – mindestens bis zum Zeitpunkt ihrer möglichen natürlichen Verjüngung – als vitale Bestandessglieder anzusehen sind. Ziel war dabei die Prüfung möglicher Maßnahmen für eine optimale Einzelbaumentwicklung der Vogelbeere hinsichtlich ihrer Dimension und Qualität, vor allem aber ihrer Vitalität. Dazu wurden in ausgewählten Fichtenjungbeständen einzelbaumweise eingemischte Vogelbeeren unterschiedlich stark gefördert und freigestellt. Die Beobachtung und Beschreibung des Wuchsverhaltens dieser Vogelbeeren unter Berücksichtigung des Alters und der Konkurrenzsituation im Bestand, soll die Aufstellung von Behandlungsempfehlungen ermöglichen.

Folgende Teilhypothesen wurden bezüglich der Wachstumsreaktionen aufgestellt:

- (1) Die physiologisch gesteuerte und morphologisch messbare Wachstumsreaktion ist in starkem Maße vom Alter der Vogelbeere abhängig. Die Wachstumsreaktion folgt in ihrer Ausprägung dem typischen Verlauf von Pionierbaumarten, die in ihrem physiologischen Lebensalter, im Vergleich zu Klimax-Baumarten, deutlich begrenzt sind. Daraus leitet sich ab, dass eine frühe Förderung einzelner Vogelbeeren eine besonders starke unmittelbare Wachstumsreaktion des Einzelbaumes, gemessen an dessen absolutem Zuwachs, nach sich zieht.
- (2) Insgesamt ist die Wachstumsreaktion der einzelnen Vogelbeeren stark von der soziologischen Stellung vor der Freistellung ab. Zuvor stark unterdrückte Individuen können eine zeitlich verzögerte oder deutlich verminderte Reaktionsfähigkeit aufweisen (WAGNER und RÖKER 1999 und 2000). Im Vergleich dazu profitieren Vogelbeeren, die bereits zuvor in einer herrschenden soziologischen Stellung innerhalb des Bestandesgefüges waren.
- (3) Die Wachstumsreaktion der Vogelbeeren ist zunächst abhängig vom Grad der Freistellung. Dabei werden die einzelnen Wachstumsgrößen unterschiedlich stark beeinflusst. Es ist von einer deutlichen Wachstumsreaktion der Kronenkompartimente (Blatt- und Astmasse, Kronenausdehnung) auszugehen, während die Reaktionen des Durchmessers und der Baumhöhe verzögert sind. Aufgrund der allometrischen Beziehungen zwischen den Wachstumsgrößen weisen jedoch alle Baumkompartimente

messbare Reaktionen auf (DRINKWATER 1960, BALDWIN et al. 2000, UTSCHIG und PRETZSCH 2001, SIMARD et al. 2004, UHL 2009).

- (4) Die Baumreaktion unterliegt einer zeitlichen Verzögerung, da sich die Vogelbeeren, je nach Ausgangssituation, im Bestandesgefüge an die veränderten Umwelt- und Konkurrenzbedingungen anpassen müssen. Der zeitliche Abstand der Wachstumsreaktion ist erneut abhängig vom Alter, der soziologischen Stellung und der Konkurrenzsituation vor der Freistellung. Es ist nicht zu erwarten, dass die Vogelbeeren in der unmittelbar folgenden Vegetationsperiode bereits die volle Wachstumsreaktion zeigen, ggf. ist sogar mit Stresssymptomen zu rechnen. Es ist von einer asymptotischen Annäherung an das Wachstumsverhalten in Abhängigkeit von der Bestandessituation auszugehen. Ein zweiter Förderungseingriff wird daher frühestens nach Adaption des Baumes an die neuen Umweltbedingungen als sinnvoll erachtet.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Inventur von Einzelmischungen

#### 2.1.1 Datenabfrage im Programm FESA

Zur Potentialerfassung und zur Überprüfung der forstpraktischen Relevanz der Untersuchungen wurde das quantitative Vorkommen von Vogelbeeren als Einzelbaummischung in Fichten-Jungbeständen in den mittleren Lagen des Erzgebirges mit Hilfe einer Abfrage aus der Datenbank des Forsteinrichtungssystem **Sachsens** (FESA) in der damaligen Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Abteilung Waldökologie / Forsteinrichtung im Referat 35 eingeschätzt.<sup>3</sup> Die aus der Datenbank ausgewählten Bestände wurden später stichprobenartig mittels einer terrestrischen Inventur nach Quantität und Qualität der vorkommenden Vogelbeeren untersucht, um die Datenlage zu verifizieren.

#### 2.1.2 Datengrundlage

##### 2.1.2.1 Stichprobe

Die Abfrage aus der Datenbank ergab eine Grundgesamtheit an Zielbeständen, die zuvor durch spezifische Kriterien eingegrenzt wurde. Es wurden nur Flächen des Landeswaldes abgefragt. Zunächst wurden alle Flächen einbezogen, die dem Bestandeszustandstyp „Fichte“ zugeordnet werden konnten. Dazu zählen z.B. auch Bestände des Typs „Fichte mit hohem Laubbaumanteil“ (FI-LM), in denen ein Mischungsanteil der Laubbäume von > 20 % ausgewiesen war. So waren z.B. die Bestände, in denen der waldbauliche Versuch angelegt wurde, nach der Forsteinrichtung auch dem Typ „FI-LM“ zugeordnet. Weiterhin wurde das Alter der Bestände bis einschließlich 50 Jahre eingegrenzt, da sich die Auswahl auf Fichtenbestände der Jungbestandphase beschränken sollte. Nach der „Arbeitsanweisung zur bestandesweisen Zustandserfassung und Planung“ (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN 1995) der sächsischen Forsteinrichtung findet eine Mischbaumart bei der Einrichtungsinventur Beachtung, wenn ihr Mischungsanteil an der Bestockung mind. 5 % erreicht, oder wenn das Kriterium „wertvolle Baumart“ zutrifft und die Fläche dieser Baumart dann mindestens 0,1 ha bestockt.

---

<sup>3</sup> heute Referat 44 für Forsteinrichtung, Waldbewertung und Waldinventuren im Staatsbetrieb Sachsenforst, Stand: 01.01.2013

Sechsendsechzig Prozent der Waldfläche Sachsens befinden sich auf Standorten mittlerer Nährkraftstufe (M+ bis M-) (SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTWIRTSCHAFT 1996). Daher erschien es sinnvoll, diese Standortsform als repräsentativ für den Landeswald Sachsens zu betrachten und eine Abfrage auf diese Standorte zu beschränken. Weiterhin sollte die Baumart Vogelbeere im Oberstand des Fichtenhauptbestandes eingemischt sein. Gemäß der „Arbeitsanweisung zur bestandesweisen Zustandserfassung und Planung“ (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN 1995) gehören Bäume dem Oberstand an, „...wenn sie an der Bestandesschicht teilhaben, die maßgeblich das Kronendach bildet“. Weiterhin zählen Bäume zum Oberstand, wenn sie „...eine[r] in das Kronendach einwachsende[n] Schicht mit Zwischenstandscharakter [angehören], sofern deren Höhe zwei Drittel der Oberhöhe des Kronendaches bzw. 20m absolut überschritten hat.“ Von Interesse waren insbesondere auch die Bestände, in denen die Vogelbeere nur im Textteil erwähnt wurde, d.h. Bestände, bei denen die Vogelbeere laut Forsteinrichtung einen Mischungsanteil von < 5 % aufwies. In solchen Fällen können vom Forsteinrichter, ergänzend zu den vorgegebenen codierten Merkmalen der Bestandesbeschreibung, textliche Hinweise zum Bestandaufbau gegeben werden. Die Hinweise können mit Angabe der relevanten Bestandesnummer aufgelistet, aber auch auf die gesamte Teilfläche bezogen werden (REINWARTH 2002)<sup>4</sup>. An dieser Stelle sei bemerkt, dass es im Ermessen des Einrichters liegt, wie ausführlich und genau die textliche Bestandesbeschreibung getätigt wird. Der Text kann frei gestaltet sein. Zum Zeitpunkt der Abfrage waren die damaligen Forstamtsbereiche Lauter, Heinzebank, Leubnitz, Stollberg, Adorf, Bad Gottleuba und Grünhain noch nicht eingerichtet (siehe Abb. 2). Die Forsteinrichtungsdaten dieser Forstamtsbereiche besaßen in der FESA-Datenbank keine Textteile, da es sich noch um fortgeschriebene Daten des Datenspeicher Waldfonds handelte.

---

<sup>4</sup> mündliche Mitteilung



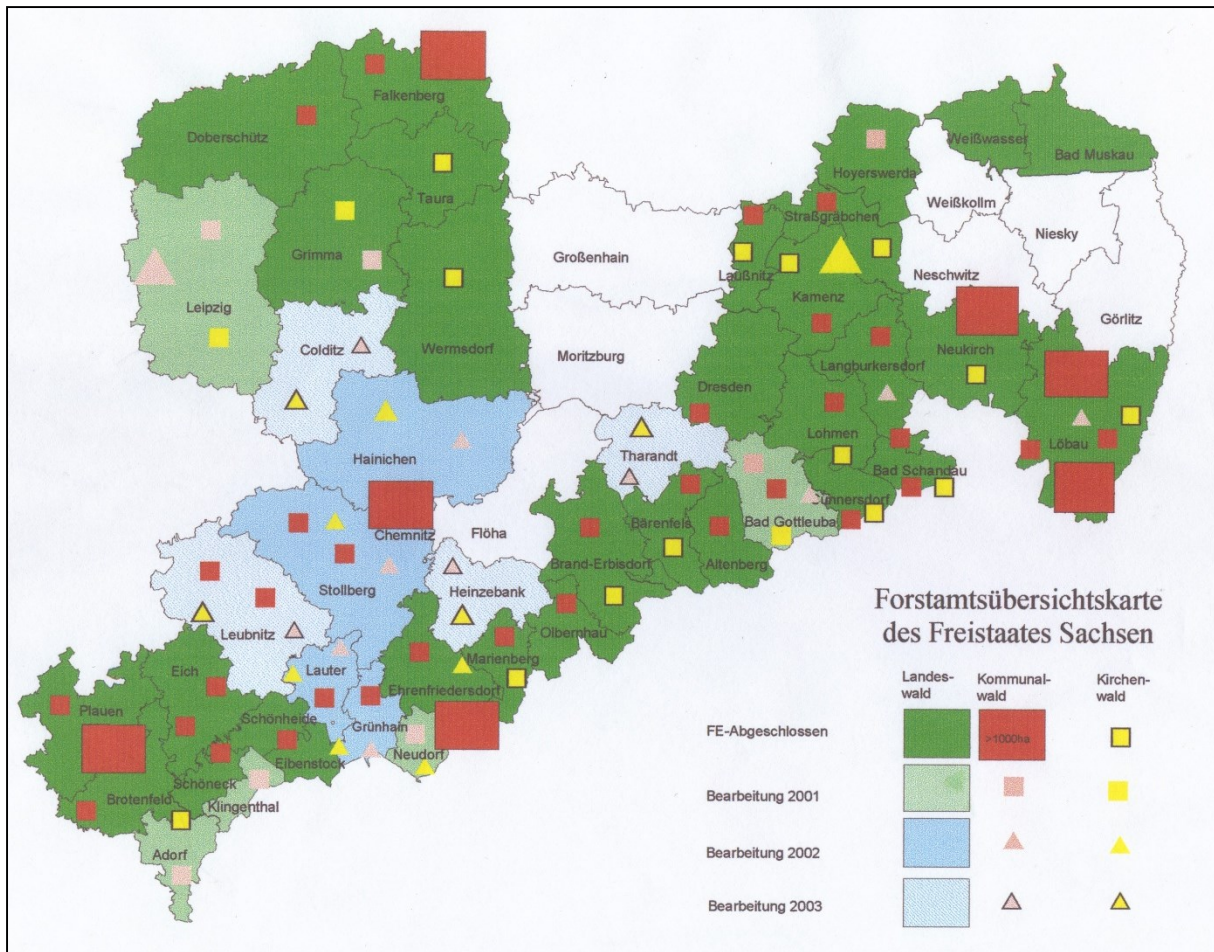


Abb. 2: Stand der Forsteinrichtung im Freistaat Sachsen, September 2001

Die Bestände dieser 7 Forstamtsbereiche, bei denen die Vogelbeere im Textteil erwähnt sein könnte, fehlen im Ergebnis der ausgewerteten „Textbestände“. Außer den Mischungsformen „ein Horst“ oder „ein Kleinbestand“ wurden alle anderen möglichen Mischungsformen der Vogelbeere im Bestand („baumweise“, „truppweise“, „gruppenweise“, „horstweise“ und „reihen- oder streifenweise“) zur Abfrage zugelassen, da bei diesen Mischungsformen häufig die Mischungslage „auf ganzer Fläche“ vorzufinden ist. Vogelbeere als Hauptbaumart oder im Reinbestand wurde nicht abgefragt. Die Grundgesamtheit bestand anschließend aus 358 Ziel-Beständen, welche über 18 Forstämter verteilt waren.

Folgende Hinweise zur Struktur der abgefragten Daten müssen außerdem gegeben werden:

- Bei der Erwähnung der Baumart Vogelbeere im Textteil kann keine Flächenangabe zu dieser Baumart gegeben werden. Das Vorkommen muss vom Forsteinrichter nicht zwingend einem Bestand zugeordnet werden, daher kann es sich auch auf die gesamte Teilfläche beziehen. Im Ergebnis kann daher nur die Anzahl von Teilflächen bzw. Wirt-

schaftseinheiten, in denen Vogelbeeren in irgendeiner Mischungsform vorkommen, angegeben werden.

- In manchen Fällen existieren keine Angaben über die Mischungslage und Mischungsform der Baumart Vogelbeere. Wenn diese Angaben schon für eine andere Mischbaumart existieren, muss der Forsteinrichter dies nicht mehr für die weiteren Baumarten angeben.
- Die Stichtage der jeweiligen Forsteinrichtungen sind (natürlich) unterschiedlich: Forstamt Bärenfels und Forstamt Olbernhau wurden zum Stichtag 01.01.1999 eingerichtet, Forstamt Brand-Erbisdorf zum 01.01.2001.

### 2.1.2.2 Terrestrische Stichprobe aus der FESA-Datenbankabfrage

Zur Durchführung der terrestrischen Aufnahme wurde aus der Grundgesamtheit der 358 Bestände der FESA-Datenbankabfrage eine Stichprobe mit folgendem Algorithmus gezogen: zunächst wurden nur die Forstämter herausgesucht, in denen 80 % der Bestände mit einem Vorkommen der Baumart Vogelbeere nach den in Kapitel 2.1.2.1 genannten Kriterien lagen. Dies waren insgesamt 8 Forstämter. Danach wurde die Stichprobe auf eine Anzahl von Forstämtern begrenzt, in denen 50 % der Bestände lagen. Dies waren die damaligen Forstämter Brand-Erbisdorf<sup>5</sup> (74 Bestände), Olbernhau<sup>3</sup> (56 Bestände) und Bärenfels (48 Bestände) mit insgesamt 178 Beständen.

Da man annehmen kann, dass das Vorkommen von Einzelbaummischungen der Vogelbeere vom Alter der Bestände und / oder der Flächengröße abhängig sein könnte, wurde die Stichprobe für die terrestrische Inventur weiterhin abgestuft und eine Unterstichprobe gewichtet nach Alter und Größe der Bestände ermittelt (27 Bestände ohne Flächengrößenangabe mussten dabei weggelassen werden). Diese Unterstichprobe wurde mit der PPS-Methode (**P**ropability **P**roportional to **S**ize, in KRAMER und AKÇA (1987, S. 126 ff.) auch „Listenstichprobe“ genannt) gezogen. Dazu wurden die Häufigkeiten der Bestände (Tab. 3) nach Alter und Flächengröße aufgelistet. Die Altersklasseneinteilung wurde in 10-Jahres-Schritten (AK 1 = 0 bis 9 Jahre, AK 2 = 10 bis 19 Jahre, usw.) gewählt. Fichtenbestände im Alter 50 wurden der AK 5 zugesprochen, um sie noch in die Auswertung mit einzubeziehen. Eine terrestrische Beprobung der AK 1 wurde nicht durchgeführt, da die Untersuchung auf die Kartierung von etablierten Vogelbeeren in Fichtenreinbeständen abzielte. In der Altersstufe 0 bis 10 Jahre wurde nicht von einer grundsätzlichen Etablierung der Vogelbeeren ausgegangen.

---

<sup>5</sup> heutiger Forstbezirk Marienberg

Die Spannweite der Teilflächengrößen erstreckte sich von 0,2 bis 13,5 ha. Mit dem Quotienten für eine gewünschte Klassenbreite von 1,9 ha und der Spannweite der Flächengröße wurde die Klassenstufenanzahl von 7 errechnet (Gleichung 1).

$$\text{Klassenstufenzahl} = \frac{x \times \frac{KB}{2}}{KB} \quad \text{Gleichung 1}$$

KB = Klassenbreite  
x = Spannweite

Daraus ergab sich eine Aufteilung gestaffelt nach Alter und Teilflächengröße (Tab. 3). Aus jeder Kategorie von je 5 vorkommenden Beständen sollten schließlich 2 Bestände beprobt werden. In jeder Stichprobeneinheit „Altersklasse-Flächengrößenklasse“ wurden die Bestände für die terrestrische Beprobung dann per Zufallsauswahl bestimmt. In der Flächengrößenklasse 10 bis 11,9 ha waren keine Bestände vorhanden. Für die terrestrische Inventur ergab sich somit eine Stichprobe von 64 Beständen.

Tab. 3: Verteilung und Auswahl der Bestände zur terrestrischen Inventur auf Flächen- und Altersklassen

Teilflächengröße [ha]	0-1,9		2-3,9		4-5,9		6-7,9		8-9,9		12-13,9		Summe	
	PPS <sup>1</sup>	terrestr. Inventur <sup>2</sup>	PPS	terrestr. Inventur	PPS	terrestr. Inventur	PPS	terrestr. Inventur	PPS	terrestr. Inventur	PPS	terrestr. Inventur	PPS	terrestr. Inventur
1 (0-9 J.)	17		3		1								21	
2 (10-19 J.)	39	16	3	2	2	2							44	20
3 (20-29 J.)	13	6	3	2	3	2							19	10
4 (30-39 J.)	13	6	3	2	3	2							19	10
5 (40-50 J.)	21	10	12	6	5	2	7	4	2	1	1	1	48	24
Summe	103	38	24	12	14	8	7	4	2	1	1	1	151	64

PPS<sup>1</sup> = Unterstichprobe gewichtet nach Alter und Größe der Bestände per PPS-Methode (KRAMER und AKÇA (1987, S. 126 ff.)

terrestr. Inventur<sup>2</sup> = aus jeder Kategorie der PPS-Unterstichprobe wurden je „5er-Stratum“ vorkommender Bestände abschließend 2 Bestände und für jedes „angebrochene“ 5er-Stratum ebenfalls 2 ausgewählt

Abbildung 3 stellt den gesamten Algorithmus der Datenabfrage nach den spezifischen Kriterien und der anschließenden Stichprobenziehung der Bestände zur terrestrischen Inventur dar.

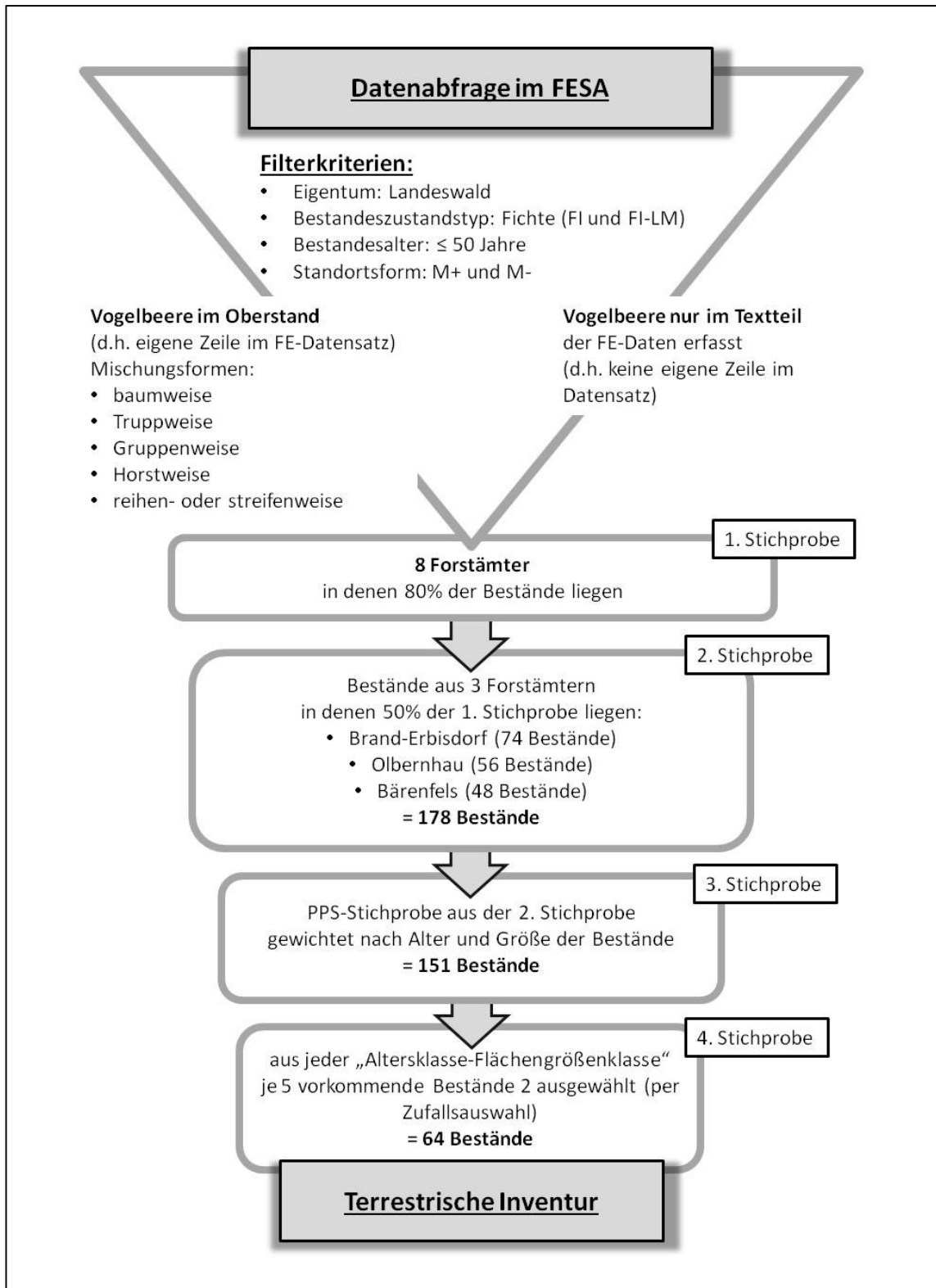


Abb. 3: Algorithmus der Datenabfrage nach den spezifischen Kriterien und der anschließenden Stichprobenziehung der Bestände zur terrestrischen Inventur

## 2.1.2.3 Terrestrische Inventur / Waldaufnahme

### 2.1.2.3.1 Vogelbeere

Die terrestrische Stichprobe wurde im Frühjahr 2002 durchgeführt. Die Vogelbeeren waren zu diesem Zeitpunkt im unbelaubten Zustand. In jedem ausgewählten Bestand wurden **alle** Vogelbeeren, die dem Untersuchungsziel entsprachen, d.h. als Einzelbaummischung im Bestand stockten und mindestens bis zum Grünastbereich der Fichte reichten, aufgesucht. Vogelbeeren in truppweiser Mischung wurden dabei nicht erfasst. Bei den ersten zehn im Verlauf der Inventur aufgesuchten relevanten Vogelbeeren wurden die Baumhöhen erfasst. Aus diesen Daten wurde eine BHD-Höhenkurve erstellt, aus der für die restlichen Vogelbeeren des Bestandes die Höhen geschätzt wurden. Die Volumina der aufgenommenen Vogelbeeren konnten dann mit Hilfe des Volumenmodells nach HILLEBRAND (1998) berechnet werden. Die zugehörige Modellformel wird in Kapitel 2.2.2.4.1 dargestellt. Der Parameter BHD wurde an allen Bäumen erfasst. Die soziologische Stellung wurde in Anlehnung an ASSMANN (1961) angesprochen. ASSMANN unterteilt einen Mischbestand in drei Schichten:  $< 50\%$ ,  $< 80\%$  und  $> 80\%$  der mittleren Bestandeshöhe. Da auf den Flächen des waldbaulichen Versuchs nur wenige Vogelbeeren mit ihrer Höhe  $80\%$  der Bestandeshöhe der Hauptbaumart Fichte erreichten (s.a. Kapitel 2.2.2.2 zur Methodik Auswahl Versuchsglieder), wurde die Grenze für die obere soziologische Schicht bei mindestens  $70\%$  der mittleren Bestandeshöhe festgesetzt. So sind die drei Kategorien *unterdrückt* ( $< 50\%$ ), *bedrängt* ( $< 70\%$ ) und *mitherrschend* ( $> 70\%$ ) ausgeschieden worden.

Die Stammform wurde in „zweischnürig“, „einschnürig“ und „unschnürig“ unterteilt (Abb. 4). Eine Ansprache der Verzweiselung geschah nach METTE et al. (1989), der den Wuchs der Vogelbeere in Garbe bzw. Mehrstämmigkeit (Abb. 5a), Verwachsungszwiesel (Verzwieselung bis 0,4 m, Abb. 5b) und Gabelungszwiesel unterteilt hat (Abb. 5c).

Bei auftretenden Schälenschäden wurden diese nach alten und neuen Schäden unterschieden und der Grad der Schale angesprochen. Dabei wurden drei Stufen ausgeschieden: „gering“ wenn bis ein Drittel des Stammumfanges, „mäßig“ wenn über ein Drittel und „stark“ wenn über zwei Drittel des Stammes geschält war.

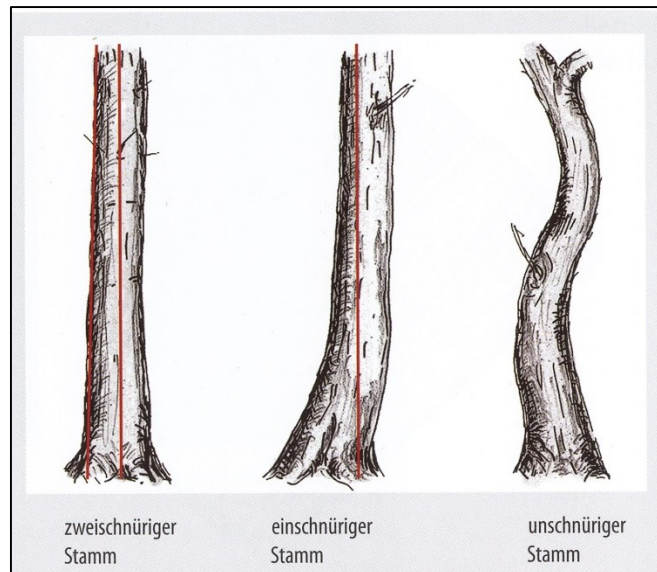


Abb. 4: Stammformen-Charakteristika (aus RICHTER 2010)

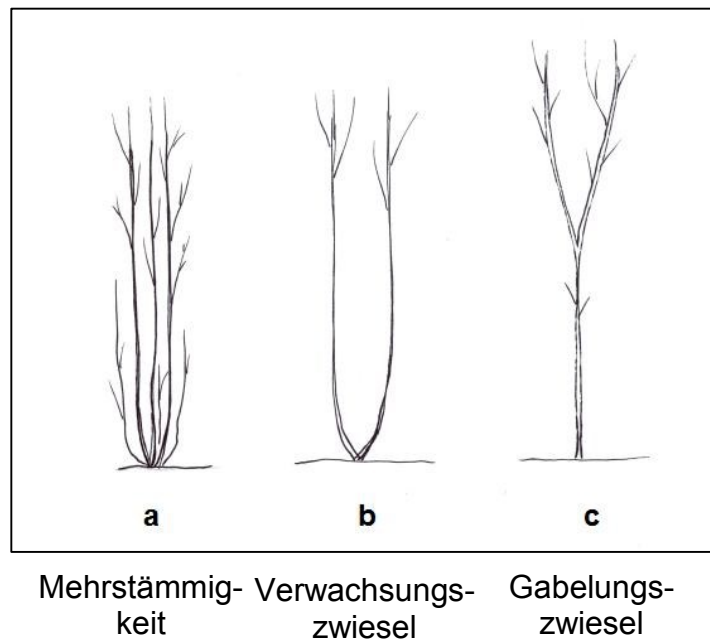


Abb.5a, b-c: Mögliche Verzweigungsformen der Baumart Vogelbeere nach METTE et al. (1989)

Die Kronenvitalität der Vogelbeeren wurde nach ROLOFF (2001) eingeschätzt. ROLOFF (2001) hat für die Hauptbaumarten und weitere wichtige Baumarten einen Vitalitätsstufenschlüssel aufgestellt. Dieser unterscheidet allgemein vier Stufen der Kronenvitalität (0, 1, 2, 3). Eine vitale und ungeschädigte Krone wird mit der Stufe 0 angesprochen, Stufe 1 gilt als geschwächt, Stufe 2 als merklich geschädigt und Stufe 3 als stark geschädigte bzw. absterbende Krone. ROLOFF (2001) empfiehlt in der Praxis auch die Differenzierung von Zwischenstufen (0,5; 1,5; 2,5 und 3,5), „...wenn es sich um uneinheitliche Kronenbilder oder Übergänge handelt“. Zur Ansprache wird nur das obere Drittel der Krone betrachtet. Weiterhin wurde bei

ROLOFF (2001) auch ein baumartenunabhängiger Vitalitätsstufenschlüssel definiert. Tabelle 4 gibt die vier Definitionsstufen des baumartenunabhängigen Vitalitätsschlüssels wieder.

Tab. 4: Baumartenunabhängiger Vitalitätsstufenschlüssel nach ROLOFF (2001, S. 117)

Vitalitätsschlüssel	Beschreibung
0	netzartige, ± gleichmäßige, ± dichte Verzweigung
1	spieß- oder flaschenbürstenartige oder längliche Kronenstrukturen
2	pinselartige Strukturen, in der Regel Kronenabwölbung
3	Absterben von Hauptästen, skelettartiger Habitus

Die Verzweigungsstruktur der Vogelbeere ist ein Monopodium mit Kurz- und Langtrieben und wird dem Kronenarchitekturmodell nach RAUH (1939) zugeteilt (BARTELS 1993). Abbildung 6a und b zeigt jeweils ein Beispiel für die Ansprache der Vitalitätsstufen anhand der Baumarten Vogelkirsche und Esche. Beide Baumarten besitzen wie die Vogelbeere eine Kronenstruktur nach dem Modell RAUH. Die Vogelbeere ist bei ROLOFF (2001) nicht unter den wichtigsten Baumarten gelistet. Bei der terrestrischen Inventur wurden daher die Definitionen des baumartenunabhängigen Vitalitätsstufenschlüssels zur Ansprache der Vitalität genutzt.

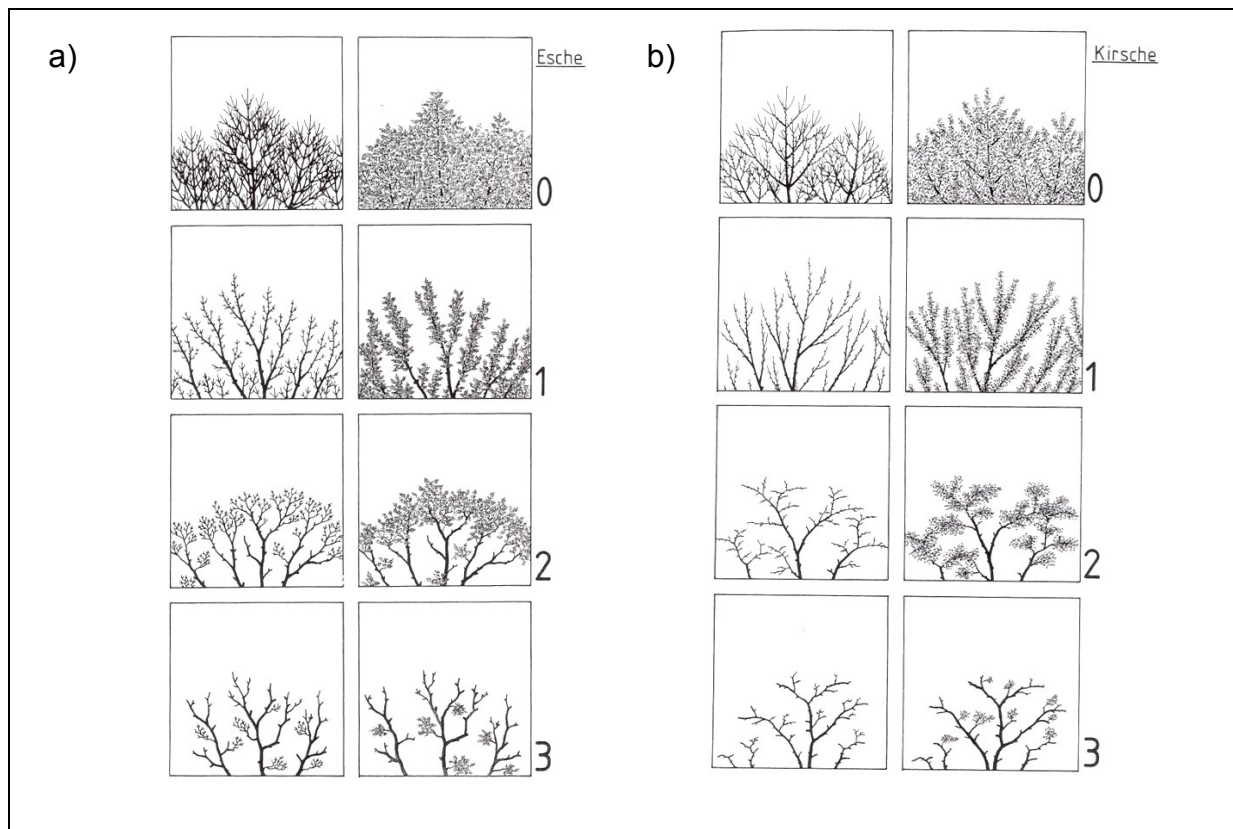


Abb. 6a-b: Vitalitätsstufen der a) Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und b) Kirsche (*Prunus avium* L.) (aus ROLOFF 2001)



### 2.1.2.3.2 Fichte

Im ausgewählten Fichtenbestand wurden ab der Altersklasse eins (10 bis 19 Jahre) je nach Homogenität des Bestandes zwischen ein bis drei Winkelzählproben zur Bestimmung der aktuellen Grundfläche und Ermittlung des Bestockungsgrades durchgeführt. Bei der Winkelzählprobe wurden alle Baumhöhen der im Suchkreis erfassten Fichten gemessen, um die Mittelhöhe des Bestandes bestimmen zu können.

## 2.2 Freistellungsexperiment

### 2.2.1 Untersuchungsgebiet

#### Gebiet

Der waldbauliche Versuch wurde im Forstbezirk Bärenfels in den Revieren Bärenfels und Seyde angelegt. Der Forstbezirk Bärenfels befindet sich im westlichen Bereich des Landkreises Sächsische Schweiz-Osterzgebirge. Er erstreckt sich im Süden bis an den Nordabfall des Erzgebirges und schließt bei Rehefeld-Zaunhaus, Zinnwald und Fürstenau unmittelbar an die tschechische Landesgrenze an. Die westliche Grenze des Bezirkes umfasst den Tharandter Wald und verläuft nördlich bis an die Autobahn A4. Im Osten reicht der Bezirk an das Gebiet der Stadt Dresden. Es wurden insgesamt vier Fichtenbestände als Versuchsflächen ausgewählt. Die Flächen liegen im Revier Seyde (zu Versuchsbeginn Revier Hartmannsdorf) im Waldteil Kreuzwald (H) bei Hartmannsdorf (Flächennummer BÄ-19) und im Waldteil Schönfeld (O) des Revieres Bärenfels bei Hennersdorf (Flächennummer BÄ-16, BÄ-26 und BÄ-32; Abb. 7).

#### Baumartenverteilung

Unter den Hauptbaumarten besitzt die Baumart Fichte im Forstbezirk Bärenfels mit 69 % den höchsten Anteil. Die Baumartenverteilungen der Reviere Seyde und Bärenfels und die ausgewählten Waldteile (Schönfeld und Kreuzwald) zeigen deutlich, wie stark die Untersuchungsgebiete von Fichte dominiert sind, der Anteil liegt jeweils weit über 80 % (Tab. 5).

Tab.5: Baumartenverteilung des Forstbezirkes Bärenfels<sup>1</sup>, der Reviere Bärenfels und Seyde und der Waldteile Kreuzwald und Schönfeld<sup>2</sup>

<b>Baumart</b>	<b>Anteil [%]</b>	<b>Revier Bärenfels</b>	<b>Revier Seyde</b>	<b>Waldteil Schönfeld</b>	<b>Waldteil Kreuzwald</b>
Fichte	69	84,1	88,2	89,9	89,6
Kiefer	9	1,1	0,5	0,0	0,0
Lärche	6	2,2	3,6	1,1	4,1
Buche	5	6,0	3,3	3,9	1,8
Birke	5	3,6	0,9	2,4	1,2
Eiche	5	0,4	0,0	0,0	0,0
Sonstige Laubbaumarten		2,2	2,0	1,8	2,4
Sonstige Nadelbaumarten		0,5	1,5	1	1
<b>Bezugsfläche</b>	<b>26.930 ha</b>	<b>1.306 ha</b> (Oberstand)	<b>1.437 ha</b> (Oberstand)	<b>549 ha</b> (Oberstand)	<b>468 ha</b> (Oberstand)

<sup>1</sup> Quelle: <http://www.smul.sachsen.de/sbs/2453.htm>

<sup>2</sup> Quelle: Staatsbetrieb Sachsenforst

### Klima

Für die Waldteile Kreuzwald und Schönfeld ist die Bärenfelder Makroklimaform mit der Klimastufe „mittlere Berglagen mit feuchtem Klima“ (Mf) ausgewiesen. Dies entspricht einem Jahresniederschlag von 850-950mm und einer Jahresdurchschnittstemperatur von 5,5 bis 7,0°C. Die Dauer der Vegetationszeit wird mit 130-145 Tagen über 10°C angegeben (SCHWANECKE und KOPP 1996). Für die betreffenden Abteilungen bzw. Waldteile kann auf regionalisierte interpolierte Raster-Klimadaten Sachsens (UDATA 2006) zurückgegriffen werden (Tab. 6 und Tab. 7).

Tab. 6: Mittlere Klimadaten für den Zeitraum 1970 bis 2003 und den Zeitraum 2000 bis 2003 in den Waldteilen Kreuzwald und Schönfeld

Zeitraum	Jahresdurchschnittstemp. [°C]		Mittlerer Jahresniederschlag [mm]		Dauer der Vegetationsperiode (Anzahl tage über 10°C)	
	Kreuzwald	Schönfeld	Kreuzwald	Schönfeld	Kreuzwald	Schönfeld
<b>1970-2003</b>	6,9	6,6	958	976	139	134
<b>2000-2003</b>	7,6	7,4	961	979	150	147

Tab. 7: Mittlere Klimadaten für die Jahre 2000, 2001, 2002 und 2003 in den Waldteilen Kreuzwald und Schönfeld

Zeitraum	Jahresdurchschnittstemp. [°C]		Mittlerer Jahresniederschlag [mm] / m <sup>2</sup>		Dauer der Vegetationsperiode (Anzahl tage über 10°C)	
	Kreuzwald	Schönfeld	Kreuzwald	Schönfeld	Kreuzwald	Schönfeld
<b>2000</b>	8,3	8,0	971	990	155	153
<b>2001</b>	7,1	6,8	1.061	1.080	147	142
<b>2002</b>	7,8	7,5	1.137	1.161	145	142
<b>2003</b>	7,6	7,3	675	686	155	153

### Standörtliche Grundlagen und potentielle natürliche Waldgesellschaft

Das Versuchsgebiet liegt im Wuchsbezirk „Obere Nordabdachung des Osterzgebirges“ und gehört somit zum Wuchsgebiet „Erzgebirge“. Das Grundgestein im Bereich der Versuchsanlagen ist dem „Kipsdorfer-Mosaikbereich“ zugeordnet. Als Lokalbodenform ist für die Versuchsfläche im Waldteil Kreuzwald eine mäßig frische „Bärensteiner-Granit-Porphyr-Braunerde“ auf dem Grundgestein Granitporphyr ausgewiesen worden. Das Substrat ist lehmiger Schluff bis sandiger Lehm, mittelgründig mit einem Skelettgehalt von 10-25 %. Bei den Versuchsflächen im Waldteil Schönfeld ist das anstehende Grundgestein Quarzporphyr, die Lokalbodenform wird als eine mäßig frische Georgenfelder Porphyr-Braunerde angegeben. Das Substrat ist lehmiger Schluff bis Lehm. Der Skelettgehalt umfasst ebenfalls einen Anteil 10-25 % (SCHWANECKE 1993). Für die Versuchsanlage sind Standorte mäßiger Trophie ausgewählt worden. Der Wasserhaushalt ist bei allen Versuchsflächen mäßig frisch,

durchschnittlich wasserversorgt. Die Versuchsfläche im Revier Seyde im Waldteil Kreuzfeld liegt mit ca. 590m ü. NN etwas tiefer als die restlichen drei Flächen. Die Standortverhältnisse auf den Versuchsflächen zeigt Tabelle 8. Die Bezeichnungen der Versuchsflächen beinhalten die Abkürzung des Namens des Forstbezirkes Bärenfels (Bä) und das Alter des Fichtenbestandes auf der Versuchsfläche zu Versuchsbeginn.

Tab. 8: Standortliche Verhältnisse im Bereich der Versuchsanlage

<b>Versuchsflächen- bezeichnung</b>	<b>Bä-16</b>	<b>Bä-19</b>	<b>Bä-26</b>	<b>Bä-32</b>
Forstorts- bezeichnung	Rev. 06, Bärenfels Waldteil O Abt. 335a <sup>3</sup> B1	Rev. 04, Seyde Waldteil H Abt. 336a <sup>2</sup> B1	Rev. 06, Bärenfels Waldteil O Abt. 335a <sup>2</sup> B1	Rev. 06, Bärenfels Waldteil O Abt. 332a1 B2
Standortseinheit	TM2	TM2	TM2	TM2
Klimastufe	mittlere Berglagen mit feuchtem Klima (mf)	mittlere Berglagen mit feuchtem Klima (mf)	mittlere Berglagen mit feuchtem Klima (mf)	mittlere Berglagen mit feuchtem Klima (mf)
Exposition	eben	süd	eben	eben
Höhenlage	640 m ü. NN	590 m ü. NN	640 m ü. NN	640 m ü. NN

Die natürliche Waldgesellschaft ist auf allen Flächen ein montaner Hainsimsen-(Tannen-Fichten-) Buchenwald (SCHWANECKE und KOPP 1996, SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN 1998).

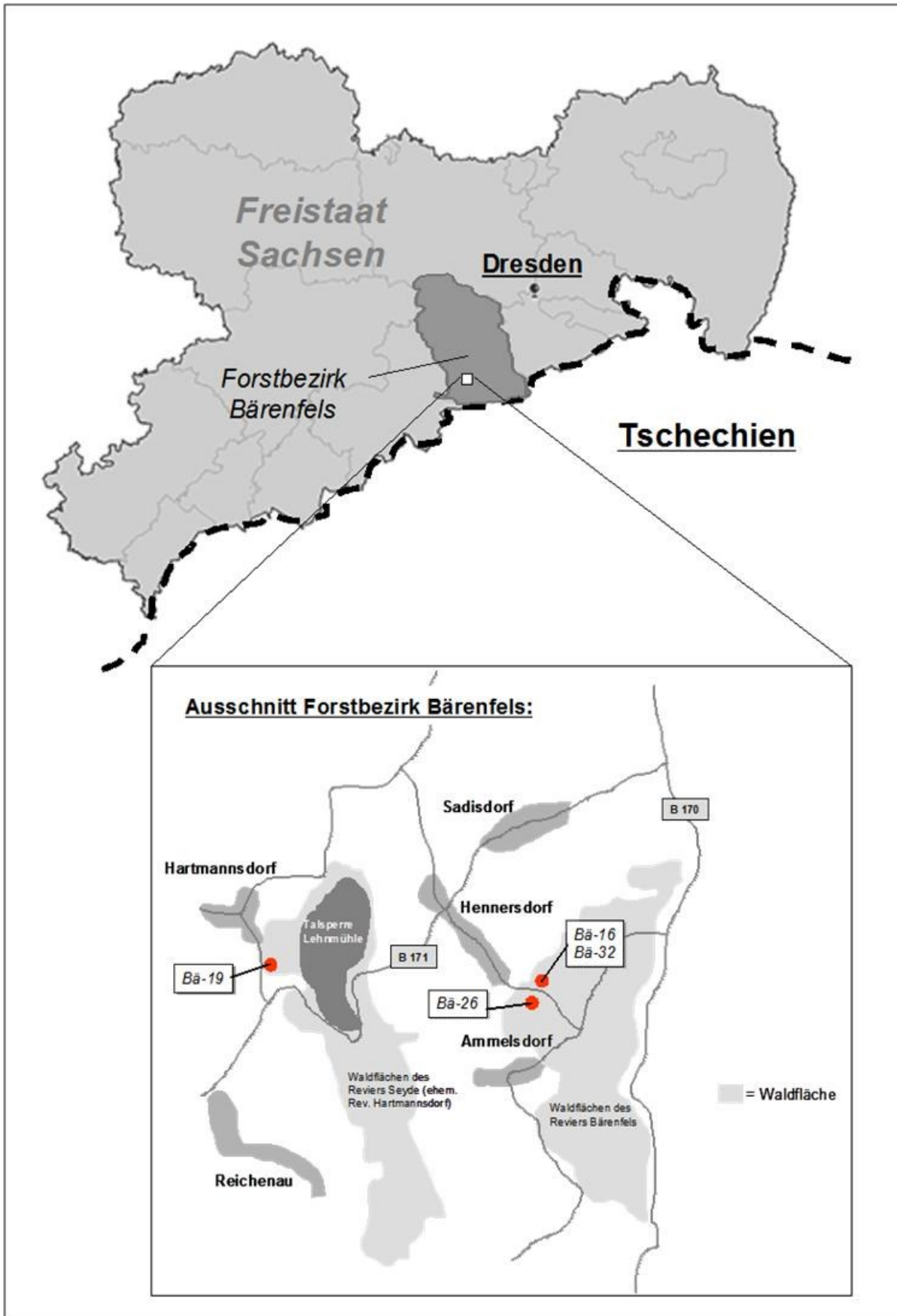


Abb. 7: Lage der Versuchsflächen im Forstbezirk Bärenfels

## 2.2.2 Versuchsaufbau

Ziel des Versuchsplans ist die Zuwachsreaktion verschiedener Wachstumsparameter von Einzelbäumen in Abhängigkeit der Faktoren

- Alter des Bestandes
- Konkurrenzsituation des Einzelbaumes im Bestand
- und Stärke der Freistellung zu untersuchen.

Die Einzelbäume der Vogelbeere und die Fichtenkonkurrenten sind dabei Versuchs- und Aufnahmeeinheit. Der Versuchsplan besteht aus einer mehrfaktoriellen Anlage. Die Haupteinheit ist der Bestand, der als „Block“ betrachtet werden kann. Insgesamt sind 4 Blöcke unterschiedlichen Alters angelegt worden. Für die Blöcke gibt es keine Wiederholung. Die Bäume sind innerhalb jedes Blockes aufgrund ihrer Beschaffenheit drei unterschiedlichen Konkurrenzsituationen (niedrig, mittel und hoch) zugeordnet worden. Jede dieser drei Konkurrenzsituationen wurde außerdem mit einer unterschiedlichen „Art der Freistellung“ (keine, mäßige und starke) behandelt. Grundlegend war es vorgesehen, den so entstandenen „Zellen“ immer 2 Vogelbeeren zuzuordnen. Die Vogelbeeren sind je nach Behandlung zufällig auf der Fläche verteilt. Die Faktoren „Alter“, „Konkurrenzsituation“ und „Freistellung“ fließen als feste Effekte in das Design ein. Abbildung 8 zeigt schematisch den Aufbau des gesamten Versuchsplans.

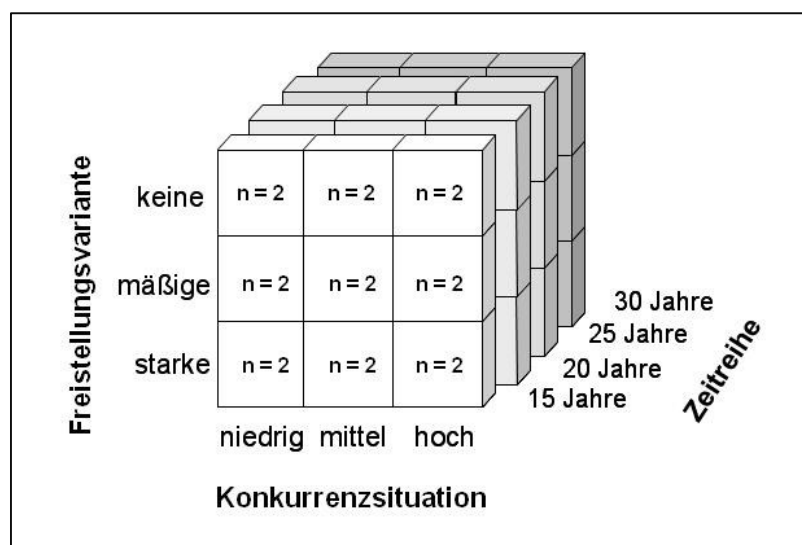


Abb. 8: Schematische Darstellung des experimentellen Designs

### 2.2.2.1 Wuchsreihe

Die Anlage der Versuchsflächen erfolgte innerhalb einer unechten Zeitreihe (Wuchsreihen) mit der Hauptbaumart Fichte. PRETZSCH (2002) beschreibt die Anwendung der unechten Zeitreihenmethodik als einen Ersatz für eine echte Zeitreihe bei Ermangelung von Dauerversuchsflächen zur Untersuchung einer Altersentwicklung über eine gewünschte Altersspanne. Ein zeitliches Nacheinander der echten Wuchsreihe wird dann durch ein räumliches Nebeneinander der unechten Zeitreihe ersetzt (WENK et al. 1990) (Abb. 9). Auf die Methodik von Wuchsreihen geht auch BIBER (1996, S. 23 ff.) ein. Die Probleme und Unzulänglichkeiten unechter Wuchsreihen stellen JOHNSON et al. (1994) beispielhaft vor.

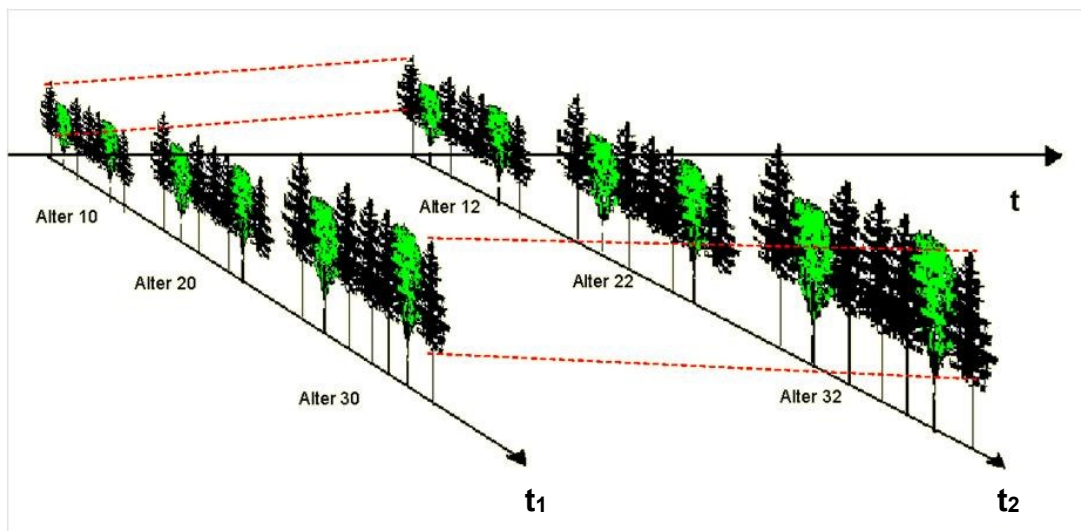


Abb. 9: Schematische Darstellung einer unechten Wuchsreihe mit einem Übergang zu einer echten Wuchsreihe

In den hier angestellten Untersuchungen soll dabei nicht die Beobachtung der Altersentwicklung der Zielbäume vordergründig sein. Vielmehr sollen mögliche Wuchsreaktionen nach einer Freistellung in unterschiedlich alten Fichtenbeständen der Jungbestandsphase Gegenstand der Untersuchung sein, um den günstigsten Zeitpunkt der Freistellung in dieser Wuchsphase zu bestimmen. Dazu wurden vier Fichtenbestände auf gleichem Standort (M2) im Alter 16 Jahre (Fläche Bä-16), 19 Jahre (Bä-19), 26 Jahre (Bä-26) und 32 Jahre (Bä-32) mit entsprechender einzelbaumweiser Beimischung von Vogelbeere im Oberstand ausgewählt. Die Konzentration auf Standorte mäßiger Trophie geschah vor dem Hintergrund, waldbaulich repräsentative Standorte zu untersuchen und Extremstandorte außen vor zu lassen.

Der Bestand der Versuchsfläche Bä-19 wurde von der Forsteinrichtung zum Stichtag 1999 mit einem mittleren Alter von 19 Jahren und einer Altersspanne von 17 bis 22 Jahren angege-

ben. Jahrringzählungen an Bohrspänen eines Zuwachsbohrers ergaben für den Fichtenbestand, in dem die Probebäume der Vogelbeere stockten, ein Alter von 19 Jahren zu Versuchsbeginn. Tabelle 9 fasst die wichtigsten Daten der Fichtenbestände zusammen. Abbildung 10 und 11 zeigen die Lage der Versuchsbestände im Luftbild.

Tab. 9: Kennzeichen der für die Wuchserie ausgewählten Fichtenbestände

<b>Versuchsflächen- bezeichnung</b>	<b>Bä-16</b>	<b>Bä-19</b>	<b>Bä-26</b>	<b>Bä-32</b>
<b>Bezeichnung des Forstortes</b>	Rev. 06, Waldteil O Abt. 335a <sup>3</sup> B1	Rev. 04, Waldteil H Abt. 336a <sup>2</sup> B1	Rev. 06, Waldteil O Abt. 335a <sup>2</sup> B1	Rev. 06, Waldteil O Abt. 332a <sup>1</sup> B2
<b>Alter des Fichtenbestandes zu Versuchsbeginn (Jahre)</b>	16	19 (17-22) <sup>2</sup>	26	32
<b>Mittlere Höhe Fichte [m]</b>	7,2	9,9	9,2	13,5
<b>Mittlerer BHD Fichte [cm]</b>	10,6	15,5	13,4	16,4
<b>Bestandesschluss zu Ver- suchsbeginn</b>	locker bis licht	geschlossen	geschlossen	locker bis licht
<b>Bonität<sup>1</sup></b>	M 32	M 32; I,5	M 28; II,5	M 30; II,0
<b>DGZ-Bonität<sup>2</sup></b>	13	15	13	13
<b>Volumenschlussgrad<sup>2</sup></b>	0,6	0,8	0,9	0,9

<sup>1</sup> nach WENK, RÖMISCH UND GEROLD (1984)

<sup>2</sup> Forsteinrichtungsdaten des Landesforstpräsidium; Stichtag 1999



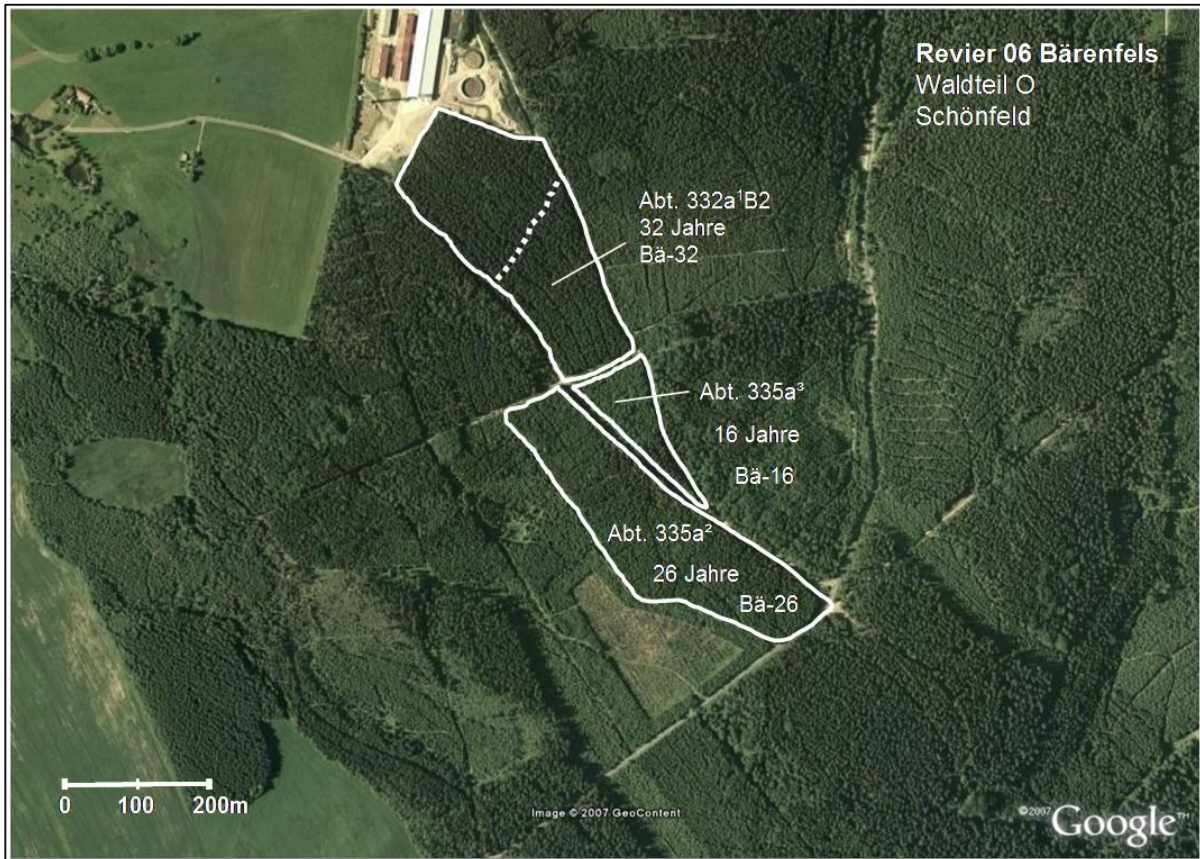


Abb. 10: Lage der Versuchsflächen im Luftbild; Flächennummer Bā-16, Bā-26 und Bā-32; Revier Bärenfels (Quelle: Google-Earth)

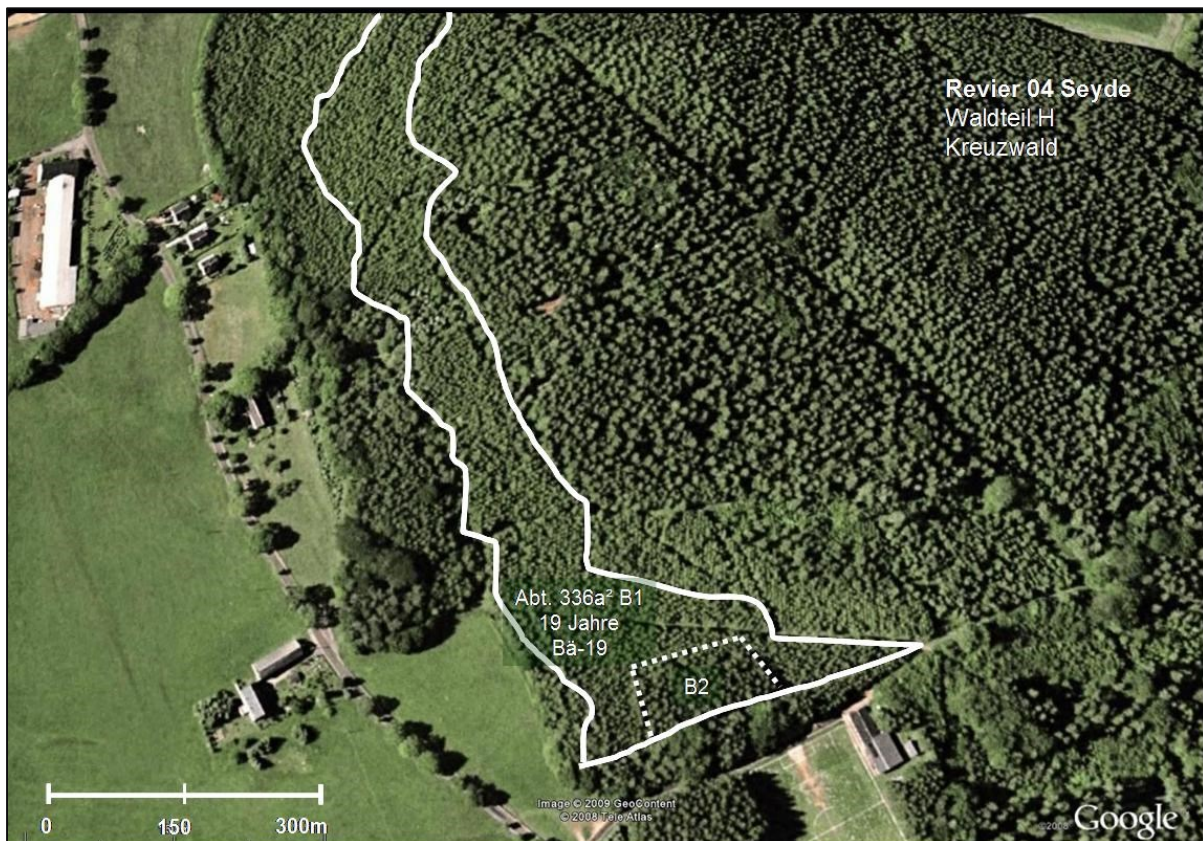


Abb. 11: Lage der Versuchsflächen im Luftbild; Flächennummer Bā-19; Revier Seyde (Quelle: Google-Earth)

## 2.2.2.2 Auswahl der Versuchsglieder

### 2.2.2.2.1 Vogelbeeren

Für das Freistellungsexperiment war es von grundlegender Bedeutung Bäume in unterschiedlichen soziologischen Stellungen bzw. Konkurrenzsituationen in das Versuchsdesign einzubeziehen, um die Auswirkungen der Freistellungsvarianten in Abhängigkeit der Konkurrenz des einzelnen Baumes untersuchen zu können. Zur Gewährleistung einer repräsentativen Spannweite von Versuchsbäumen in unterschiedlichen Konkurrenzsituationen wurde daher für eine Vorauswahl die soziologische Stellung aller im Bestand vorgefundenen einzelbaumweise eingemischten Vogelbeeren zunächst subjektiv in Anlehnung an ASSMANN (1961) angesprochen. ASSMANN (1961) unterteilt einen Mischbestand in drei Schichten:  $< 50\%$ ,  $< 80\%$  und  $> 80\%$  der oberen Bestandeshöhe. Da auf den Versuchsfeldern nur wenige Vogelbeeren mit ihrer Höhe  $80\%$  der Bestandeshöhe der Hauptbaumart Fichte erreichten, wurde die Grenze für die obere soziologische Schicht bei mindestens  $70\%$  der oberen Bestandeshöhe festgesetzt. So konnten vorläufig die drei Kategorien *unterdrückt* ( $< 50\%$ ), *beherrscht* ( $< 70\%$ ) und *mit-herrschend* ( $> 70\%$ ) ausgeschieden werden. Mit dem Parameter „soziologische Stellung“ wurden keine weiteren Berechnungen durchgeführt, er diente nur zur repräsentativen Vorauswahl der Bäume.

In den Fichtenbeständen wurden insgesamt 68 Vogelbeeren (3 x 18 + 14 Vogelbeeren in der Alterstufe 32) in drei unterschiedlichen soziologischen Stellungen als Probebäume (Zentralbäume) bestimmt. Zur Auswahl kamen möglichst unbeschädigte, aus Kernwuchs stammende Bäume. Die Abstände der Versuchseinheiten (Probebaum und Fichtenkonkurrenten) wurden so weit voneinander gewählt, dass sich die einzelnen Probebäume keinen Konkurrenten teilen. Alle Vogelbeeren wurden mit einer „Wildschutz-Spirale“ umwickelt, um Schältschäden durch Rotwild vorbeugen zu können.

Zusätzlich wurden 14 Referenzbäume, die nicht zum Versuchsdesign gehörten, auf den Flächen ausgewählt. An diesen wurden destruktive Beprobungen durchgeführt, um allometrische Beziehungen für weitere Untersuchungen ermitteln zu können (s. Kapitel 2.2.2.5 Allometrische Beziehungen).

### 2.2.2.2.2 Fichtenkonkurrenten und Konkurrenzsituation

Wie schon bei der Auswahl der Vogelbeeren beschrieben, sollte die Konkurrenzsituation der einzelnen Probebäume als wichtiger Faktor im Versuchsdesign erfasst werden. Die Konkurrenzsituation des einzelnen Probebaumes wurde durch die Wuchskonstellation der ihn umgebenden Fichtenkonkurrenten geprägt. Letztendlich steuerte das ermittelte Maß der Konkurrenzsituation die experimentelle Freistellung im Versuch (s. Kapitel 2.2.2.3). Für die Erfassung und Quantifizierung der Konkurrenzsituation ergaben sich zunächst folgende Fragestellungen:

- Konkurrentenauswahl: Welcher Fichtennachbar konnte für den Vogelbeer-Probebaum als Konkurrent identifiziert werden?
- Konkurrenzwert: Wie war der jeweilige Einfluss des Konkurrenten zu quantifizieren?
- Konkurrenzwirkung: Mit welchen Instrumenten konnte das Maß der gesamten Konkurrenzsituation für den Probebaum bestimmt werden?

Die Begrifflichkeiten „Konkurrentenauswahl“, „Konkurrenzwert“ und „Konkurrenzwirkung“ sind in Anlehnung an MÜNDER (2005) gewählt.

#### Konkurrenz

Zahlreiche Studien aus dem forstwissenschaftlichen Bereich haben sich in den vergangenen Jahrzehnten mit Konkurrenzverhältnissen innerhalb von Beständen und zwischen Einzelbäumen befasst. Im Rahmen dieser Arbeit soll nicht vertiefend auf die jeweiligen Definitionen eingegangen werden. Weitere Ausführungen zum Thema Konkurrenz zwischen Einzelbäumen sind u.a. bei BIGING und DOBBERTIN (1992), AMMER (1996), BIBER (1996) und PRETZSCH (2002) nachzulesen. Die Arbeit von AMMER (1996) weist auf weitere ökologische Unterteilungen von Konkurrenz hin und auf Variationen, z.B. in zeitlicher Hinsicht und mit Blick auf Umweltveränderungen. Eine Zusammenfassung findet sich auch in MÜNDER (2005).

Einzig die Definition für Konkurrenz von BEGON et al. (1998) soll an dieser Stelle erwähnt werden. Die Definition kann allgemein für ökologische Bereiche geltend aufgefasst werden. Sie unterstützt auch den grundlegenden methodischen Ansatz der vorliegenden Studie.

Nach BEGON et al. (1998) ist Konkurrenz *„Eine Wechselbeziehung zwischen Individuen, die sich aus gemeinsamen Ansprüchen auf eine begrenzte Ressource ergibt und die zu einer Be-*

*einträchtigung des Überlebens, des Wachstums und / oder der Vermehrung der beteiligten Arten führt.“.*

In der vorliegenden Arbeit wird die interspezifische Konkurrenz zwischen den Baumarten Fichte und Vogelbeere untersucht, bei der eine Beeinträchtigung des Wachstums der Vogelbeere durch die Konkurrenz der Fichte im Vorfeld der Untersuchungen vermutet wird.

In LEE und GADOW (1997) werden drei Methoden zur Bestimmung von Konkurrenzsituationen zwischen Bäumen beschrieben:

Typ A: überlappende Einflusszonen,

Typ B: distanzgewogene Größenverhältnisse und

Typ C: verfügbarer Wuchsraum.

Für das waldbauliche Experiment wird angenommen, dass die distanzgewogenen Größenverhältnisse (Typ B) und der verfügbare Wuchsraum (Typ C) methodisch relevant sein werden. Detailliertere Ausführungen zu diesen methodischen Ansätzen werden in den nachfolgenden Beschreibungen zur angewandten Methodik gegeben.

### Konkurrenzindizes

Konkurrenzindizes haben zur Quantifizierung von Ressourcenverfügbarkeiten, (äußeren) Wuchsbedingungen und zur Präzisierung von Wachstumsmustern für Einzelbäume eine erhebliche forstwissenschaftliche Bedeutung erlangt (TOMÉ und BURKHART 1989, PRETZSCH 2002). Anfänglich wurden (in der klassischen Ertragskunde) überwiegend Wuchsverhältnisse und Charakteristika von Reinbeständen mit Hilfe von Kennwerten für die gesamte Bestandesentwicklung untersucht (KRAMER 1988, BIBER 1996, WAGNER und SPELLMANN 1995, PRETZSCH 2002). Die Entwicklung des einzelnen Baumes wurde dabei kaum beachtet und ein „...weitgehend uniformes Erscheinungsbild und Verhalten aller Bestandesglieder...“ unterstellt (PRETZSCH 2002). Einen Überblick über die gebräuchlichen Indizes geben u.a. BIGING und DOBBERTIN (1992), AMMER (1996), BACHMANN (1998) und RIVAS et al. (2005).

Allgemein kann festgehalten werden, dass Konkurrenzindizes Maßzahlen bzw. Kenngrößen zur Beschreibung und Quantifizierung oberirdischer Konkurrenz zwischen Bäumen einer oder verschiedener Arten um Wachstumsressourcen sind. Zu ihrer Berechnung werden bestimmte Eingangsgrößen wie (Baum-)Art, Höhe, BHD und Position zueinander benötigt. PRETZSCH

(2002) führt dazu aus: „[...] Konkurrenzindizes [...] versuchen die Ressourcenverfügbarkeit für Einzelbäume innerhalb eines Bestandes in einer oder wenigen Kenngrößen zu verdichten.“ Diese Ressourcenverfügbarkeit könne man mit den gefundenen Maßzahlen auch in Abhängigkeit von Baumart, Standort und Bestandesstruktur charakterisieren.

MUNRO (1974, zit. in TOMÉ und BURKHARDT 1989) unterscheidet grundsätzlich zwischen positionsabhängigen und –unabhängigen Indizes. TOMÉ und BURKHART (1989) unterteilen die positionsabhängigen Indizes in vier Kategorien:

- *Area overlap indices*
- *Point density measure*
- *Distance-weighted size ratio*
- *Area potentially available*

Bei BIGING und DOBBERTIN (1992) und PRETZSCH (2002) werden die positionsabhängigen Indizes nach der von ihnen gesichteten Literatur in ähnliche Gruppen eingeteilt:

- (1) *size ratio / Verhältnis zwischen Baumdimensionen*
- (2) *crown oder influence-zone overlap / Kronen- und Einflußzonenüberlappung*
- (3) *growing space / Wuchsraum*

Der erste Schritt zur Ermittlung des Konkurrenzindex ist die Identifizierung der Konkurrenten. Dazu nennen BIGING und DOBBERTIN (1992), BACHMANN (1998) und PRETZSCH (2002) folgende Methoden:

- a) *fixed radius / Verfahren mit festem Suchradius*
- b) *crown or influence-zone overlap / Verfahren mit Kronenüberlappung*
- c) *DBH angle gauge method / horizontale Winkelzählprobe*
- d) *height angle gauge / Verfahren mit vertikalen Suchkegeln (Lichtwinkel)*

Allgemein sind dann im Folgenden die „... *Konkurrentenauswahl und Quantifizierung der Konkurrenzwirkung des Einzelkonkurrenten* [...] *meist getrennte methodische Bestandteile der Berechnung von Konkurrenzindizes.*“ (MÜNDER, 2005)

Aus den oben genannten Gründen ist der Einsatz eines Konkurrenzindizes in der vorliegenden Studie ein sehr geeignetes Instrument, um die einleitenden Fragestellungen der Untersuchung zur „Konkurrentenauswahl“, „Konkurrenzwertbestimmung“ und „Konkurrenzwirkung bzw.-Einschätzung“ der Gesamtkonkurrenzsituation des Probebaumes bewältigen zu können. Dabei interessiert vor allem der Einsatz eines positionsabhängigen Konkurrenzindex, der die Konkurrenz zwischen **zwei** Baumarten aufgrund ihrer Position zueinander quantifizieren kann.

### Lichtwinkelmethode

Der Lichtwinkel- bzw. Lichtkegelmethode wurde in der vorliegenden Arbeit der Vorzug gegeben. Die Methode beinhaltet die oben genannte Möglichkeit, „Konkurrentenauswahl“, „Konkurrenzwertbestimmung“ und „Konkurrenzwirkung bzw.-Einschätzung“ der Gesamtkonkurrenzsituation des Probebaumes in einem Verfahren zu bewältigen.

Diese Methode wurde (zuerst) bei BIGING und DOBBERTIN (1992) beschrieben. Die Autoren hatten zunächst keine Studien und Angaben zur Verwendung eines speziellen Winkels und haben daher die Gradzahlen 50° und 60° frei gewählt. Der Lichtkegel wurde bei ihnen virtuell am Stammfuß und an der Kronenbasis des Zentralbaumes positioniert. BACHMANN (1998) und PRETZSCH (2002) beschreiben ebenfalls die Methode und geben die Verwendung des 60° Winkels (Suchkegels) an. Die Lichtwinkelmethode ist die Voraussetzung zur Ermittlung eines positionsabhängigen Konkurrenzindex. Dieser Index wird bei PRETZSCH (2002) als KKL bezeichnet und wurde in seiner Studie zur weiteren Berechnung eines Zuwachsmodells benutzt. Dazu flossen dann auch noch weitere Parameter in das Modell ein. BIGING und DOBBERTIN (1992) haben auf Grundlage des Lichtkegels die Indizes „relative crown volume (CV)“ und „relative crown surface area index (CSA)“ berechnet.

Für das waldbauliche Experiment wurde die Lichtwinkelmethode zur Methode KKL von PRETZSCH (2002) leicht abgewandelt und vorwiegend zur Definition der Fichten-Konkurrenten benutzt.

Dabei werden bei allen zu untersuchenden Bäumen, d.h. bei dem im Fokus liegenden Zentralbaum und seinen möglichen Konkurrenten, zunächst die Baumhöhen und die Abstände zuei-

inander erfasst. Dann wird dem Zentralbaum ein auf dem trigonometrischen Prinzip beruhender Suchkegel mit einem Öffnungswinkel von  $60^\circ$  imaginär in 60 % seiner Baumhöhe aufgesetzt. Alle in diesen Kegel hereinragenden Nadelbäume werden dann als Konkurrenten definiert (Lichtkegel = Suchradius). Die Größe des Öffnungswinkels wurde durch SLOBODA und PFREUNDT (1989) anhand entsprechender Modellstudien optimiert.

### Einsatz Lichtwinkelmethode in der vorliegenden Arbeit

In der vorliegenden Untersuchung wurde der Suchkegel **auf dem zuvor bestimmten Lichtkronenansatz** der Vogelbeere aufgesetzt, da der Lichtkronenansatz als konkurrenzrelevante Höhe erachtet wurde. Begründet wurde dies auf Grundlage der Studien von ASSMANN (1961) und SCHÜTZ (1989). ASSMANN (1961) stellte fest, dass 70 % der Photosyntheseleistung in der Lichtkrone stattfindet und diese somit für die Biomasseproduktion der wichtigste Teil der Krone ist. Bei SCHÜTZ (1989) wird der Lichtkrone ein Gesamtbeitrag von 90 % an der Photosynthese zugeschrieben.

BURGER (1939, zit. in GUERICKE 1999 und 2001) führte als erster die Unterteilung der Krone in Licht- und Schattenkrone bei Fichte ein. BADOUX (1939, zit. in GUERICKE 1999 und 2001) unternahm vergleichbare Untersuchungen für die Baumart Buche. Die festgestellten Grenzen beruhen dabei auf Art und Umfang der Benadelung bzw. Belaubung, auf Verteilungen und auf morphologischen Unterschieden. GUERICKE (2001) hebt hervor, dass es sich dabei eher um fließende Übergänge von Licht- zu Schattenkrone handelt, und keine fixen Grenzen ausgewiesen wurden.

Der Lichtkronenansatz wurde in der vorliegenden Studie gemäß den Ausführungen von SCHÜTZ (1989) und GUERICKE (1999) in Höhe der breitesten Kronenausdehnung definiert (Abb. 12). Vor Ort wurde auf den Versuchsflächen in einer iterativen Prozedur für alle nahestehenden potentiellen Fichtenkonkurrenten durch entsprechende Höhen- und Distanzmessungen geprüft, ob diese als Konkurrent definiert werden konnten.

Die Summe der Übertragungswinkel (tangens  $\alpha$  nach AMMER, 1996) aller so bestimmten Konkurrenten ergibt den Konkurrenz-Index (K-Index) des untersuchten Laubbaumes (Abb. 12). Die Probestämme wurden anschließend in drei Stufen einer **Konkurrenzsituation** vorstratifiziert. Dazu wurden sie in jeder Fichtenaltersstufe in aufsteigender Reihenfolge ihres K-Indexes sortiert und in die drei Straten *hohe*, *mittlere* und *niedrige* Konkurrenz eingeteilt. Abbildung 13 zeigt ein Beispiel der Einteilung der Probestämme für die Fläche Bā-26. In dieser Fläche wurde ein K-Index in der Spanne 5,49 bis 17,39 ermittelt.

Letztendlich sollte durch Reduktion des ermittelten Konkurrenzindex des Probebaumes die Stärke eines Durchforstungseingriffs systematisch gesteuert werden (s. Kapitel 2.2.2.2.2).

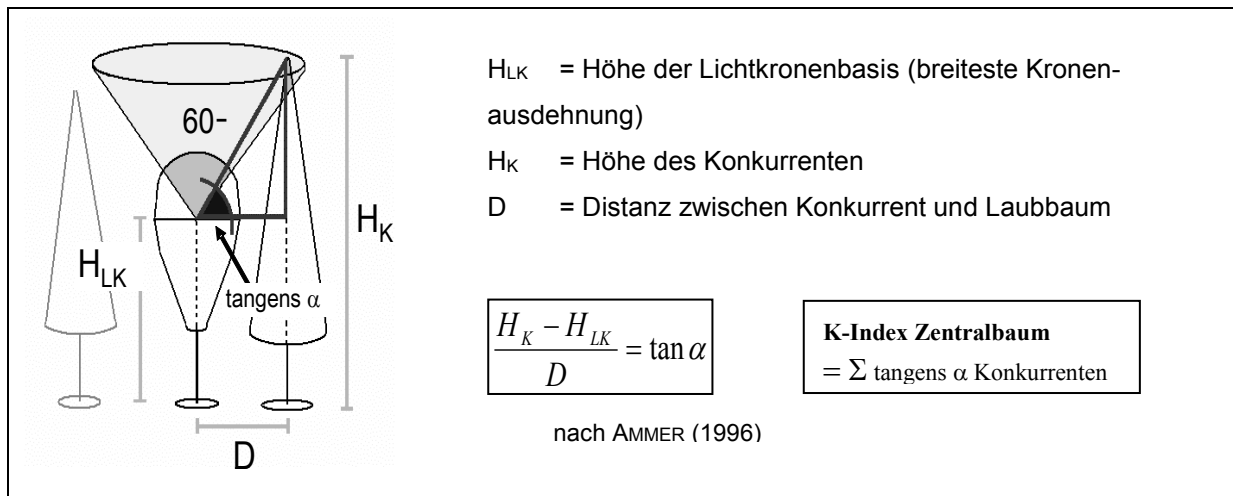


Abb. 12: Herleitung der Konkurrenzsituation (K-Index) für den Laubbaum

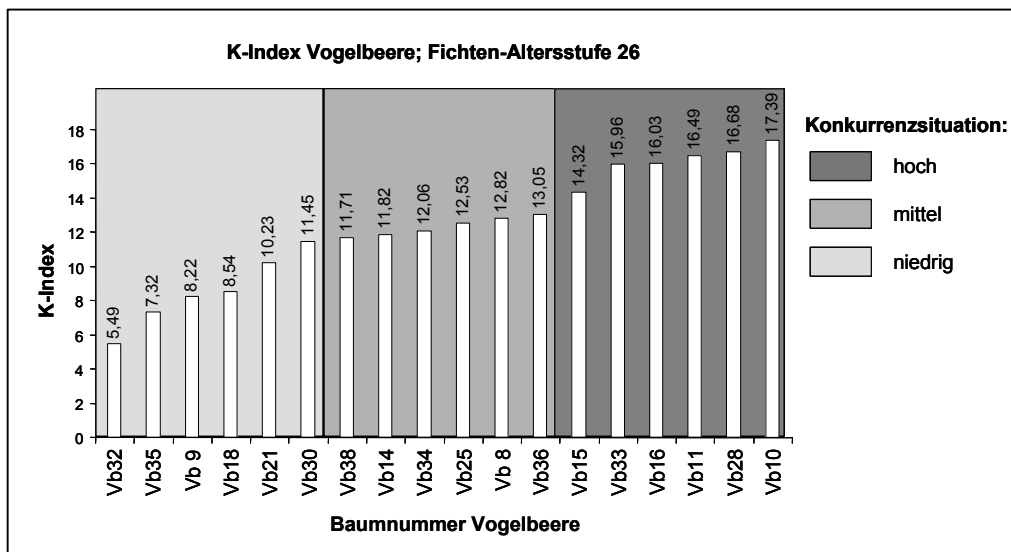


Abb. 13: Vorstratifizierung der Probebäume in drei Stufen der Konkurrenzsituation anhand des ermittelten K-Indexes



Tabelle 10 zeigt alle ermittelten Parameter der Fichtenkonkurrenten und Vogelbeeren zur Berechnung der Konkurrenzsituation. Einige Parameter, wie z.B. Kronenansatzhöhe und BHD wurden für das Konkurrenzermittlungsverfahren mit Hilfe des Programms FISHPLOT benutzt, welches im folgenden Kapitel 2.2.2.2.3 beschrieben wird.

Tab. 10: Parameter der Vogelbeeren und Fichtenkonkurrenten zur Ermittlung der Konkurrenzsituation

Parameter	Erläuterung
<b>Baumhöhe [m]</b>	Höhe des Zentralbaumes Vogelbeere und ihrer Fichtenkonkurrenten
<b>BHD [cm]</b>	BHD des Zentralbaumes Vogelbeere und ihrer Fichtenkonkurrenten
<b>Entfernung bzw. Abstand [m]</b>	Entfernung bzw. Abstand vom Zentralbaum Vogelbeere zum Fichtenkonkurrenten von Stammfußmitte zu Stammfußmitte
<b>Winkel [Grad]</b>	Ausrichtung des Fichtenkonkurrenten zum Zentralbaum Vogelbeere
<b>Kronenansatz [m]</b>	Höhe des Ansatzes des ersten grünen Astes am Stamm
<b>Kronenradius [m]</b>	Mittelwert aus acht Messungen in den Haupt- und Nebenhimmelsrichtungen
<b>Lichtkronenansatz [m]</b>	Höhe der breitesten Kronenausdehnung am Stamm

### 2.2.2.2.3 Konkurrenzschätzung mit hemisphärischen Abbildungen

#### Fisheye-Aufnahme

Ein weiteres Maß zur Einschätzung der Konkurrenzsituation der Laubbäume ist die Erfassung des Beleuchtungsregimes des Einzelbaumes durch die Ermittlung des *Diffuse Site Factors* (DIFFSF, WAGNER 1994). „Der Begriff „Diffuse Site Factor“ stammt von ANDERSON (1964) und wurde von ihr definiert. Er gibt für die Strahlung bei vollständig bewölktem Himmel einer Meßposition im Wald den prozentualen Anteil der gleichzeitig über dem Bestand herrschenden Strahlung an.“ (NAGEL et al. 1996). Mit dieser Methode, welche auf Aufnahmen mit einem Fisheye-Objektiv basiert, können allgemein die Lichtverhältnisse unter Kronendächern analysiert und quantifiziert werden. Vor dem Hintergrund der Konkurrenzermittlung wird berücksichtigt, dass Licht bzw. photosynthetisch aktive Strahlung als wichtigste oberirdische Ressource für das Pflanzen- bzw. Baumwachstum erachtet werden kann (BIBER 1996).

Für das Verfahren wurde an jedem Probestaum mit Hilfe eines Fisheye-Objektivs ein analoges hemisphärisches Foto aufgenommen (Abb. 14). Das entwickelte Negativ wurde dann mit einem Videokamerasystem und der Bildbearbeitungssoftware OPTIMAS Version 6.5 ausgewertet, um anschließend den DIFFSF errechnen zu können. Das Fisheye-Objektiv ist ein Weitwinkel-Objektiv (8 mm Brennweite), das einen Blickwinkel von 180° ermöglicht. Die

Kamera wird bei der Aufnahme zum Himmel gerichtet. Der Himmel muss während der Aufnahme homogen bewölkt sein.

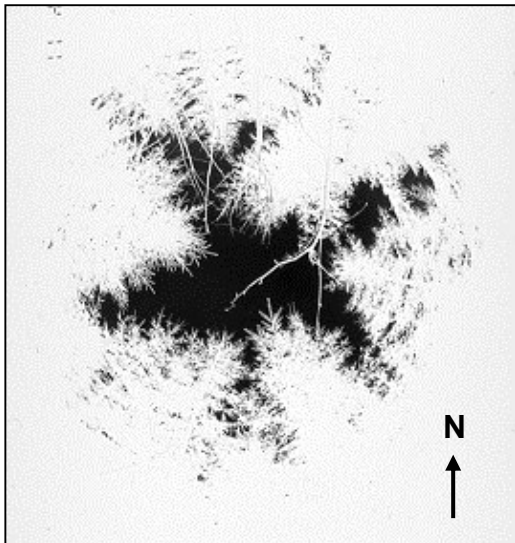


Abb. 14: Negativ einer Fisheye-Aufnahme, Fichtenaltersstufe 26, Vogelbeere Nr. 32

Es wurde ein hochauflösender Film für die Aufnahmen benutzt. Nach Digitalisierung des entwickelten Negativs mit oben genannter Bildbearbeitungssoftware werden die Grauwertinformationen ausgewertet. Dabei werden auf dem Bild strahlende Himmels- und nicht strahlende Bestandesteile unterschieden, wobei zuvor ein Schwellenwert festgelegt wird, welcher Grauwert noch als Himmel und welcher schon als Bestandesteil definiert wird. Aus diesen Informationen wird der DIFFSF in Prozent ermittelt. Der DIFFSF gibt innerhalb eines Bestandes die relative Beleuchtungsstärke an. Referenzgröße (100 %) ist die oberhalb des Kronenraumes bei vollständig bewölktem Himmel gegebene Beleuchtungsstärke. WAGNER (1994) beschreibt ausführlich die Methode der Strahlungsschätzung in Wäldern mit Hilfe von hemisphärischen Fotos in seiner Dissertation (WAGNER 1994). Mittlerweile wird das Fisheye-Verfahren mit digitalen Kameras durchgeführt (FRAZER et al. 2001, PRYOR 2010).

Bei den für die vorliegende Arbeit gewonnenen Aufnahmen wurde die Kamera immer in Stammnähe am Versuchsbaum mit Hilfe einer Teleskopstange möglichst auf die (konkurrenzrelevante) Höhe der Lichtkronenbasis positioniert. Die Länge der Teleskopstange war auf 5 m begrenzt. Konnte die definierte Lichtkronenhöhe nicht erreicht werden, wurde die Aufnahme in 5 m Höhe durchgeführt. Tabelle 11 gibt einen Überblick über die Verteilung jener Bäume, bei denen die Lichtkronenbasis mit Hilfe der Teleskopstange nicht erreicht wurde. Die Fisheye-Aufnahme erfolgte in diesen Fällen in 5 m Höhe. Die Aufstellung in der Tabelle ist nach Fichtenaltersstufe, Konkurrenzsituation und Freistellungsvariante gegliedert.

Tab. 11: Anzahl und Verteilung der Probebäume bei denen die Fisheye-Aufnahme in 5 m Höhe erfolgte, aber nicht in Höhe der definierten Lichtkronenbasis durchgeführt wurde.

Konkurrenzsituation	Freistellungsvariante	Fichtenaltersstufe				Gesamtergebnis
		16	19	26	32	
niedrig	keine	0	2	1	0	3
	mäßig	0	1	2	2	5
	stark	0	1	2	3	6
mittel	keine	0	1	1	1	3
	mäßig	0	2	1	2	5
	stark	0	2	2	2	6
hoch	keine	0	0	1	1	2
	mäßig	0	1	0	2	3
	stark	0	0	2	1	3
<b>Gesamtergebnis</b>		<b>0</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>36</b>

Der Aufnahmezeitpunkt der hemisphärischen Fotos liegt aufgrund der damals herrschenden Witterungsverhältnisse erst nach dem Zeitpunkt der Freistellung. Das Beleuchtungsregime vor der Freistellung, d.h. die Ausgangssituation, ist somit nicht per DIFFSF erfasst. Zur Auswertung der Grauwertinformationen der Bilder wurden die der Vogelbeere zugehörigen Pixel retuschiert und in schwarze „Himmels-Pixel“, d.h. in die schwärzesten vorkommenden Pixel, umgewandelt. Damit sollte das komplette Beleuchtungsregime für die Vogelbeere bestmöglich berechnet werden können.

#### Programm FISHPLOT

Zur Untersuchung des Beleuchtungsregimes wurde weiterhin das Programm FISHPLOT nach BIBER (1996) verwendet. Dieses Programm ermöglicht auf der Grundlage von Stammverteilungsplänen die Simulation einer Fisheye-Aufnahme und ermittelt rechnerisch einen Fisheye-Konkurrenzindex (FKI), der mit dem DIFFSF der Fisheye-Aufnahme vergleichbar sein soll. Vorteilhaft für die vorliegende Untersuchung war hierbei, dass die bei der Freistellung entnommenen Fichtenkonkurrenten für die Berechnung des FKI rekonstruiert werden konnten (im Gegensatz zur Fisheye-Aufnahme, die nach der Freistellung durchgeführt wurde). Somit war es möglich, das Beleuchtungsregime der Vogelbeeren vor und nach der Freistellung zu simulieren. Weiterhin lässt sich für die Auswertung der Schnittpunkt der Aufnahme, d.h. die Höhe der Kamera, im Programm beliebig variieren. So konnte je nach Bedarf für die Berechnung des FKI die Höhe der Lichtkronenbasis oder die maximale Höhe der Kameraposition bei der Fisheye-Aufnahme (5 m) virtuell angewählt und simuliert werden. Das Programm erzeugt aus den verfügbaren Bestandesdaten durch Projektion eine hemisphärische Abbildung. Für das Einlesen der Daten wird als erster Schritt ein Stammverteilungsplan in einer Textdatei angelegt. Datengrundlage dieses Stammverteilungsplanes waren die Parameter Baumart,

BHD (m), Kronenansatz (m), Höhe (m), X- und Y-Position (m), und Kronenradius (dm) der Fichten-Konkurrenten.

Die Baumpositionen sind auf der Versuchsfläche in Winkel und Entfernung gemessen und anschließend in x/y-Koordinaten umgerechnet worden. In dem Programm besteht weiterhin die Möglichkeit zusätzlich den Parameter Z anzugeben. Dies wäre z.B. bei geneigtem Gelände notwendig, um die Stammfußkoordinaten der Bäume in einem dreidimensionalen kartesischen Koordinatensystem angeben zu können. In der vorliegenden Arbeit wurde dieser Parameter nicht beachtet, da die Exposition der Versuchsflächen eben ist. Für die Rechenprozedur müssen baumartenweise IDs bzw. Schlüssel vergeben werden. Da es für die Baumart Vogelbeere im Programm keinen Baumartenschlüssel gibt, wurde der Schlüssel 211, der für die Baumart Buche gilt, vergeben. Die Baumart Fichte besitzt die Schlüsselnummer 511. Im Anhang I ist beispielhaft eine Textdatei eines Stammverteilungsplanes abgebildet, welcher in das Programm FISHPLOT eingelesen wird.

Die im Versuch aufgenommenen Stammverteilungs-Daten des Probebaumes und ihrer Konkurrenten erfassen nur eine kleine Fläche, welche die Verhältnisse des gesamten umgebenden Fichtenbestandes nicht ausreichend wiedergibt. Da die Baumpositionen der umgebenden „Nicht-Konkurrenten-Fichten“ nicht erfasst sind, wurde der umliegende Fichtenbestand gemäß seiner Altersstufe generiert. Dazu wurden immer die mittleren Baumabstände je Fichtenaltersstufe eingegeben. Diese Baumabstände sind vor Ort noch einmal überprüft und je nach Bedarf entsprechend korrigiert worden. Die Ausdehnung des generierten Fichtenbestandes (Position der vier Ecken) wurde für jede Vogelbeere angepasst, so dass ein geschlossener Bestandesausschnitt (Bestandesplot) vorlag. Dies geschah unabhängig von der realen Position der Vogelbeere im Bestand auf der Versuchsfläche. Die Wachstumsparameter für den generierten Fichtenbestand wurden je Fichtenaltersstufe gemittelt, Tabelle 12 zeigt die angegebenen Werte. Die Eckpunkte des gesamten Plots wurden für alle Alterstufen mit 14 x 14 m angegeben. Abbildung 15 zeigt den Bestandesplot für die Vogelbeere Nr. 8 in der Fichtenaltersstufe 26.

Tab. 12: Gemittelte Wachstumsparameter der generierten Fichtenbestände

Alter des Fichtenbestandes	16	19	26	32
Mittlere Baumabstände [m]	2,50 x 2,50	2,00 x 2,00	2,50 x 3,20	1,50 x 2,50
Mittlerer BHD der generierten Fichtenkonkurrenten [m]	0,10	0,15	0,13	0,16
Mittlere Höhe der generierten Fichtenkonkurrenten [m]	7,2	9,3	9,0	13,5
Mittlerer Kronenansatz der generierten Fichtenkonkurrenten [m]	0,50	1,20	1,52	5,70
Mittlerer Kronenradius der generierten Fichtenkonkurrenten [dm]	13,0	16,4	15,0	16,4
Maximale Ausdehnung des generierten Fichtenbestandes [m]	8 x 8	10 x 10	10 x 10	9 x 9

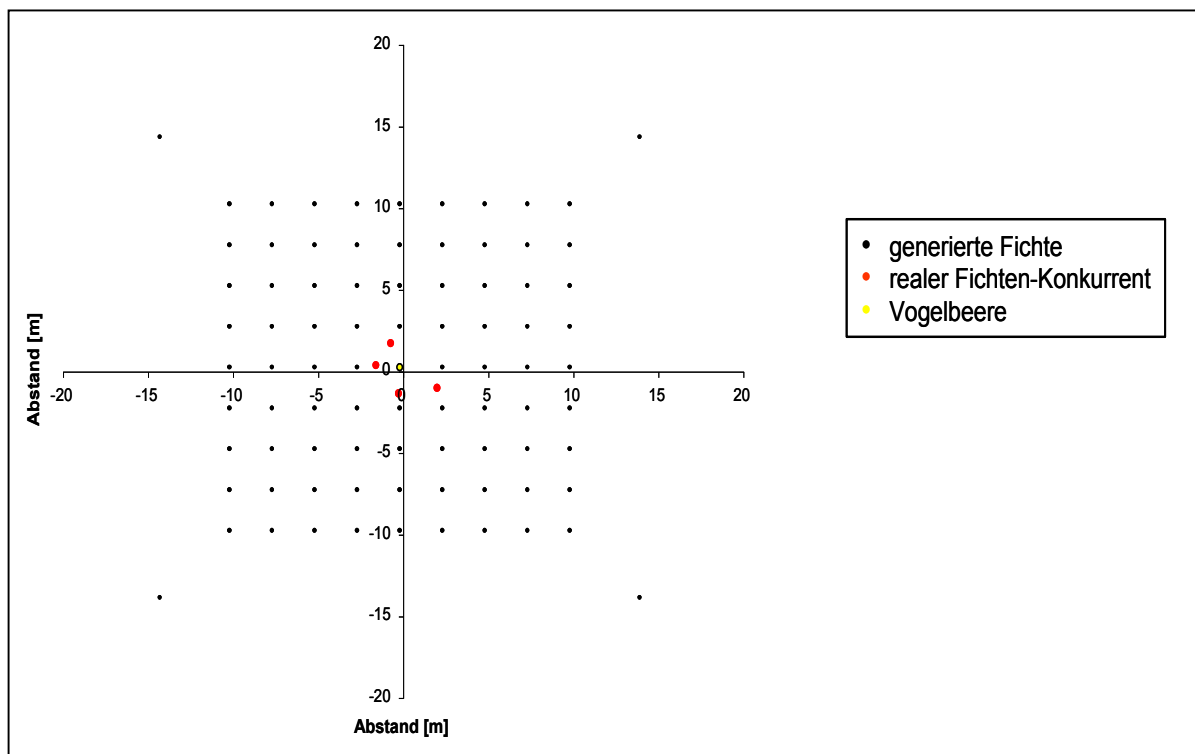


Abb. 15: Bestandesplot der Vogelbeere Nr. 8, Fichtenaltersstufe 26

Das Programm FISHPLOT erzeugt aus den Daten einen Ausdruck eines simulierten hemisphärischen Fotos mit den allgemeinen Daten des Zentralbaumes und einer Auswertung (Abb. 16). Ähnlich der Analyse der Grauwerte bei der Auswertung der Fisheye-Aufnahmen werden in dem simulierten Bild die Bereiche des Himmels (blau) und die durch den Bestand bedeckten Teile (Rottöne) erfasst. Dabei kann zwischen einfacher, doppelter und mehrfacher Abde-

ckung durch die umliegenden Bestandesteile unterschieden werden. Die Angaben der Bedeckung erfolgen in Prozent. In der vorliegenden Arbeit wurde immer das Ergebnis der gesamten Abdeckung betrachtet (im Ausdruck unter „Gesamt“ angegeben) und als Ergebnis FKI in Prozent festgehalten.

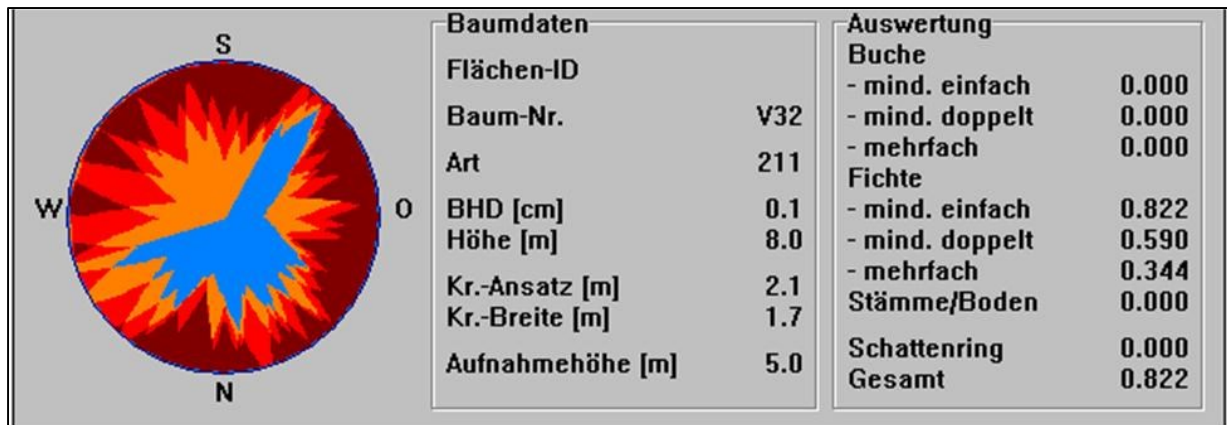


Abb. 16: Ausdruck eines simulierten hemisphärischen Fotos und dessen Auswertung nach Bestandesüberdeckung mit Hilfe des Programmes FISHPLOT für den Baum Bä-2632

### Zusammenfassung der verwendeten Konkurrenzindizes

Tabelle 13 fasst die im Versuchsdesign verwendeten Methoden zur Bestimmung der Konkurrenzsituation und die ermittelten Konkurrenzindizes zusammen.

Tab. 13: Methodenübersicht zur Konkurrenzbestimmung

<b>Methode der Konkurrenzbestimmung</b>	Vorstratifizierung der ermittelten K-Index-Werte je Fichtenaltersstufe	Berechnung anhand Abstand und Höhe der Konkurrenten (mit Hilfe Lichtwinkel auf Lichtkronenbasis)	Lichtmessung im Bestand
<b>ermittelter Konkurrenzwert</b>	je nach Höhe des K-Index-Wertes Einteilung in niedrige, mittlere oder hohe Konkurrenzsituation	K-Index ( $\Sigma \text{ tangens } \alpha$ )	DIFFS (%) aus Fisheye-Foto → Hilfsmittel FKI (%) aus Programm FISHPLOT (Simulation eines Fisheye-Fotos)

### 2.2.2.3 Freistellung der Vogelbeeren

Im Frühjahr 2001 wurden die Vogelbeeren in jeder Alters- und Konkurrenzstufe unterschiedlich stark freigestellt. Der K-Index stellte dabei die orientierende Größe für den Grad der Freistellung dar. Während ein Drittel der Bäume nicht gefördert wurden, erfolgte im verbleibenden Drittel jeweils eine mäßige (Entnahme der stärksten Konkurrenten bis K-Index um 50 % gesenkt ist) und eine starke (alle definierten Konkurrenten werden entnommen, Senkung K-Index um 100 %) Freigestellung.

PRETZSCH (2002) nennt dies einzelbaumorientierte Steuerung der Freistellung. Dabei werden die Zentralbäume auf einen vorgegebenen Konkurrenzindex eingestellt, „... wobei beginnend mit dem ersten, zweiten, ..., n-ten Konkurrenten solange Bäume entnommen werden, bis ein definierter Konkurrenzindex erreicht ist (PRETZSCH 2002; S. 128)“.

Im vorliegenden Versuchsaufbau wurden nur diejenigen Fichtenkonkurrenten entnommen, die angefangen beim stärksten Konkurrenten, in der Summe ihrer tangens- $\alpha$  Werte sich dem Konkurrenzwert von 50 % der Ziel-Vogelbeere am weitesten angenähert hatten. Tabelle 14 gibt einen Überblick über die Maßnahmen.

Tab. 14: Bezeichnung und Beschreibung der Freistellungsvarianten im Versuchsdesign

Bezeichnung der Freistellungsvariante	Beschreibung der Maßnahme	Verringerung K-Index [%]
<b>Stark</b>	Es wurden alle Konkurrenten entnommen.	100 %
<b>Mäßig</b>	Es erfolgte die Entnahme der stärksten Konkurrenten, welche in der Summe ihres K-Wertes dem 50 % -Wert am genauesten entsprachen.	50 %
<b>Keine</b>	Es wurde kein Konkurrent entnommen.	0 %

Tabelle 15 erläutert beispielhaft für die Vogelbeere ID 1909 in der Fichtenaltersstufe 19 die Planung der Durchforstung und die Bestimmung der zu entnehmenden Konkurrenten. Abbildung 17 stellt das Vorgehen grafisch dar. Weitere Durchforstungsmaßnahmen wurden im Untersuchungszeitraum nicht durchgeführt, um stabile Versuchsverhältnisse zu bewahren.

Tab. 15: Planung und Vorgehen der experimentellen Freistellung am Beispiel der Vogelbeere BÄ-1909

Vogelbeere-Nr.	Fichten-Nr.	Konkurrenz-Wert	gefällt
Bä-1909	1909-1	2,79	nein
	1909-2	3,47	<b>ja</b>
	1909-3	2,51	nein
	1909-4	2,06	<b>ja</b>
<b>Konkurrenzwert Vogelbeere</b>		10,83	
<b>50 % des Konkurrenzwertes</b>		5,42	
<b>Summe der Konkurrenzwerte (tanges-<math>\alpha</math> der gefällten Fichten)</b>		5,53	

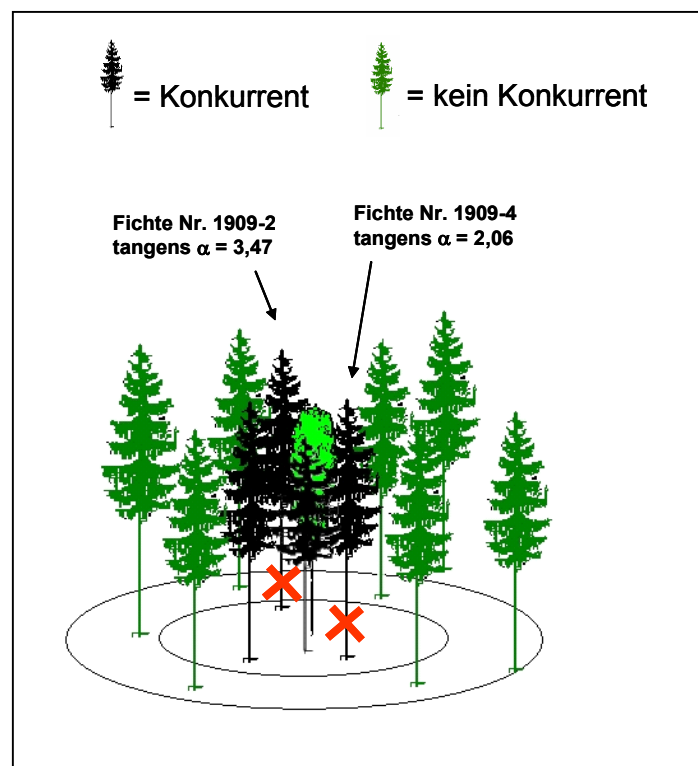


Abb. 17: Grafische Darstellung der experimentellen Freistellung am Beispiel der Vogelbeere 1909



### Korrekturen im Versuchsdesign

Bei der Durchführung der Freistellung gemäß Versuchsdesign sind in der Fichtenaltersstufe 16 und 26 Unregelmäßigkeiten aufgetreten. Das Versuchsdesign ist daher nicht ausbalanciert. In der Fichtenaltersstufe 16 musste ein Baum (niedrige Konkurrenzsituation) als stark freigestellt anstatt mäßig freigestellt kategorisiert werden. Der Baum besaß nur einen Fichten-Konkurrenten. Dessen Entnahme entsprach gemäß Versuchsdesign einer starken Freistellung. In der Fichtenaltersstufe 26 wurde ein Ersatzbaum für einen geschädigten Baum ins Design aufgenommen. Dieser neue Baum wurde fälschlicherweise zunächst in eine niedrige anstatt eine hohe Konkurrenzsituation kategorisiert (Tab. 16).

Tab. 16: Verteilung der Probebäume auf die Faktorenstufen

		Konkurrenz- situation	Freistellungsvariante		
			keine	mäßig	stark
Fichtenaltersstufe	16	niedrig	2	1	3 <sup>1</sup>
		mittel	2	2	2
		hoch	2	2	2
	19	niedrig	2	2	2
		mittel	2	2	2
		hoch	2	2	2
	26	niedrig	1 <sup>2</sup>	2	2
		mittel	2	2	2
		hoch	3 <sup>2</sup>	2	2
	32	niedrig	-	2	3
		mittel	1	2	2
		hoch	1	2	1

<sup>1</sup> 1615 sollte ursprünglich ein Baum mit mäßiger Freistellung sein, hatte nur einen Konkurrenten und kann daher als stark freigestellt eingestuft werden

<sup>2</sup> Baum wurde als Ersatzbaum für einen geschädigten ins Design aufgenommen und fälschlicherweise in niedrige Konkurrenzstufe kategorisiert. Er ist jedoch der Stufe hohe Konkurrenz zuzuordnen.

## 2.2.2.4 Erfassung individueller Parameter an den Vogelbeeren

### Allgemeine Anmerkungen zur Beprobung

Die Wachstumsparameter wurden möglichst vor der Freistellung an allen Probebäumen im Versuchsdesign aufgenommen. Im Falle des Parameters Kronenschirmfläche und Kronenradius konnte eine Aufnahme vor der Freistellung nicht realisiert werden. Hier geschah die Erstaufnahme am Ende der ersten Vegetationsperiode nach der Freistellung. Nach zwei und nach drei Vegetationsperioden wurden diese Aufnahmen an den stehenden Bäumen wiederholt. Ergänzend sind Probebäume und Referenzbäume in verschiedenen Altersstufen am Ende des Beobachtungszeitraumes für intensivere Analysen gefällt worden, um z.B. allometrische Funktionen zu ermitteln. Zusätzlich sind einige Bäume aufgrund Stabilitätsverlust aus dem Versuchsdesign ausgeschieden. Aus diesen genannten Gründen konnte nicht in allen Jahren die komplette Stichprobe mehr untersucht werden. Eine Übersicht über die zu unterschiedlichen Zeitpunkten an den stehenden Bäumen erfassten Parameter und die jeweilige beprobte Stichprobe zeigt Tabelle 17. Abbildung 18 stellt die Definition der erhobenen Parameter grafisch dar. Eine Übersicht zu den gefällten Probebäumen und den ermittelten Parametern am gefällten Baum wird im Kapitel 2.2.2.5.3 gegeben.

Tab. 17: Beobachtete Wachstumsparameter an den stehenden Probebäumen

<b>Wachstumsparameter</b>	<b>Erstaufnahme an N-Bäumen</b>	<b>Wiederholungsaufnahme in der 2. Vegetationsperiode des laufenden Versuchs an N-Bäumen</b>	<b>Wiederholungsaufnahme in der 3. Vegetationsperiode des laufenden Versuchs an N-Bäumen</b>
<b>BHD [cm]</b>	68	65	46
<b>Höhe [cm], H</b>	68	63	46
<b>Kronenansatz [cm], KrAn</b>	68	63	18
<b>Kronenradius [cm], KrRad</b>	68	42	29
<b>Kronenschirmfläche [cm<sup>2</sup>], KrSchFlä</b>	68	62	28
<b>Höhe Lichtkronenansatz [cm<sup>2</sup>], LiKrAn</b>	68	47	29

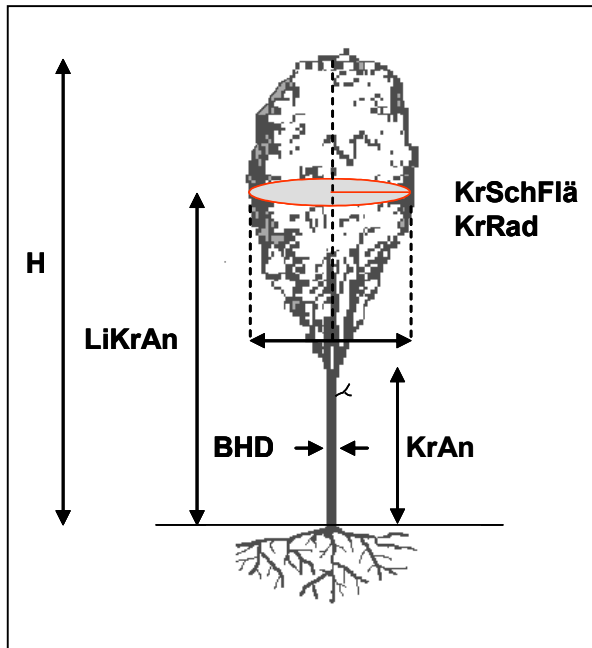


Abb. 18: Definition der erfassten Wachstumsparameter am Probebaum

#### 2.2.2.4.1 Dokumentation des Durchmesser- und Höhenwachstums

Das Stammwachstum wurde im laufenden Versuch an den stehenden Probestämmen mit Hilfe der Parameter Höhe und Brusthöhendurchmesser (BHD) erfasst. An den gefällten liegenden Bäumen wurden zusätzlich Holzproben und Stammscheiben entnommen, um die Holzdicke zu bestimmen und eine Jahrringanalyse durchführen zu können.

##### Durchmesser- und Höhenmessung

Der BHD jedes Baumes im Versuchsdesign wurde im Jahr 2001 vor der Freistellung mit Hilfe einer Schieblehre über Kreuz (Differenzklappung, Ausrichtung Nord und West) in 1,3 m Höhe auf Millimeter genau gemessen. Die BHD-Messstelle wurde vor Versuchsbeginn am Stamm mit weißer Farbe dauerhaft markiert. Im gleichen Arbeitsgang wurde die Höhe des Baumes mit einem VERTEX-Höhenmesser erfasst. Die Durchmesser- und Höhenmessungen wurden in den Jahren 2002 und 2003 wiederholt. Zusätzlich wurden später an den gefällten Bäumen die Triebblängen anhand der Triebbasisnarben für die letzten 4 Jahre nach- bzw. zurückgemessen. Kurztriebwachstum konnte bei den Bäumen nicht festgestellt werden. Bei Bedarf wurde ein Kontrollschnitt und eine Jahrringzählung durchgeführt, um die Triebe den richtigen Jahren korrekt zuzuordnen.

##### Entnahme von Stammscheiben

An den gefällten Probestämmen wurden insgesamt vier Holzproben in verschiedenen Höhen entnommen, im Bereich des Stammfußes, des BHDs, aus der Baummitte (bei halber Baumlänge) und der Baumspitze bzw. dem Terminaltrieb (Abb. 19). Einen detaillierten Überblick über die Anzahl der zur Stammholzprobengewinnung gefällten Bäume, aufgeteilt nach Fichtenaltersstufe, Freistellungsvariante und soziologischer Stellung gibt Tabelle 11 in Kapitel 2.2.2.2.3.).

Vor Ort wurde das Ausmaß bzw. die Grenzlinien der Verkernung der Stammscheibe ermittelt und markiert. Dies geschah entsprechend der Vermessung der Astverkernung. Die Stammscheiben wurden anschließend im Labor nochmals aufgeteilt. Zum einen wurden Holzproben in Würfelform zur Bestimmung der Holzdicke jeweils aus dem Kern- und Splintbereich entnommen, zum anderen wurden Stammscheiben für eine Jahrringanalyse zurückbehalten und durch Schleifen aufbereitet. Die Baumspitze wurde bei der Jahrringanalyse ausgelassen. Bei der Baumspitze konnte aufgrund des geringen Durchmessers keine Unterteilung nach Kern- und Splintholz gemacht werden. Die Holzproben der Spitze

wurden daher dem Splintholz zugeteilt. Die Stammscheibe in Höhe des BHDs wurde bei den Holzproben für die Holzdichtebestimmung ausgelassen, da der Baum hier nur in relativen Sektionen untersucht werden sollte.

Zur Bestimmung der Holzdicke bzw. Rohdicke in darrtrockenem Zustand (bei 0 % Holzfeuchte) wurde in einem ersten Schritt das Volumen der frischen Holzwürfelp Proben durch Messen der Kantenlängen (in Millimeter mit 2 Nachkommastellen Genauigkeit) bestimmt. Anschließend wurde das Gewicht dieser Holzproben nach Trocknung in Gramm (mit 3 Nachkommastellen Genauigkeit) bestimmt. Die Holzdicke wurde getrennt nach den beprobten Sektionen nach Gleichung 2 ermittelt.

$$\text{Holzdichte [g/cm}^3\text{]} = \text{Trockengewicht [g]} / \text{Volumen Frischgewicht [cm}^3\text{]} \quad \text{Gleichung (2)}$$

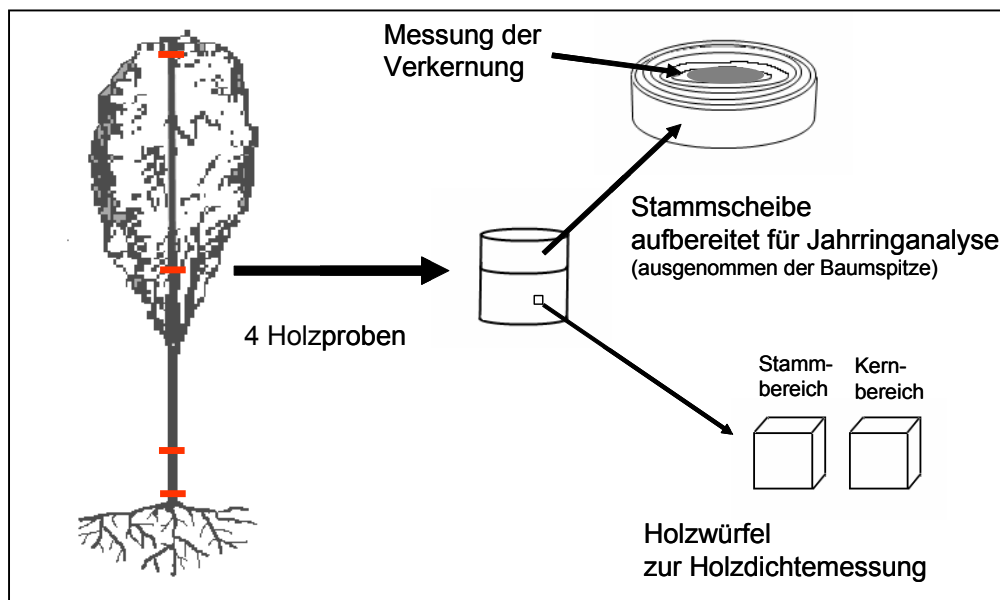


Abb. 19: Schema der Stammholzbeprobung

### Jahrringanalysen

Für die vorliegende Untersuchung waren vor allem eventuelle Jahrringschwankungen bei den betrachteten Bäumen, hervorgerufen durch unterschiedliche Konkurrenzsituationen und Freistellungsvarianten, von Interesse. Weiterhin war die Analyse der Jahrringstrukturen zur Erfassung der Zuwachsreaktion je Behandlungsvariante und Fichtenaltersstufe ein wichtiger Zusatz zur Untermauerung der Methode der wiederholten BHD-Messungen.

An jeder gewonnenen Stammscheibe der gefällten Probebäume wurde eine Jahrringanalyse mit einer halbautomatischen Jahrringmessanlage<sup>6</sup> durchgeführt, um den zurückliegenden jährlichen Zuwachs der verschiedenen Stammkompartimente bestimmen zu können. Die Stammscheiben wurden vor der Jahrringvermessung maximal 3 Wochen im Labor gelagert. Vor der Messung der Jahrringe wurde der Durchmesser der Stammscheiben ohne Rinde nochmals per Kreuzmessung (gem. Messung des BHDs, s.o.) ermittelt.

Die Jahrringmessanlage arbeitet mit einem Kamera- und Bildsystem, welches durch Vergrößerung auf einem Bildschirm das Bestimmen und Vermessen der Jahrringe erleichtert und automatisiert per Computer den Durchmesser des Jahrringes erfasst. In vorliegender Arbeit wurden 4 Radien auf der Stammscheibe markiert und diese mit dem Bildmesssystem und der Kamera abgefahren. Die Ausrichtung der Radien erfolgte in einem 90°-Winkel. Die Ausrichtung der Stammscheibe nach Norden, wie sie in manchen Arbeiten vorgenommen wird (z.B. HILLEBRAND 1998), war hier nicht von Bedeutung. Über einen angeschlossenen PC steuert der Analysennehmer einen Fahrtisch, auf dem die Stammscheibe befestigt ist, und definiert in einzelnen Messschritten die Jahrringgrenze. Die Stärke der Rinde wurde auch vermessen. Im Ergebnis erhält man eine Datei, welche die Ausdehnung der Jahrringe für die gemessenen Radien mit 0,000001 Millimeter Genauigkeit angibt. Jahrringausfälle, wie bei HILLEBRAND (1998) für die Vogelbeere beschrieben, konnten nicht festgestellt werden. MOTTA (2001) hat bei Jahrringanalysen an Bohrkernen von ca. 5 m hohen Vogelbeeren ebenfalls keine Jahrringausfälle feststellen können. Tabelle 18 zeigt die Anzahl der vermessenen Stammscheiben. Eine Mitten-Stammscheibe des Baumes Nr. Bā-1611 konnte nicht ausgewertet werden.

Tab. 18: Anzahlen der zur Jahrringanalyse vermessenen Stammscheiben getrennt nach Stammbereichen

Altersstufe Fichte	Anzahl der Stammscheiben in den Stammbereichen		
	Stammfuß	BHD	Baummitte
16	18	18	17
26	16	16	16

<sup>6</sup> Anlage des Institutes für Waldwachstum und forstliche Informatik, Professur für Waldwachstum und Holzmesskunde

### Jahrring-Indexierung

Die Messergebnisse der Jahrringe aus dem Stammbereich BHD wurden für die weitere Analyse in Zeitreihen eines Durchmesser-Relativverlaufs und eines mittleren Jahrringverlaufes überführt. Anschließend konnte mit diesen Werten eine Jahrring-Indexchronologie ermittelt werden. Dieses Vorgehen wird bei BECK (2007 und 2010) beschrieben. Der Vorteil des Verfahrens ist die „Herausrechnung“ bzw. Bereinigung von Autokorrelationsbeziehungen zwischen den Jahrringwerten eines Baumes. Zudem sind bei diesem Verfahren die unterschiedlichen Ausgangsdimensionen der Bäume eines Bestandes in der Analyse kein störendes Merkmal mehr, da durch die Aufstellung des Durchmesser-Relativverlaufs eine unmittelbare Vergleichbarkeit ihrer Jahrringwerte gegeben ist. In der Regel wird dieses Verfahren benutzt, um Jahrringchronologien u.a. mit Zeitreihen von Klimadaten synchronisieren zu können. Dazu wird im weiteren Verlauf der Analyse auch der Alterstrend der Daten herausgerechnet (bei entsprechend alten bzw. langen Zeitreihen) und eine Sensitivität zur Aufdeckung der Jahrringschwankungen berechnet (stark schwankend, z.B. aufgrund von Stressreaktionen oder eher ausgeglichen). Diese Schritte waren für das Arbeitsziel der vorliegenden Studie nicht relevant und sollen daher an dieser Stelle nicht weiter beschrieben werden. Ein Alterstrend wurde bei den Vogelbeeren, die maximal 21 Jahre alt waren, nicht angenommen. Weitere Ausführungen finden sich dazu bei BECK (2007 und 2010) und auch in zusammengefasster Form bei FIEBIGER et al. (2009). Für die aktuellen Untersuchungen war vor allem der von Autokorrelationen befreite Verlauf der mittleren Jahrringe und des Jahrring-Indexes vor und nach der Freistellung von Interesse.

Der Algorithmus der Überführung in Zeitreihen des Durchmessers ohne Rinde und die Aufstellung des mittleren Durchmesser-Relativverlaufs ermöglicht zunächst einen Überblick des gesamten mittleren Wachstumsverhaltens der untersuchten Bäume bzw. Bestände. Dieses Verfahren hat den schon oben angesprochenen Vorteil, dass Jahrringwerte von Bäumen mit unterschiedlichen Dimensionen bzw. Durchmessern, welche aus einem Bestand stammen, aber z.B. unterschiedliche soziologische Stellungen repräsentieren, durch die Transformation in relative Werte vergleichbar werden. Weiterhin lassen sich mit den Durchmesser-Relativverläufen auch evtl. Auffälligkeiten im Verlauf des Bestandeswachstums aufdecken, die auf zurückliegende Freistellungen, d.h. Durchforstungen und Pflegen des Fichtenbestandes hinweisen könnten. Beide Aspekte sind für die vorliegenden Untersuchungen von besonderem Interesse.

In einem ersten Schritt wird die Zeitreihe des Durchmessers ohne Rinde mit der Gleichung 3 ermittelt, wobei JRB die Jahrringbreite in einem Jahr  $t$  ist.

$$BHD_{t-1} = BHD_t - 2 \cdot JRB_t \quad (\text{Gleichung 3})$$

Die Aufstellung der Zeitreihe des relativen Durchmesserverlaufs wird durch Division des Durchmessers ohne Rinde zum Zeitpunkt  $t$  durch den Durchmesser zum Zeitpunkt der Fällung bzw. Probennahme erreicht (Gleichung 4).

$$relat. BHD_t = \frac{BHD_t \text{ o.R.}}{BHD_t \text{ Probenentahme}} \quad (\text{Gleichung 4})$$

Die Berechnung der Zeitreihe des mittleren absoluten Durchmessers ist der nächste erforderliche Schritt, um letztendlich den mittleren Jahrringverlauf berechnen zu können. Der mittlere absolute Durchmesser wird durch Multiplikation des Verlaufs des mittleren relativen Durchmessers mit dem Kreisflächenmitteldurchmesser aller betrachteten Probestämme je Bestand hergeleitet. Durch Jahr-zu-Jahr-Differenzenbildung der mittleren absoluten Durchmesserwerte erhält man dann die Zeitreihe der mittleren Jahrringbreite (JRB).

Für die Berechnung des Jahrringindexes werden die autokorrelativen Strukturen im Verlauf der Zeitreihe der mittleren Jahrringe mittels Modellierung unterbrochen. Autokorrelation beschreibt in diesem Fall das Wachstumsverhalten eines Jahrringes im Jahr  $t$  in Abhängigkeit vom Zuwachs der Jahrringbreite des Vorjahres ( $t-1$ ) (BECK 2007) und wird auch Autokorrelation erster Ordnung (AR-1) genannt:

$$JRB_t \sim (JRB_{t-1}; JRB_{t-2}; JRB_{t-3}; JRB_{t-j}).$$

Die Trendfunktion der Beziehung zwischen JRB des aktuellen Jahres und JRB der Vorjahreswerte fließt dann in die AR-1 Modellierung ein. Durch Division (Gleichung 5) erhält man den Jahrring-Index-Verlauf, welcher von autokorrelativen Strukturen befreit ist.

$$JRI = \frac{JRB_t}{(a+b \cdot JRB_{t-1})} \quad (\text{Gleichung 5})$$



### HD-Wert

Die Bestimmung des Schlankheitsgrades eines Einzelbaumes ist ein Indikator für die Stabilität des Baumes. Errechnet wird hierbei das Verhältnis von Baumhöhe zu BHD, der sogenannte HD-Wert. Der HD-Wert wird häufig als Weiser für waldbauliche Handlungen benutzt. Schwerpunktmäßig kennzeichnet er die Knickfestigkeit des Baumes, d.h. die Resistenz gegen Schnee- und Eislasten und wird vor allem für Nadelbäume angegeben. Die Eignung als „Sturmstabilitätsweiser“ ist umstritten (RÖHRIG et al. 2006). Allgemein gelten bei den Hauptwirtschaftsbaumarten HD-Werte  $> 80$  als instabil (SCHMIDT-VOGT 1989). Bei solchen Bäumen ist das Höhenwachstum gegenüber dem Durchmesserwachstum ausgeprägter (*Überlebensstrategie*). Liegt der Schwerpunkt auf dem Durchmesserwachstum, verfolgt der Baum eine *Stabilisierungsstrategie* (PRETZSCH 2002).

Der HD-Wert wurde für alle Vogelbeeren im Versuchsdesign vor und nach der Freistellung aus den wiederholt aufgenommenen BHD- und Höhenwerten (s. oben „*Durchmesser- und Höhenmessung*“) errechnet.

### Volumen

HILLEBRAND (1998) hat mit Hilfe von Spline-Funktionen ein Schaftform- und Volumenmodell für die Baumart Vogelbeere aufgestellt. Datengrundlage waren 50 Einzelbaumschaftkurven von gefällten Vogelbeeren aus dem westfälischen Bergland. In vorliegender Arbeit wurde das Schaftholzvolumenmodell nach HILLEBRAND (1998, S. 53) zur Ermittlung des Einzelbaumvolumens verwendet (Gleichung 7). Eingangsgrößen sind der BHD (entspricht bei HILLEBRANDT (1989) dem  $d_{1,3}$  (d)) und die Baumhöhe (h).

$$\text{Volumen Schaftholz [v]} = 0,0000272 \cdot d^2 \cdot h + 0,0000772 \cdot d \cdot h + 0,000058 \cdot h \quad \text{Gleichung (6)}$$

[v: m<sup>3</sup>, d: cm, h: m]

Zum Vergleich wurde eine Volumenberechnung mit einer einfachen Volumenformel (Gleichung 7) durchgeführt. Eingangsgrößen für die Formel sind der  $d_{1,3}$  (d), die Baumhöhe (h) und die Formzahl (f). Als Formzahl wurde die einfache Formzahl für Laubholz verwendet ( $f = 0,5$ ).

$$\text{Volumen Schaftholz [v]} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h \cdot f \quad \text{Gleichung (7)}$$

[v: m<sup>3</sup>, d: m, h: m]  
f = 0,5

### Holzmasse

Zur Berechnung der Holz trockenmasse der Stämme der gefällten Probestämme wurde das Ergebnis der Volumenberechnung nach HILLEBRAND (1998) mit der ermittelten mittleren Holz- bzw. Rohdichte (Gleichung 2) nach Gleichung 8 multipliziert.

$$\text{Trockenmasse [g]} = \text{Volumen} * \text{Holzdichte [g/m}^3\text{]} \quad \text{Gleichung (8)}$$

#### 2.2.2.4.2 Kronen- und Primärastwachstum

##### Kronenschirmfläche und -länge

Die Entwicklung der Kronendimension aller Probestämme im Versuchsdesign wurde über die Kronenlänge und die Kronenschirmfläche dokumentiert. Die Messungen zur Erfassung der Kronenschirmfläche wurden immer jeweils am Ende der Vegetationsperiode durchgeführt (erste Messung im Herbst 2001, Wiederholungsmessungen im Herbst 2002 und 2003), um den kompletten Zuwachs erfassen zu können. Nach 3 Vegetationsperioden konnten daher nur noch die Daten der Bäume der Fichtenaltersstufe 19 und 32 erhoben werden. In den Altersstufen 16 und 26 wurden Probestämme ab dem Jahr 2002 für destruktive Messungen entnommen. Im Jahr 2003 (nach 3 Vegetationsperioden) sind in diesen Altersstufen alle restlichen Bäume des Versuchsdesigns entnommen worden (s. Kapitel 2.2.5.3 Baumentnahme).

Zur Messung der Kronenschirmfläche ist eine Messeinrichtung in Form eines Aluminiumrahmens zu Hilfe genommen worden. Der Rahmen wurde am Baum, stets nach Norden ausgerichtet, angebracht. Die Messeinrichtung erleichterte die Peilung in die festgelegten Himmelsrichtungen, in welchen die Kronenradien ausgemessen werden sollten (Abb. 20).

Es wurden 8 feste Radien in 50 Gon-Schritten, in Nordrichtung beginnend, angepeilt. Der Kronenrand wurde mit Hilfe eines kardanisch aufgehängten Kronenspiegel-Densiometers in diesen Richtungen abgelotet und die Ausdehnung von der Stammmitte ausgemessen. Die kardanische Aufhängung garantiert, dass der Kronenspiegel jederzeit senkrecht zur Erde abgelotet ist. Nach RÖHLE und HUBER (1985) ist eine Ablotung von 8 Radien zur Ermittlung der Kronenprojektionsfläche bei Einzelbäumen hinreichend genau, wenn man einen Stichprobenfehler von unter 5 % erreichen möchte. Der Stichprobenfehler bei der Ermittlung der Kronenprojektionsfläche von Einzelbäumen der Baumart Eiche mit einer 8-Radien-Messung betrug in ihrer Untersuchung im Vergleich zur Messung mit 32 Radien 4 %.

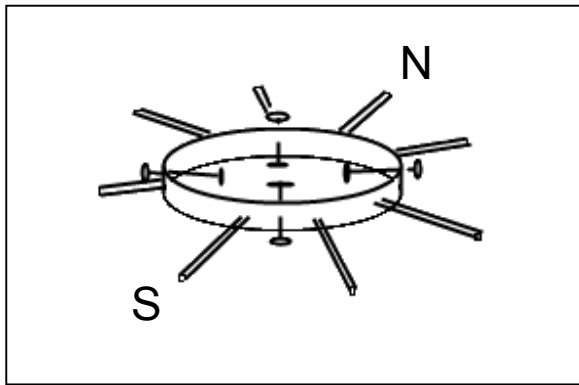


Abb. 20: Messeinrichtung und Peilhilfe zur Kronenablotung

Dies wurde als annehmbar betrachtet, um Messaufwand und Nutzen zu vereinen. Zur Berechnung der Kronenprojektionsfläche wurde das Teilkreismodell nach KRAMER und AKÇA (1987) benutzt (Abb. 21). Bei diesem Modell werden jeweils die benachbarten Radien gemittelt. Mit dem mittleren Radius ( $r_m$ ) wird dann die Teilfläche ( $F_{TKR}$ ) (Gleichung in Abb. 21) berechnet. Es werden insgesamt 8 Teilflächen berechnet, aufsummiert und durch die Anzahl Radien geteilt.

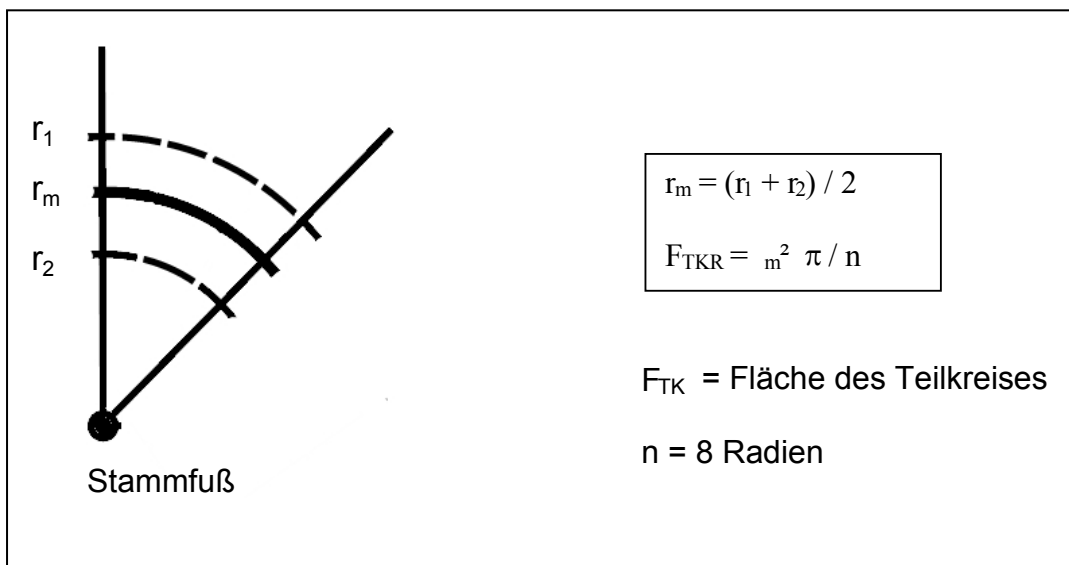


Abb. 21: Berechnung des Teilkreismodelles (nach RÖHLE und HUBER 1985)

Zur Ermittlung der Kronenlänge wurde zunächst die Kronenansatzhöhe vermessen. Die Kronenansatzhöhe wurde als Höhe des ersten grünen Astes am Stamm definiert. Die Kronenlänge ergibt sich aus der Differenz der Baumhöhe und der Kronenansatzhöhe.

### Primärastwachstum

Die Methoden zur Ermittlung des Astwachstums und zur Bestimmung der Asttrockenmasse werden im Kapitel 2.2.2.5.4 Probeäste – Auswahlverfahren und Messungen beschrieben.

#### 2.2.2.4.3 Fruchtmasse

In den Vegetationsperioden 2001 und 2003 wurde die Produktion der Fruchtbiomasse aller Probebäume jeweils zur Reifezeit der Früchte (Ende August) untersucht. Vorhandene Fruchtdolden (Beeren inklusive der Stiele) wurden für die Analyse nach Möglichkeit entnommen. Dies geschah mit Hilfe eines Apfelpflückers und einer Teleskop-Astscherer. Mit den Geräten konnte eine Beerntungshöhe von bis zu 3m erreicht werden. Frucht-Dolden, die aufgrund ihrer Höhe nicht beerntet werden konnten, sind anzahlmäßig erfasst worden. Bei der Wiederholungsaufnahme in 2003 fehlen die schon in 2002 entnommenen Bäume. In 2003 konnten an den gefällt liegenden Probebäumen der Vogelbeere (eingemischt in Fichtenbeständen der Altersstufen 16 und 26) alle Fruchtdolden vor der restlichen Biomassebeprobung komplett entnommen werden.

Die beernteten Dolden wurden im Labor nach Frucht und Stiel getrennt und die Beeren bei 105°C über einen Zeitraum von 24 Stunden bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend gewogen. Ein mittleres Beerentrockengewicht je Dolde wurde je Baum bestimmt. Das Produkt aus mittlerem Doldengewicht und Doldenanzahl ergab im Ergebnis die Fruchttrockenmasse je Baum. Diese Hochrechnung wurde für Bäume benutzt, wenn eine vollständige Beerntung nicht erfolgen konnte.

#### 2.2.2.4.4 Feinwurzelmasse

Um die Wuchsreaktionen von freigestellten Bäumen umfassend verstehen zu können, muss auch die Reaktion der unterirdischen Baumkompartimente nach einer Freistellung quantifiziert werden. Man kann im Allgemeinen annehmen, dass sich durch eine Freistellung eines Baumes für diesen auch im Boden ein größerer Freiraum zur Ausbreitung seiner Wurzelmasse ergibt, da die Wurzeln der entnommenen Konkurrenten absterben. Grundlegend führt aber auch die Zunahme an Kronen- bzw. Blattmasse des freigestellten Baumes zu einem Zuwachs im Wurzelbereich, da diese Reaktionen durch allometrische Wirkungsweisen (PRETZSCH 2002) gesteuert werden, welche das räumliche und zeitliche Muster von Zuwachsreaktionen bestimmen. Dabei führt die Zunahme eines ersten Organs  $x$  zu einer Zunahme eines zweiten Organs  $y$ . Aufnahmen und Untersuchungen von unterirdischen Biomassen sind sehr aufwändig und durch hohe Fehlerprozentage gekennzeichnet. Dies wird von vielen Autoren betont, die sich mit solchen Untersuchungen beschäftigt haben (u.a. NIELSEN und MACKENTHUN 1991, CONERS et al. 1998, DREXHAGE und GRUBER 1999, AMMER und WAGNER 2002, BOLTE et al. 2004.). Obwohl auch die Methode der Feinwurzelbeprobung mit hohen Fehlerraten behaftet ist, stellt sie im Vergleich zur Beprobung der gesamten Wurzelmasse das einfachere methodische Vorgehen dar. Vor allem wenn die Untersuchungen stichprobenartig durch Entnahme von Bohrkernen geschieht. Schwieriger ist dagegen die komplette Ausgrabung eines Wurzelballens oder das Abtragen von Erdblöcken (Blockmethode in KÖSTLER et al. 1968) mit anschließendem Auswaschen der Wurzeln. Die alleinige Untersuchung der Feinwurzelbiomasse wird dadurch gerechtfertigt, dass die Quantität der lebenden Feinwurzelmasse ein guter Indikator zur Beurteilung der Ressourcenverfügbarkeit, Konkurrenzsituation und Wurzeldynamik von Bäumen (POLOMSKI und KUHN 1992, CONERS et al. 1998, COOMES und GRUBB 2000) sein kann.

Eine ausreichende Zahl an Bäumen, die eine Wuchsreaktion der Feinwurzelmasse auf eine Freistellung hin hätten belegen können, konnte aufgrund des Aufwandes bei der Probennahme nicht untersucht werden. Die Probennahme wurde daher auf sieben Bäume beschränkt und stichprobenartig durchgeführt (Tab. 19). Nur die lebende Wurzelmasse wurde berücksichtigt. Eine Möglichkeit der Modellierung der lebenden Gesamtfuinwurzelmasse je Baum in Abhängigkeit des BHDs des Baumes sollte das Ziel der Untersuchungen sein.

Tab. 19: Verteilung der Durchmesser der Probebäume zur Feinwurzeluntersuchung

Baumnummer	BHD	Anzahl Stichproben	Max. Probe-Entfernung [m]
2639	4,1	24	3,09
11903	4,3	24	3,09
2630	4,5	24	3,09
2618	4,7	24	3,09
2625	5,3	36	6,38
2632	6,2	24	3,09
3202	8,3	42	8,79

Um jeden ausgewählten Versuchsbaum wurde ein sternförmiges Design der Probennahme angelegt, das den Prinzipien der Anlageschemata der Standraumversuche nach NELDER (1962) folgt. Dieses Design garantiert die Möglichkeit, in Stammnähe die Verteilung der Feinwurzelmasse durch eine höhere Stichprobenzahl genauer untersuchen zu können und gleichzeitig in weiteren Entfernungen die Grenze der horizontalen Ausbreitung der Feinwurzelverteilung des Probebaumes zu erfassen. Die Beprobung geschieht auf virtuellen konzentrischen Kreisen, die mit zunehmendem Radius-Abstand um den Versuchsbaum verteilt sind. Mit der Gleichung 9 lassen sich die Radien der konzentrischen Kreise und die Probenabstände voneinander berechnen. Vorgegebene Werte in der Formel sind der Startradius  $a_1$  und der Grenzwert  $q$ , der die maximale Entfernung der Proben zueinander angibt. Der Startradius wurde in vorliegender Untersuchung mit 0,50 m und der Grenzwert  $q$  mit 1,30 m festgesetzt.

$$s_n = a_1 \frac{q^n - 1}{q - 1} \quad \text{Gleichung (9)}$$

$s_n$  = Beprobungsabstand

$a_1$  = Startradius 0,5m

$q$  = maximaler Probenabstand zueinander (=1,30m)

Die maximale Beprobungsentfernung von ca. 9 m ist ein Erfahrungswert aus eigenen Voruntersuchungen. Beprobt wurden insgesamt 6 Stränge, die im 60° Winkel zueinander angelegt waren. Es wurden maximal 7 Radien bzw. virtuelle Kreise beprobt (Baumnummer BÄ-3202). Abbildung 22 zeigt das Beprobungsdesign und die errechneten Probenabstände.

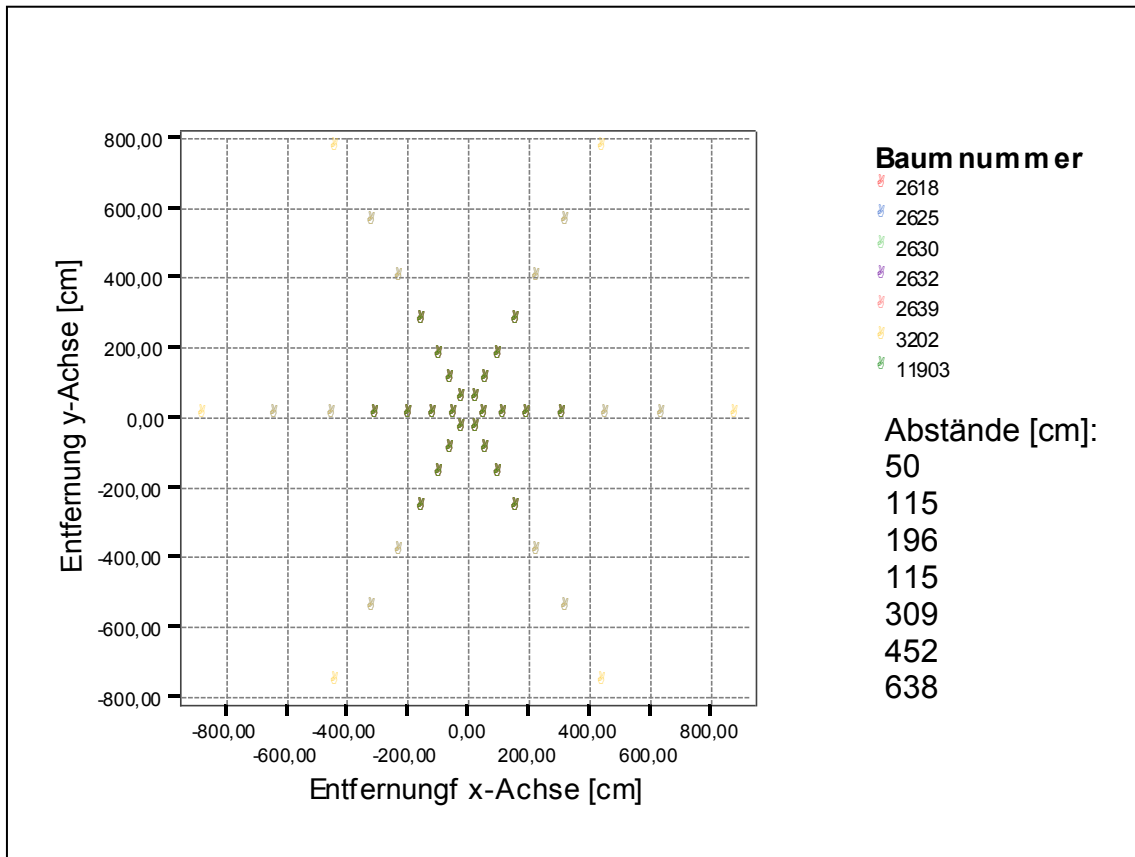


Abb. 22: Design zur Probennahme mittels Wurzelbohrungen um den Einzelbaum

Die errechneten Probeabstände wurden ausgehend von der Stammachse ausgemessen und an entsprechender Stelle mit einem Split-Tube Probennehmer der Firma *Eijkelpamp Agrisearch-Equipment* eine Bodenprobe entnommen. Der Probennehmer bzw. Bohrer hat einen Durchmesser von 4,8cm und ist 40cm lang. Die Probentiefe wurde bei maximal 30cm festgesetzt (unter Ausschluss der Humusaufgabe). Die Proben wurden maximal 14 Tage bei 4°C im Labor gelagert. Anschließend erfolgte das Auswaschen und Aussieben (Siebgröße 1,5mm) und Sortieren der lebenden Feinwurzelmasse. Zur Unterstützung wurde bei undeutlichen Fällen ein Binokular zur Sortierung eingesetzt. Nach der Feinwurzeldefinition von KÖSTLER et al. (1968) wurden alle lebenden Wurzeln unter 2 mm als solche definiert und zur weiteren Behandlung aussortiert. Diese Definition wurde auch in vorangegangenen und laufenden Arbeiten am Lehrstuhl für Waldbau (MÜLLER mündl. Mitteilung 2002, MÜLLER 2004, ZEIBIG mündl. Mitteilung 2002) benutzt. Die Arttrennung nach morphologischen Kriterien lässt sich zwischen Fichte und Vogelbeere recht genau vornehmen. Die Abbildungen 23 und 24 zeigen den morphologischen Unterschied zwischen Fichten- und Vogelbeer-Feinwurzeln. Tabelle 20 listet die Kriterien zur Unterscheidung der beiden Arten voneinander auf. Bei der Definition von lebender und toter Feinwurzelmasse wurde in Anlehnung an die Methode von MURACH

(1984) und HERTEL (1999) vorgegangen. Sonstiger strauchartiger Unterwuchs war auf den Versuchsflächen nicht vorhanden, so dass nur Wurzeln des Versuchsbaumes, der umgebenden Fichten und vereinzelte Gräser in den Proben zu finden waren. Die Wurzelmassen der Fichten und Gräser wurden nicht weiter behandelt und untersucht.



Abb. 23: Feinwurzeln der Baumart Vogelbeere



Abb. 24: Feinwurzeln der Baumart Fichte

Tab. 20: Wurzelmorphologische Kriterien der lebenden Fichten-Feinwurzeln und der lebenden und toten Vogelbeeren-Feinwurzeln

Kriterien	Fichte ( <i>P. abies</i> ), lebend	Vogelbeere ( <i>S. aucuparia</i> ), lebend	Vogelbeere ( <i>S. aucuparia</i> ), tot
<b>Verzweigung</b>	monopodial, sperrig, filzig, symmetrisch	sympodial, zart verzweigt, geschwungen	
<b>Farbe</b>	rehbraun	braun-grau	
<b>Struktur</b>	borkig, abblätternde Rinde	glatte Struktur, fast glän- zend, Schlangenhaut, dünner als Fi	trocken, unelastisch, Rinde löst sich, häufig freiliegen- der Zentralzylinder
<b>Mykorrhizierung</b>	deutlich	nicht zu erkennen	
<b>Sonstiges</b>	evtl. Harzgeruch		schwimmen im Wasser oben

Die aussortierten Wurzelmassen wurden bei 105°C 24 Stunden auf Gewichtskonstanz getrocknet und danach ausgewogen. Nach Behandlung und Auswertung der Proben wurden verschiedene Verteilungsmodelle zur Modellierung der räumlichen Feinwurzelverteilung angewandt (s. Kapitel 2.2.3.3).



## 2.2.2.5 Allometrische Beziehungen und Allokationen

### 2.2.2.5.1 Allometrische Beziehungen

Die Reaktion vieler relevanter Wachstumsgrößen, wie z.B. die Erfassung der gesamten Blattmasse eines Baumes, lassen sich nur mit Hilfe einer destruktiven, d.h. zerstörenden Beprobung, exakt ermitteln. Langfristig angelegte Versuchsreihen können aber durch destruktive Beprobungen zu stark beeinflusst werden, so dass Folgeuntersuchungen unter Umständen nicht mehr möglich sind. Weiterhin sind derartige Beprobungen oftmals mit einem erhöhten Arbeitsaufwand verbunden. Um diese Nachteile zu umgehen, nutzen viele Studien allometrische Wachstumsfunktionen, welche bestimmte Proportionsverhältnisse von Baumkompartimenten zueinander beschreiben. Diese Funktionen ermöglichen die Schätzung einer interessierenden Zielgröße aus der Dimension einer anderen Größe, welche mit der Zielgröße in einem Wachstumsverhältnis steht. Die klassische Allometrieformel (Gleichung 10) geht auf SNELL (1892) zurück und bildet immer noch das meist verwendete Modell in empirischen Biomasseuntersuchungen (FEHRMANN 2006).

$$y = a * x^b$$

Gleichung (10)

y = abhängige Größe

x = Bezugsmaß

a und b = freie Parameter

Die Arbeit von SNELL (1892) untersuchte das Verhältnis von Gehirnmasse zu Körpermasse des Menschen im Bereich der Psychiatrie.

WIDLÓWSKI et al. (2003) geben eine Zusammenstellung von allometrischen Gleichungen zur Schätzung von grundlegenden Baumparametern wie Höhe, Kronendimension, Blattflächenindex und Blattmasse für verschiedene europäische Baumarten. Bei vielen bisherigen Untersuchungen werden die Zielparameter vor allem aus der leicht zu erfassenden Dimension des BHDs geschätzt. So stellt DREXHAGE und COLIN (2001) z.B. die Beziehung zwischen Wurzelmasse und BHD für diverse Baumarten auf. VERTESSY et al. (1995) stellt Splint- und Blattflächenmassen ebenfalls der Dimension des BHD gegenüber, um letztendlich Schätzgleichungen für diese beiden Größen aus der Dimension des BHD geben zu können. BARTELINK (1997) verfolgte ähnliche Fragestellungen für die Baumart Buche. Analysen zum Einfluss von Freistellungen auf die Allometrieverhältnisse findet man bei LAGERGREN und LINDROTH (2004) für Kiefern-Fichten-Mischbestände. Andere Arbeiten ermittelten allometrische Funktionen für eine Zielbaumart in einer speziellen Region, um letztendlich Bestandesbiomassen

schätzen zu können. So stellen z.B. CIENCIALA et al. (2006) Funktionen für die Baumart Buche in Tschechien und LEHTONEN et al. (2004) für die Baumarten Kiefer, Fichte und Birke für boreale Regionen auf. Dabei darf der Einfluss des Standortes bzw. der Region, und die Behandlung der Bäume auf die Eigenschaften der allometrischen Funktionen, nicht unterschätzt werden. So berichten WUTZLER et al. (2008), dass die Modellgüte entschieden gesteigert wird, wenn Bestandesalter, Standort und Höhenlage als Faktoren in die Modelle einbezogen werden.

Spezielle allometrische Funktionen für die Baumart Vogelbeere sind bisher nicht bekannt. In der vorliegenden Arbeit wurden daher Ast- und Blattproben an gefällten Vogelbeeren gewonnen, um mit diesen Daten Funktionen zur Schätzung der Blatt- und Astbiomasse aufstellen zu können.

#### 2.2.2.5.2 Allokationsmuster

In der Baumphysiologie beschreibt der Begriff Allokation im Wesentlichen die Verteilung der Assimilate auf verschiedene Pflanzenkompartimente im Baum. Allokationsmuster sind baumartenabhängig und können ebenso wie die allometrischen Funktionen von Standortsfaktoren, Baumalter und Konkurrenzsituation des Baumes im Bestand beeinflusst werden. Nach OLIVER und LARSON (1996) existiert eine Hierarchie der Assimilatverteilung (Tab. 21).

Tab. 21: Hierarchie der Assimilatverteilung (nach OLIVER und LARSON 1996, in: RÖHRIG et al. 2006)

1. Mit höchster Priorität wird die Atmung zur Erhaltung der lebenden Zellen bedient.
2. An zweiter Stelle steht die Neubildung von Blattorganen und Feinwurzeln.
3. Danach folgen die Bedürfnisse für die Fruktifikation und die Bildung von Reaktionsholz und die Regeneration von Wunden.
4. Erst an vierter Stelle werden die Aufwendungen für das Höhenwachstum der Hauptsprossachse und das Längenwachstum von primären Zweigen und Wurzeln versorgt.
5. Mit geringster Priorität folgen danach die Versorgung des sekundären Dickenwachstums der Stammachse und der Äste und die Bildung von Abwehrstoffen (gegen Insekten und pilzliche Pathogene, einschließlich Harzen und anderen Stoffen).

Zahlreiche Studien haben sich mit Allokationsmustern befasst, wobei SCHLESINGER (1995) Kohlenhydratgehalte und Transportprozesse vergleichend bei Vogelbeere und Esche untersuchte. In vorliegender Arbeit soll die Biomasseallokation, d.h. die Verteilung der produzier-

ten Trockenmasse auf die verschiedenen Baumkompartimente in Abhängigkeit der Behandlungsvarianten des Versuchsdesigns untersucht und dargestellt werden.

### 2.2.2.5.3 Baumentnahme

Im Laufe des Untersuchungszeitraumes wurden insgesamt 47 Vogelbeeren gefällt, um verschiedene interessierende Parameter und Biomassekompartimente ermitteln zu können. Dies waren 34 Probebäume aus dem Versuchsdesign und zusätzlich 14 Referenzbäume, die nicht zum Versuchsdesign gehörten. Zunächst wurden im Jahr 2001 vier Referenzbäume aus den Altersstufen 16, 19 und 26 gefällt, um an diesen Bäumen eine Beprobung der gesamten Blattmasse zum Test des **Randomized Branch Sampling** Verfahrens (RBS), bzw. des Programmes **BRANCH** durchzuführen zu können (s. Kapitel 2.1.7.2.1.). Die Methode des RBS kann zur Schätzung von diversen Zielgrößen wie z.B. Blatt- oder Fruchtmasse an Bäumen eingesetzt werden.

Im Jahr 2002 wurden weitere 10 Referenzbäume aus den Altersstufen 16, 19 und 26 Jahre entnommen und mit Hilfe von **BRANCH** aufgenommen und beprobt. Referenzbäume wurden nicht freigestellt. Tabelle 22 gibt einen Überblick über die Verteilung der gefällten Referenzbäume auf Altersstufen und Konkurrenzsituation.

Tab. 22: Verteilung der gefällten Referenzbäume  im Jahr 2002 gefällt,  im Jahr 2003 gefällt)

		Konkurrenzsituation					
		gering		mittel		stark	
Fichtenalters- stufe	16		 2	 1	 1	 1	
	19		 2	 1			 2
	26	 1	 3				

Weiterhin wurden im Jahr 2002 in den Altersstufen 16 und 26 Probebäume aus dem Versuchsdesign entnommen. Zwei Bäume (Altersstufe 26, stark freigestellt, hohe und mäßige Konkurrenzsituation) waren beschädigt und wurden daher nicht mehr gefällt bzw. beprobt. Zunächst sollten nur Bäume in den extremen Varianten, hohe und niedrige Konkurrenz, starke und keine Freistellung entnommen werden, um evtl. Biomasseunterschiede je nach Behandlungsvariante untersuchen zu können. Im Jahr 2003 wurden die restlichen 18 Bäume auf den Versuchsflächen der Altersstufen 16 und 26 gefällt und per RBS beprobt, so dass insgesamt

34 Probebäume als Datenmaterial vorlagen. Der Tabelle 23 ist die Verteilung der gefälltten Probebäume auf die untersuchten Faktorstufen Alter, Freistellung und Konkurrenzsituation zu entnehmen.

Tab. 23: Verteilung der gefälltten Probebäume (■ im Jahr 2002 gefällt, ■ im Jahr 2003 gefällt)

		Konkurrenz- situation	Freistellungsvariante			
			keine	mäßig	stark	
Fichtenaltersstufe	16	niedrig	2	1	1	2
		mittel	2	2	1	1
		hoch	2	2	2	
	26	niedrig	1	1	1	2
		mittel	2	2		1
		hoch	2	2	1	

Die Gesamtblattmassen der Probebäume sollten mittels allometrischer Funktionen und mit Hilfe des Programmes BRANCH geschätzt werden. Die Entnahme der Referenzbäume geschah jeweils gegen Ende der Vegetationsperiode bei möglichst vollem Blatt- und ausgeprägtem Fruchtbehang. Die Entnahme der Probebäume erfolgte im Jahr 2002 im November im unbelaubten Zustand, damit noch laufende Wachstumsreaktionen ausgeschlossen werden konnten. Die letzte Beprobung, bei der alle restlichen Versuchsbäume entnommen wurden, ist im August 2003 durchgeführt worden. An diesen restlichen Probebäumen konnten zu diesem Zeitpunkt auch Blattmassedaten gewonnen werden. Tabelle 24 zeigt eine Übersicht der an den gefälltten Bäumen gemessenen Parameter und beprobten Biomassen. Alle Trockengewichte der Biomassen wurden nach einer einheitlichen Trocknung von 24h bei 105°C ermittelt.

Tab. 24: Übersicht der bei der destruktiven Beprobung erfassten Parameter

<b>Jahr der Beprobung / Fällung</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>
Bemerkung	nur Referenzbäume	Referenzbäume und Probebäume	Probebäume	Probebäume
<b>Zeitraum</b>	August	August	November	August
<b>BHD [cm]</b>	x	x	x	x
<b>Baumlänge [m]</b>	x	x	x	x
<b>Kronenansatz [m]</b>	x		x	x
<b>Ansatz Lichtkrone [m] (stehend)</b>	x	x	x	x
<b>Astbiomasse</b> von 4 Probeästen	x	x(nur Probebäume)	x	
<b>Astansatzdurchmesser</b> aller Äste mit Rinde [cm]	x	x (nur Probebäume)	x	x
<b>Astansatzhöhe</b> AstAnsH [m]			x	x
<b>Astlänge</b> AstL [m]		x	x	x
<b>Astsplintfläche</b> [mm]		x	x	
<b>Blattfläche</b> der Probeäste	x	x		x
<b>Blattbiomasse</b> des Probeastes	x	x		x
<b>Astanzahl</b> (getrennt nach Licht- und Schattenkrone)	x	x	x	x
<b>gesamte Blattmasse des Baumes</b> (Vollaufnahme)	x			
<b>Blattmasse des Baumes nach RBS</b>		x		x
<b>Stammprobenentnahme</b> (Stammfuß, BHD, Mitte, Spitze)		x	x	x
<b>Splintfläche Stammholzprobe</b>		x	x	x
<b>Zuwachs Trieblänge Ast</b> [cm]			x	x
<b>Zuwachs Terminaltrieb</b> [cm]			x	x
<b>Anzahl Bäume</b>	4	9	16	18
<b>Gesamt</b>				<b>47</b>

#### 2.2.2.5.4 Probeäste – Auswahlverfahren und Messungen

Mit Hilfe des Programms RBS (s. Kapitel 2.2.2.5.5) wurden an jedem gefälltten Baum vier Probeäste bzw. Primäräste ausgewählt. Dies waren jeweils zwei Äste aus der Schattenkrone und zwei aus der Lichtkrone. Dabei wurde ein Primärast der Lichtkrone zugeordnet, wenn er mit seinen Blättern in den zuvor definierten Lichtkronenbereich (oberhalb der breitesten Kronenausdehnung) reichte. Der Durchmesser an der Astbasis konnte oftmals als ein weiteres Zuordnungsmerkmal für die zwei Kronenstraten herangezogen werden. Die Dimensionen der Primärastdurchmesser nehmen im Stammverlauf von unten nach oben generell ab. Bei Primärästen hingegen, die im Stammverlauf als erste in den Bereich der Lichtkrone ragen, ist oftmals eine Durchmesserzunahme an der Astbasis zu beobachten. Diese konnte als ein weiteres Kriterium für die Trennung der Krone in Schatten- oder Lichtkronenbereich herangezogen werden.

Nach Auswahl und Entnahme der Äste wurde der Astdurchmesser in 1 cm Entfernung von der Abschnittsstelle bzw. dem Stammansatz gemessen und die Länge des Astes von der Astbasis bis zur Spitze vermessen (Abb. 25). An den Querschnitten der Astbasis wurde der Durchmesser der Verkernung optisch angesprochen und ebenfalls vermessen, um anschließend die wasserführende Splintfläche mit der Differenz Astquerschnittsfläche zu Kernfläche berechnen zu können. Abbildung 26 zeigt die Querschnittsfläche eines frisch abgetrennten Astes, die hellen Bereiche in der Astmitte sind die „trockenen“ Kernholz-Bereiche, die dunklen Bereiche am Außenrand sind die wasserführenden, „feuchten“ Splintholzbereiche. Die Bestimmung der Splintfläche soll an dieser Stelle nur eine Begleituntersuchung darstellen.

Weiterhin wurde versucht die Triebblängen der Äste der vergangenen 4 Jahre (bis zum Jahr 2000) zu erfassen. Dazu wurden die Astlängen zwischen den Triebbasisnarben vermessen. Bei Bedarf wurde ein Kontrollschnitt und eine Jahrringzählung durchgeführt, um den Trieb dem Jahr korrekt zuordnen zu können. Zur weiteren Beschreibung der Methode s. ROLOFF (2001, S. 14)

Die gesamte Blatt- und Holzmasse der ausgewählten und untersuchten Äste wurde anschließend zur Bestimmung der Trockenmasse ins Labor gebracht.

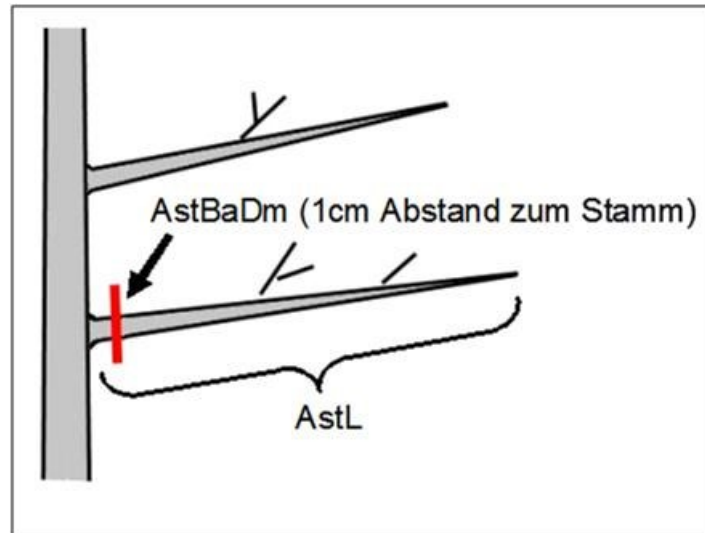


Abb. 25: Definition der Astlänge (AstL) und des Astbasisdurchmessers (AstBaDm)



Abb.26: Kern (helle Bereiche im Zentrum)- und Splintholzfläche (äußere, dunkle Bereiche) in einem Astquerschnitt

### 2.2.2.5.5 Randomized Branch Sampling

Das Randomized Branch Sampling (RBS) ist ein Verfahren zur Schätzung von Biomassen und wurde ursprünglich von JESSEN (1955) zur Schätzung von Fruchtmassen an Obstbäumen entwickelt. Mit dem Verfahren können im Prinzip jegliche oberirdische Biomassen, u.a. auch Holz- und Blattmassen geschätzt werden (VALENTINE und HILTON 1977, VALENTINE et al. 1984). Eine forstliche Anwendung erfolgte u.a. in den Arbeiten von GREGOIRE et al. (1995) und GAFFREY und SABOROWSKI (1999a und 1999b). CANCINO (2003) geht in seiner Dissertation schwerpunktmäßig auf das Verfahren ein, indem er die unterschiedlichen RBS-Stichproben-Varianten an Datensätzen von drei Baumarten mathematisch darstellt und statistisch theoretische Überlegungen zur Verbesserung der Schätzpräzision gibt. Dazu benutzte er u.a. auch Datensätze von den gefälltten Vogelbeeren aus der vorliegenden Arbeit. CANCINO (2003) entwickelte das Programm BRANCH (Grundlage DELPHI 5.0), welches zur Stichprobenentnahme im Wald eingesetzt werden kann und anschließend eine Schätzung des gewünschten Zielparameters liefert. Die Autorin konnte das Programm während der Entwicklungsphase in Feldversuchen testen und anschließend für die eigene Arbeit verwenden.

Bei dem Verfahren des RBS wird die Struktur der natürlichen Verzweigung des Baumes als Muster genutzt, um innerhalb eines Auswahl-Algorithmus schrittweise Stichproben zu entnehmen, mit denen man anschließend einen Zielparameter schätzen kann. Der Baum wird dabei in Knoten (Stelle an der am Baum eine Verzweigung in einen oder mehrere Äste stattfindet) und Segmente (Astteil zwischen zwei aufeinanderfolgenden Knoten) eingeteilt (Abb. 27).

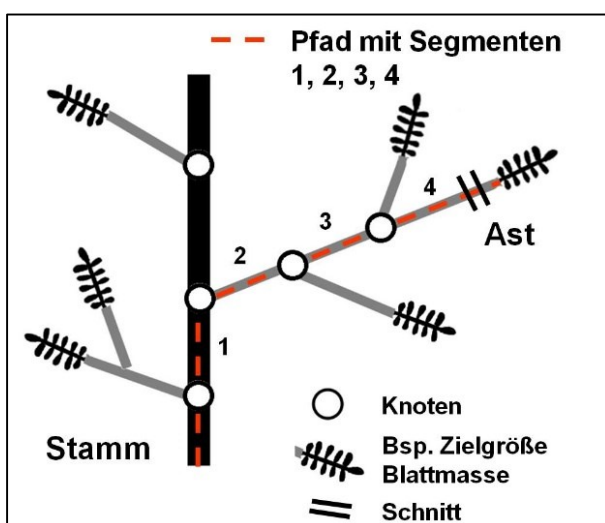


Abb. 27: Definition und Darstellung von Knoten, Segmenten und Zielgröße innerhalb des klassischen RBS-Schätzverfahrens



Der Auswahl-Algorithmus beginnt bei einem ersten definierten Knoten. An diesem wird ein Segment ausgewählt und bis zum nächsten Knoten weiter verfolgt. Auf diese Weise wird weiter verfahren, bis ein definiertes Endsegment erreicht ist, bzw. kein Knoten mehr existiert. Ein Endsegment kann z.B. das Zweigende oder bei Holzbiomasse-Schätzungen ein gewisser Segment- bzw. Astdurchmesser sein. So definierte z.B. VALENTINE et al. (1984, zit. in CANCINO 2003) das Pfadende, wenn ein Astdurchmesser von 5cm erreicht war. Die Definition der Knoten soll sich am Untersuchungsziel und an praktischen Gesichtspunkten orientieren (GAFFREY und SABOROWSKI 1999a). Die Bestimmung bzw. Festsetzung des ersten Knotens weist letztendlich den Baumteil aus, für den die Schätzung dann gültig ist.

Die Menge der aufeinanderfolgenden Segmente vom ersten Knoten bis zum Endsegment wird als Pfad bezeichnet. Die Zielgrößen bzw. Werte werden entlang des Pfades und / oder an seinem Ende gesammelt und anschließend wird mit diesen der Zielparameter geschätzt. Die Schätzung kann mit den Werten eines Pfades durchgeführt werden. Man benötigt aber mindestens zwei Pfade, wenn man einen Standardfehler der Schätzung berechnen möchte.

Im Prinzip ist das RBS ein Spezialfall mehrstufiger Stichprobenverfahren, dies wird von GAFFREY und SABOROWSKI (1999b) und CANCINO (2003) hergeleitet und bewiesen. Die Verfolgung eines Pfades kommt dem Ziehen von Stichproben auf mehreren Stufen gleich. Eine neue Stufe wird immer bei einem neuen Knoten eröffnet.

Das RBS beinhaltet ein zufälliges Auswahlverfahren, dessen Auswahlwahrscheinlichkeit proportional zu einer Zielgröße ist, dieses Stichprobenverfahren ist auch als „probabilities proportional to size“ Stichprobe (PPS) bekannt. Der Vorteil der Auswahlwahrscheinlichkeit mit Proportionalität zur Zielgröße ist, dass man bei gleichem Stichprobenumfang eine geringere Varianz der Schätzgröße erhält (JESSEN 1955, GAFFREY und SABOROWSKI 1999a). Da aber die Zielgröße (im vorliegenden Fall die Blattmasse) in der Regel unbekannt ist, bedient man sich einer Hilfsvariable, die man an den Segmenten eines Knotens messen oder schätzen kann, z.B. der Durchmesser eines Astes ( $d$ ) bzw. seiner Querschnittsfläche ( $d^2$ ), der proportional zur Astblattmasse ist (s.a. „Pipemodel“ nach SHINOZAKI et. al 1964a und 1964b). Grundlegend kann aber jede Segmenteigenschaft als Hilfsgröße definiert werden, jedoch wird eine straffe Beziehung zwischen Hilfsgröße und Zielgröße empfohlen, um eine möglichst kleine Variabilität der Schätzung zu erreichen. Im Endeffekt liefert jeder ausgewählte Pfad eine Schätzung der Zielgröße für den gesamten Baum, indem man die „gesammelte“ Biomasse mit dem Reziprok der unbedingten Wahrscheinlichkeit des Pfades multipliziert und somit „hochrechnet“. GREGOIRE et al. (1995) bezeichnet dieses Reziprok als „inflating factor“. Abbildung 28a-c stellt die Herleitung der unbedingten Wahrscheinlichkeiten eines Pfades in vereinfachter

Form dar. Der in Abb. 28 b und c grau dargestellte Pfad hätte mit den vier ausgewählten Segmenten eine unbedingte Wahrscheinlichkeit von  $Q_4 = 0,125$ .

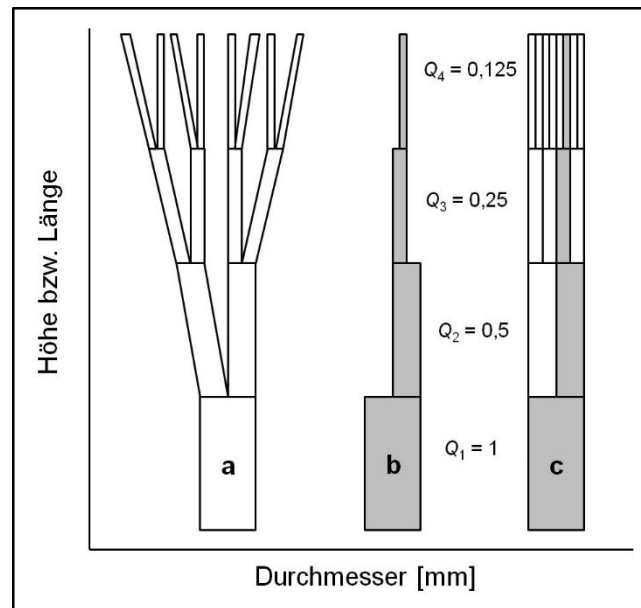


Abb.28a-c: Herleitung der unbedingten Wahrscheinlichkeiten innerhalb der RBS-Schätzverfahren (Abbildung verändert nach GREGOIRE et al. 1995)

Ist  $f_s$  die Biomasse des  $s$ -ten Segmentes des ausgewählten Pfades, so kann die gesamte Biomasse  $F$  des gewählten Pfades  $\hat{F}_p$  mit

$$\hat{F}_p = f + \sum_{s=1}^R \frac{f_s}{Q_s}. \quad \text{Gleichung (11)}$$

über alle betrachteten Stufen geschätzt werden. Wenn man mehr als einen Pfad auswählt und beprobt, kann man durch die Berechnung des arithmetischen Mittels der  $\hat{F}_p$  eine erwartungstreue Schätzung für die Zielgröße  $F$  (gesuchte Gesamtbiomasse) des gesamten Baumes bekommen.

Das RBS kann gegenüber anderen Stichprobenverfahren einige Vorteile vorweisen. Das Verfahren schätzt sehr effizient. Im Feld brauchen nur die Biomassen der im Auswahlverfahren vorgeschlagenen Segmente bzw. Pfade erhoben werden. Beprobt man mehr als einen Pfad, kann die Varianz des Schätzers berechnet werden. Ist es möglich eine Hilfsgröße zu benutzen, die in einer strengen Proportionalität zur gesuchten Zielgröße steht, dann tendieren die Vari-

anzen der Schätzungen gegen Null. Das Verfahren liefert einen unverzerrten, d.h. „biasfreien“ Schätzer.

Es lassen sich mehrere Varianten der Stichprobenziehung im RBS-Verfahren realisieren. Diese werden in GAFFREY und SABOROSWKI (1999b), CANCINO (2003) sowie CANCINO und SABOROWSKI (2005) genauer beschrieben. Bei allen Verfahren wird eine Auswahl mit ungleichen Wahrscheinlichkeiten durchgeführt und dabei Ziehen mit Zurücklegen (ZmZ) allein oder in Kombination mit Ziehen ohne Zurücklegen (ZoZ) auf der ersten Stufe, d.h. ein Primärast kann nicht wiederholt ausgewählt werden, angewandt. Möglich sei auch das ZmZ auf der 2. Stufe.

Erwartungstreu sind alle Verfahren, es ergeben sich nur Unterschiede bezüglich der Varianz und der Effizienz, welche CANCINO (2003) und CANCINO und SABOROWSKI (2005) eingehend darstellen und vergleichen. Weitere Maßnahmen zur Varianzreduktion umfassen die Einteilung des Baumes bzw. der Krone in Straten während der Beprobung. GAFFREY und SABOROWSKI (1999b) schlagen dabei eine variable Einteilung der Kronensektionen vor, damit diejenigen Äste in ein Stratum kommen, die ähnliche Blattmassen tragen. Dies wäre z.B. die Einteilung in Licht- und Schattenkrone. Ebenso kann der Stamm als Segment in die Auswahl einbezogen oder weggelassen werden. Weiterhin können sehr starke Äste (z.B. auch Zwiesel) eine extreme Verzerrung der Schätzung liefern. Diese Äste können zur Schätzung außer Acht gelassen werden, wenn dazu eine bestimmte Umstellung der Pfadstruktur vorgenommen wird (CANCINO und SABOROWSKI 2007).

Mit dem Programm BRANCH lassen sich alle bekannten RBS-Varianten im Feld durchführen. Bevor man mit der Beprobung beginnt, werden das gewünschte Verfahren und die Stichprobenanzahl eingestellt. Weiterhin müssen die Anzahl der Segmente am ersten Knoten und die Werte der zugehörigen Hilfsgrößen eingegeben werden. Das Programm beginnt mit der Auswahl des ersten Segmentes am ersten Knoten und die Auswahl wird bis zum Ende des Pfades weiter verfolgt. Das Programm warnt bei zu großen Segmenten, die im Beprobungsalgorithmus ausgelassen werden sollen, um eine Verringerung der Schätzungsvarianz zu erreichen. Die Werte der beprobten Zielgrößen bzw. Biomassen können gleich vor Ort im Feld oder erst im Nachgang im Labor in das Programm eingegeben werden. Ist dies geschehen, kann mit BRANCH die Schätzung durchgeführt werden. Zum Ergebnis der Schätzung wird auch die Varianz der Schätzung ausgegeben. Das Programm wurde bei der Feldarbeit auf einem Laptop eingesetzt.

Die in vorliegender Arbeit benutzten Varianten werden in Tabelle 25 dargestellt. An vier Referenzbäumen wurde eine Vollaufnahme durchgeführt. Diese Daten dienten auch für die Analysen der Arbeit von CANCINO (2003). Die Ergebnisse der Vollaufnahmen wurden ebenfalls in das Programm BRANCH eingegeben. Mit diesen Daten war es dann möglich RBS-Stichproben mit den verschiedenen Schätzmethoden zu simulieren. Als Hilfsgröße diente immer die Astquerschnittsfläche (Durchmesser des Astes mit Rinde hoch 2,  $d_{\text{Ast}}^2$ ). Im Feld wurde immer der Astdurchmesser in BRANCH eingegeben. Die Nutzung der Querschnittsfläche ( $d^2$ ) musste in den Programmeinstellungen bestimmt werden und die entsprechende Umrechnung erfolgte im Schätzalgorithmus des Programms.

Weiterhin wurden an Referenzbäumen eine klassische RBS-Beprobung (ZmZ) mit einem Stichprobenumfang von  $n=6$  und in einem zweiten Schritt die Beprobung mit ZoZ auf der ersten Stufe und ZmZ ( $m=1$ ) auf den folgenden Stufen durchgeführt. Beim klassischen RBS werden die Knoten am Stamm definiert, d.h. im Stichprobenalgorithmus müssen immer der Astdurchmesser und der zugehörige Stammdurchmesser am Astansatz gemessen und zur weiteren Pfad- bzw. Segmentauswahl angegeben werden.

Bei den Probebäumen wurden die Kronen in Licht- und Schattenkrone aufgeteilt (stratifiziert) und je Stratum mit ZoZ auf der ersten Stufe eine Stichprobe von  $n = 3$  Ästen ausgewählt und diese Pfade mit ZmZ ( $m = 1$ ) ab der 2. Stufe weiter untersucht. Bei dieser Beprobung wurde die Stammdimension nicht beachtet, bzw. der Stamm nicht in die Analyse einbezogen. Alle Durchmesser der Äste des jeweiligen Stratums gehören dann zum ersten Knoten. Abbildung 29 soll dieses Vorgehen beispielhaft verdeutlichen.

Zuletzt wurde bei vorliegender Untersuchung das RBS-Verfahren ZoZ zur Auswahl von vier Probeästen je Baum ( $n = 2$ , zwei Äste je Kronenstratum) benutzt. Diese Auswahl entspricht eigentlich einem einfachen 3P-Sampling (PPP, *probability proportional to prediction*, GROSENBAUGH 1964, zit. in GAFFREY und SABOROWSKI 1999a). An diesen Ästen wurden der Astbasisdurchmesser, die Astlänge und der Zuwachs der letzten 3 Vegetationsperioden (anhand von Internodienabständen) vermessen. Die gesamte Astblattmasse wurde geerntet und ins Labor zur Biomassebestimmung gebracht.

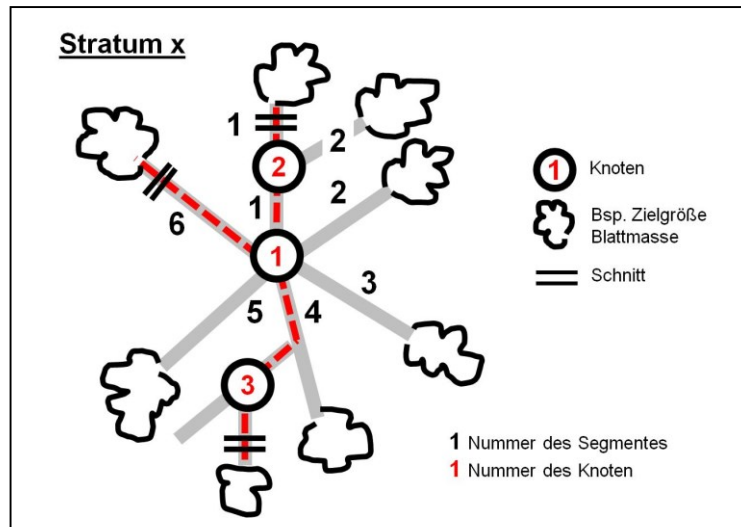


Abb. 29: Definition und Darstellung von Knoten, Segment und Zielgröße innerhalb des bei den Probebäumen angewandten RBS-Schätzverfahrens ZoZ mit 2 Straten (Skizze als Draufsicht)

**[Erläuterungen:**

im Stratum x gibt es sechs Primäräste am Stamm (d.h. Segmente am Knoten 1). Nach Auswahl eines dieser 6 Äste (im hier gezeigten Beispiel wäre dies zuerst Ast Nr.1, d.h. Segment 1 am Knoten 1), wird der Pfad an diesem weiter verfolgt. Stößt man im weiteren Verlauf des Pfades bzw. Astes auf eine Verzweigung wird an dieser der Knoten 2 gesetzt und weitere Äste bzw. Segmente vergeben. Zur weiteren Auswahl käme im gezeigten Beispiel das Segment 1 am Knoten Nr. 2. Der Pfad wäre dann am Ende des Astes abgeschlossen. Jegliche gewünschte Zielgrößen werden „unterwegs“ auf dem Pfad und am Endes des Pfades (hier im Beispiel die Blattmasse) gemessen bzw. beprobt. Bei den Probebäumen wurden zur Schätzung der Gesamtblattmasse jeweils 3 Äste je Kronenstratum beprobt. Im Beispiel würden noch die Äste Nr. 4 und 6 als Pfade verfolgt und beprobt werden. Blattmassen, die evtl. am Stamm vorkommen bzw. wachsen, werden bei der Analyse dem Knoten 0 zugeordnet.]

Tab. 25: Übersicht der verwendeten RBS-Stichprobenvarianten (n = Stichprobenumfang auf erster Stufe und m = Stichprobenumfang auf zweiter Stufe)

	Referenzbäume	Probebäume	Primärastauswahl
<b>Anzahl Bäume</b>	<b>13</b>	<b>34</b> Fichtenaltersstufe 16 und 26	<b>15</b>
<b>davon Beprobung mit ZmZ (n=6)</b>	<b>9</b> (in 2002): jeweils 3 Bäume aus den Altersstufen 16, 19 und 26	keine	
<b>davon Beprobung mit ZoZ</b>	<b>10</b> (n=3; m=1) (9 Bäume in 2002, bei denen auch schon ZmZ realisiert, dazu einen extra in Altersstufe 19, nur ZoZ)	<b>34</b> (n=3; m=1): 16 Bäume im Jahr 2002 ohne Blattmasse und 18 Bäume im Jahr 2003 mit Blattmasse	an <b>15</b> Bäumen (n=2; m=1), nur zur Auswahl von 2 Probeästen je Kronenstratum
<b>davon Beprobung mit Vollaufnahme</b>	<b>4</b> (in 2001: 2 Bäume in Altersst. 16, 1 Baum in Altersst. 19 und 1 Baum in Alterst. 26)		

## 2.2.3 Statistische Verfahren zum Freistellungsexperiment

### 2.2.3.1 Allgemeine statistische Verfahren

Grundlegend wurde von einer Unabhängigkeit der Zentralbäume (Vogelbeer-Probeebäume) und der Versuchseinheiten (Zentralbaum und Fichtenkonkurrenten) voneinander ausgegangen. Folglich wurde dann auch die Unabhängigkeit des aus den Versuchseinheiten ermittelten Datenmaterials angenommen. Diese Annahme sollte dann auch für diejenigen Versuchseinheiten gelten, die innerhalb einer Fichtenaltersstufe, d.h. innerhalb ein und desselben Bestandes etabliert worden sind.

Datenhaltung und Datenaufbereitung erfolgte mit der Microsoft© Corporation Standard-Software Excel©. Die Datenanalyse wurde mit der Statistiksoftware IBM SPSS Statistics © mit den jeweiligen aktuellen Versionen (zuletzt IBM SPSS 20 Statistics ©) durchgeführt. Zur Anwendung kamen statistische Standardverfahren, zu denen die Ausführungen von BORTZ (1999), KÖHLER et al. (2007), SACHS (1999) und BROSIUS (2009) beachtet worden sind.

#### Statistische Kennwerte

Für weiterführende statistische Analysen wurden die grundlegenden deskriptiven Größen und Lagemaße arithmetischer Mittelwert ( $\bar{x}$ ), Median ( $\tilde{x}$ ) und die Spannweite (Minimum und Maximum) ermittelt. Die grafische Darstellung erfolgte mit Hilfe von Boxplots (Erläuterungen dazu in BROSIUS (2009), S. 397 ff.), Histogrammen und Fehlerbalkendiagrammen. Als Streuungsmaße sind Standardfehler (sd) und Standardabweichung (s) angegeben. Für die schließende Statistik wurde immer von einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 5\%$  ( $p = 0,05$ ) ausgegangen.

#### Korrelationen

Korrelationsanalysen dienen zur Prüfung und Beurteilung von Zusammenhängen zwischen Parametern. Dabei wird ein Korrelationskoeffizient (r) ermittelt, welcher den linearen Zusammenhang identifizieren kann. Er ist ein Maß für die Stärke und die Richtung (negativ oder positiv) des Zusammenhangs und wird in einer Zahl zwischen -1 und +1 ausgedrückt (BROSIUS, 2009). In Anlehnung an BROSIUS (2009) wurde der Betrag des ermittelten Korrelationskoeffizienten nach Tabelle 26 interpretiert. BROSIUS (2009) empfiehlt ergänzend die Gegenüberstellung der zu analysierenden Daten in einem Streudiagramm, da der Korrelationskoeffizient nur zur Aufdeckung und Analyse eines linearen Zusammenhangs eingesetzt werden kann. Ein

perfekter nichtlinearer Zusammenhang würde unter Umständen mit einem Korrelationskoeffizienten von 0 bewertet und somit nicht identifiziert werden.

Tab. 26: Korrelationskoeffizienten und mögliche Interpretationen nach BROSIUS (2009)

Betrag des Korrelationskoeffizienten	Mögliche Interpretation
0	Keine Korrelation
über 0 bis 0,2	Sehr schwache Korrelation
0,2 bis 0,4	Schwache Korrelation
0,4 bis 0,6	Mittlere Korrelation
0,6 bis 0,8	Starke Korrelation
0,8 bis unter 1	Sehr starke Korrelation
1	Perfekte Korrelation

### Regressionen

Kann der Zusammenhang zweier abhängiger Parameter / Variablen durch eine Regressionsgleichung ausgedrückt werden, ist es möglich die eine Variable zur Vorhersage der anderen einzusetzen. Für praktische Anwendungen sind Regressionsgleichungen daher vorteilhaft, weil mit ihnen „...schwer erfassbare Variablen...“ mit Hilfe einer „...einfach meßbaren Variablen...“ vorhersagbar sind (BORTZ 1999). Dabei sind lineare und nicht lineare Zusammenhänge identifizierbar und für eine „Merkmalsvorhersage“ nutzbar.

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurden für regressionsanalytische Auswertungen neben der optischen Einschätzung mit Hilfe von Streudiagrammen schwerpunktmäßig das Verfahren der Kurvenanpassung in der Software IBM SPSS Statistics © genutzt, um passende Ausgleichsgeraden bzw. -funktionen zu ermitteln. Es wurde sich an den Richtwerten  $R^2$  (Bestimmtheitsmaß) und den im Verfahren ermittelten Signifikanzen für die Parameter und Koeffizienten der identifizierten Ausgleichsgeraden orientiert. Das Bestimmtheitsmaß ist neben dem Korrelationskoeffizienten eine weitere Maßzahl zur Beschreibung der Stärke des Zusammenhangs zwischen einer unabhängigen Variablen (x) und einer abhängigen Zielvariablen (y). Mit  $R^2$  kann der Anteil der Veränderungen der Zielvariablen aus der unabhängigen Variablen erklärt werden.  $R^2$  kann dabei als ganze Zahl zwischen 0 und 1 oder in Prozent zwischen 0 % bis 100 % ausgedrückt werden (KÖHLER et al. 2007). Ein linearer Ausgleich erfolgte nach der Methode der kleinsten Quadrate mit der Quadratsumme des Typs III (BORTZ 1999, KÖHLER et al. 2007, BROSIUS 2009, SACHS 1999) und wurde mit einer einfachen linearen Ausgleichsgeraden der Form

$$y = a_0 + a_1 \cdot x$$

Gleichung (12)

beschrieben. Ein nicht linearer Zusammenhang wurde mit entsprechenden Ausgleichsfunktionen angepasst. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Funktionen dem entsprechend zu untersuchenden Datensatz immer neu angepasst. Die Kurvenanpassungen wurden ohne Konstante durchgeführt, da aus biologischer Sicht meist angenommen wird, dass bei einem Null-Wert der unabhängigen Variable die Zielvariable ebenfalls gleich Null ist.

Die verwendeten Funktionen sind in Tabelle 27 zusammengefasst und lehnen sich der Darstellung in BROSIUS (2009, S. 601) an.

Tab. 27: Übersicht der verwendeten nicht linearen Funktionen zur Bestimmung eines nicht linearen Zusammenhangs (in Anlehnung an BROSIUS 2009)

Kurventyp	Funktion
Exponentiell	$y = e^{b_1 \cdot x}$
Potenzfunktion	$y = x^{b_1}$
Quadratisch	$y = b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2$

### 2.2.3.2 Varianzanalytische Auswertungen

#### Voraussetzung Normalverteilung und Varianzhomogenität der Daten

Für varianzanalytische Auswertungen muss das untersuchte Datenmaterial die Grundvoraussetzungen der Normalverteilung unter den Faktorstufen und der Varianzhomogenität erfüllen. Um diese Grundvoraussetzungen zu prüfen, stehen in der Routine des SPSS-Statistikprogramms die Tests nach KOLMOGOROV-SMIRNOV und nach SHAPIRO-WILKS zur Verfügung. Diese Tests wurden in der vorliegenden Studie genutzt. Bei größeren Stichproben wurde das Ergebnis der KOLMOGOROV-SMIRNOV- und bei kleineren Stichproben ( $n < 50$ ) der SHAPIRO-WILKS-Test zur Prüfung der Normalverteilung betrachtet.

Zur Überprüfung der Varianzhomogenität wurde jeweils der LEVENE-Test durchgeführt, der ebenfalls in der Programmroutine eingesetzt wird.

#### Allgemeines zu varianzanalytischen Auswertungen

Das Versuchsdesign zum waldbaulichen Freistellungsversuch war grundlegend als vollständiges Design im Sinne einer varianzanalytischen Auswertung angelegt. Als unabhängige Faktoren wurden die Fichtenaltersstufe, die Freistellungsvariante und die Konkurrenzsituation in die Modelle einbezogen. Der Stichprobenumfang betrug in einer „Zelle“ nach Möglichkeit  $n = 2$ . Dies konnte nicht für alle Zellen realisiert werden (s. Kapitel 2.2.2).

Die Verwendung eines Messwiederholungsdesigns schloss sich aufgrund der Verteilung der Werte und des zugrundeliegenden Stichprobenumfangs aus, da dieses hinsichtlich der Vo-



raussetzungen wesentlich strengere Kriterien an die Normalverteilung der Daten und an eine balancierte Zellbesetzung stellt (BORTZ 1999). Grundsätzlich war das Verfahren der Messwiederholung als Methode für das vorliegende Versuchsdesign in Betracht gezogen worden. Bei diesem Verfahren gehen keine absoluten oder relativen Werte in die Berechnungen ein, es werden die Differenzen der absoluten Werte unter Zuhilfenahme von Kontrasten betrachtet. Ein unterschiedliches Niveau der Individuen bzw. Aufnahmewerte stellt dann kein Problem dar und die Fehlerstreuung wird minimiert.

Zur Auswertung wurden neben der ein- und mehrfaktoriellen Varianzanalyse („*Analysis of Variance*“ – ANOVA) vor allem das Univariate Allgemeine Lineare Modell (ALM bzw. „*General Linear Model*“ - GLM) eingesetzt. Berechnet wurde immer ein gesättigtes Modell mit der Quadratsumme des Typs III. Dieses Modell ist weitgehend invariant gegenüber ungleichen Zellbesetzungen, allerdings dürfen leere Zellen nicht vorhanden sein. In diesem Fall wird sonst die Verwendung des Typs IV empfohlen (BROSIUS 2009).

In manchen Fällen wurde der Konkurrenzindex oder je nach Bedarf andere intervallskalierte Daten als Kovariaten (wie z.B. die BHD- und Höhenwerte vor der Freistellung oder der errechnete Konkurrenzindex) eingesetzt. Als abhängige Variable wurden die ermittelten absoluten und relativen Zuwächse, oder das Ausmaß des jeweiligen untersuchten Baumparameters, zu einem bestimmten Zeitpunkt in die Modelle einbezogen. Der Betrachtung der relativen Zuwächse wurde möglichst der Vorzug gegeben, um Autokorrelationen der Datenwerte weitestgehend zu vermeiden. Der untersuchte Zeitraum, auf den sich die Zuwachsberechnungen beziehen, ist in der Regel eine Zeitspanne von zwei oder drei Vegetationsperioden.

Mittlerweile hat sich der Einsatz gemischter linearer Modelle im Umgang mit räumlichen und zeitlichen Autokorrelationen deutlich erweitert (WEST et al. 2014).

In der vorliegenden Arbeit bestand der analysierte Datensatz dabei immer aus den ungeschädigten Bäumen. Die im Verlauf des Experimentes geschädigten Bäume (z.B. umgebogen durch Stabilitätsverlust) blieben prinzipiell unberücksichtigt.

### Post-hoc Verfahren

Bei den in den Varianzanalysen implementierten Post-hoc-Verfahren wurden bei Annahme gleicher Varianzen die Ergebnisse der multiplen Vergleichstests nach SCHEFFÉ betrachtet.

### Methode „Backwards“ und Entscheidungspfad zur Durchführung von Varianzanalyse

Grundsätzlich wurde bei den statistischen Auswertungen „backwards“ vorgegangen (DORMANN und KÜHN 2011). Es wurden zunächst die Grundvoraussetzungen für die varianzanalytische Auswertungen geprüft. Im ersten Schritt wurde keine Normalverteilung der Daten geprüft. Wenn diese unter den Faktorstufen nicht gegeben war, ist der nicht-parametrische Mann-Whitney-U-Test eingesetzt worden, welcher die Rangunterschiede der Daten auf Ordinalskalenniveau von zwei unabhängigen Stichproben gegeneinander testen kann. War nur die Voraussetzung der Varianzhomogenität verletzt, die Normalverteilung aber gegeben, wurden die Mittelwerte der jeweiligen Stichproben einer Faktorstufe mit Hilfe des T-Tests (bei inhomogenen Varianzen) gegenseitig getestet.

Hatten die unabhängigen Faktoren in den verwendeten Modellen (mehrfaktorielle ANOVA oder Allgemeines Lineares Modell) keinen signifikanten Einfluss, oder das Modell durch Einbeziehung mehrerer unabhängiger Faktoren ein schwaches Bestimmtheitsmaß, so wurden die Modelle um diese Faktoren reduziert. Es erfolgte dann eine Abstufung des eingesetzten Testverfahrens auf die zweifaktorielle, oder nach Bedarf einfaktorielle ANOVA oder gar der Einsatz eines einfachen T-Tests (bei homogenen Varianzen).

Abbildung x zeigt ein Flussdiagramm, welches das oben beschriebene Vorgehen bei der Datenauswertung veranschaulichen soll.

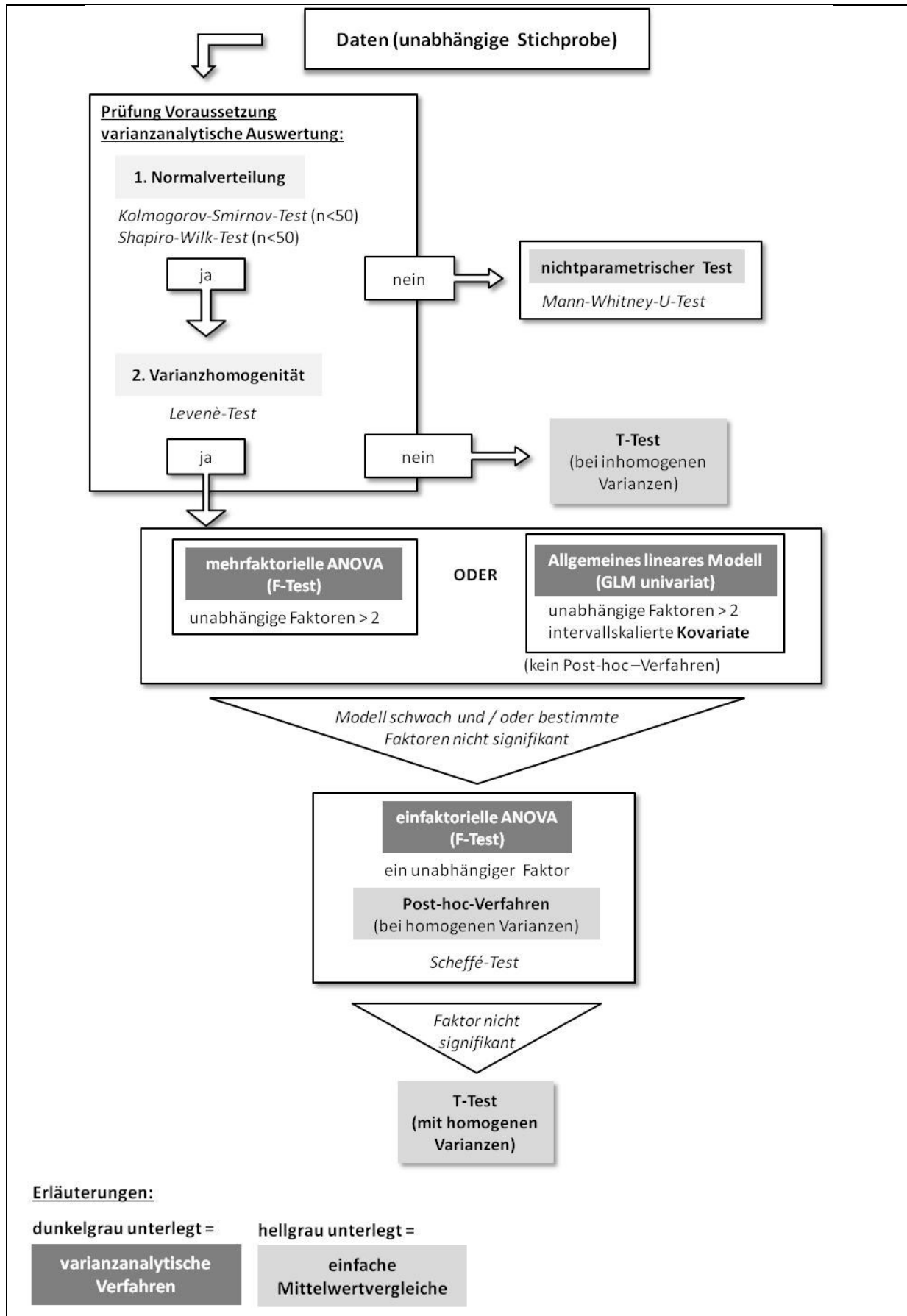


Abb. 30: Flussdiagramm zum Vorgehen bei den varianzanalytischen Auswertungen des Datenmaterials

Der grafischen Darstellung der Ergebnisse in Form von Box-Plots wurde in dieser Arbeit der Vorzug gegeben. In einigen Fällen (z.B. Ergebnisse der Triebblängen und Jahrringe) erschien die Verwendung von Fehlerbalken aufgrund des Umfangs der darzustellenden Informationen geeigneter.

### 2.2.3.3 Modelle der horizontalen Feinwurzelverteilung

In der vorliegenden Arbeit wurden die Logarithmische Normalverteilung (Log-Normal) und das Ribbensmodell (RM) zur Modellierung der horizontalen Feinwurzelverteilung der Vogelbeeren benutzt. Diese Verteilungsmodelle wurden in früheren Arbeiten zur Modellierung von Fruchtausbreitungen verwendet, um Kenntnisse über die räumlichen Verteilungscharakteristika von Verjüngungsprozessen vertiefen zu können. So parametrisierten RIBBENS et al. (1994) ein Modell anhand von 10 Baumarten. WAGNER (1997) untersuchte die Frucht- bzw. Samenausbreitung einer einzelnen Esche und passte die beobachteten Daten einem Modell auf Grundlage der Log-Normalverteilung an, wobei auch Richtungseffekte berücksichtigt wurden. In späteren Arbeiten wurden diese Modelle auch für die Analyse von räumlichen Verteilungen von Feinwurzelmassen angewandt (AMMER und WAGNER 2002, MÜLLER 2003, beide Arbeiten parametrisierten die Feinwurzelverteilung der Baumart Fichte). Zur Definition der Feinwurzel und zur angewandten Methodik der Probennahme in der vorliegenden Untersuchung wird auf das Kapitel 2.2.2.4.4 verwiesen. Die Modellierung der horizontalen Verteilung bezieht sich demnach auf eine Beprobungstiefe von 30 cm. Die Diagramme der nichtlinearen Verteilung der Feinwurzel-dichte wurden mit dem Programm Mathcad 2000 Professional erstellt.

#### Allgemeine Hinweise zu den Verteilungsmodellen

Die benutzten Verteilungsmodelle sollen an dieser Stelle nur kurz beschrieben werden. Ausführlichere Beschreibungen und mathematische Darstellungen zu den Modellen liefern die Arbeiten von WAGNER und STOYAN (2001) und WAGNER et al. (2004).

Die angewandte Methode ist in der Geometrie-Statistik gebräuchlich. Sie wird zur Analyse von Punktfeldern verwandt, die gesetzmäßige Unterschiede in ihrer Punktdichte aufweisen (BATSCHLET 1981). Dies sind so genannte inhomogene Poisson-Felder (STOYAN und STOYAN 1992, Seite 255ff.). Das Ziel der Schätzung ist vor allem die parametrische Ermittlung einer Intensitätsfunktion in Abhängigkeit von der Entfernung zum „Ursprung“, dem Standpunkt des Baumes: „Ausbreitungskern“. Es wird unterstellt, dass sich die Punktfelder additiv überlagern, so dass die Einzelmessung ein Ergebnis mehrerer Punktfelder ist (NÄTHER und WÄLDER 2003, WAGNER et al. 2004).

Unterstellt wird eine in alle Himmelsrichtungen vom Einzelbaum (Vogelbeere) ausgehende gleiche Wirkung auf die Dichte der Feinwurzeln (isotropes Punktfeld), d.h. es wird erwartet, dass Feinwurzeln in Abhängigkeit der Entfernung zum Stamm in alle Richtungen mit identischer Wahrscheinlichkeit ausgebreitet sind. Weiterhin ist der Aufbau der Modelle durch ver-

schiedene Elemente bzw. Terme charakterisiert. Dies ist zum einen der so genannte „Ausbreitungskern“ und ein Term, der die Dimension des Baumes berücksichtigen kann.

Ausbreitungskern:

Der „Ausbreitungskern“ ist eine Dichtefunktion, welche für jede beliebige Distanz vom Stamm die zu erwartende Feinwurzeldichte in  $\text{g/m}^2$  angibt. Dieser Dichtefunktion ist je eine Wahrscheinlichkeitsverteilung hinterlegt, welche als Ribbensfunktion oder als logarithmische Normalverteilung gewählt werden können. Es ergeben sich je nach angewandtem Modell leicht unterschiedliche Kurvenverläufe der Schätzung. Grundsätzlich folgt im Fall der Ribbensfunktion die Feinwurzeldichte einer monoton fallenden Funktion, welche abhängig von der Stammentfernung ( $r$ ) ist. Gleichung 13 zeigt den Erwartungswert für das Poisson-Mittel der Ribbensfunktion.  $D$  und  $\theta$  sind der Schätzung vorzugebende Konstanten, wobei  $D$  den Kurvenabfall mit steigender Entfernung definiert,  $\theta$  die Form der Kurve bestimmt und  $r$  die Distanz zum Stamm in Metern angibt.

Die logarithmische Normalverteilung ist durch den Lageparameter  $\mu$  und die Varianz  $\sigma^2$  definiert (Gleichung 14). Der Kurvenverlauf ist nicht monoton fallend, sondern weist ein Maximum in einiger Entfernung zum Stamm ( $\text{Maximalwert} = e^{\mu - \sigma^2}$ ) auf.

$$\text{Erwartungswert} = e^{-Dr^\theta} \quad \text{Gleichung (13)}$$

$$\text{Erwartungswert} = e^{\frac{\mu + \sigma^2}{2}} \quad \text{Gleichung (14)}$$

Dimension des Einzelbaumes („BHD-Ausgleich“)

Unter der Annahme, dass die gesuchte Zielgröße des Modells abhängig von der Baumdimension sein könnte, kann dem Modell ein Term hinzugefügt werden, der diesen Zusammenhang berücksichtigt. Dieser Term relativiert dann eine angenommene Gesamtfeinwurzelmasse ( $N$ ) eines „Standardbaumes“ zur Dimension des aktuell untersuchten Baumes. Die betrachtete Dimension ist jeweils der BHD, welcher beim Standardbaum in der Regel der mittlere BHD des Bestandes bzw. der aller untersuchten Bäume ist. Das ermittelte Verhältnis bzw. der Quotient gibt dann durch Multiplikation mit dem Standard- $N$  den gesuchten Wert für die Gesamtfeinwurzelmasse des Zielbaumes wieder (Gleichung 15). Das  $\beta$  modifiziert das  $N$  als eine Potenzfunktion des beobachteten BHDs in Form einer allometrischen Funktion. Wenn  $\beta = 2$

ist, dann hat z.B. ein kleiner Baum, der halb so dick ist wie der Standardbaum nur ein Viertel so viel Wurzelmasse.

$$Feinwurzelmasse = N \cdot \left( \frac{BHD}{BHD_{Standard}} \right)^\beta \quad \text{Gleichung (15)}$$

In vorliegender Arbeit wurde der mittlere BHD (= 5,45cm) aller untersuchten Bäume als Standard-BHD verwendet. Die Anwendung des Terms, im Folgenden „BHD-Ausgleich“ genannt, stellt eine Option dar. Es wurden auch Modellanpassungen ohne „BHD-Ausgleich“ versucht.

Mit der gesamten Verteilungsfunktion der Modellansätze (Gleichung 16 und 17) kann man die zu erwartende Feinwurzelmasse ( $g/m^2$ ) des Einzelbaumes an einer bestimmten Position ( $r$ ) bei gegebenem BHD berechnen,  $N$  ist dabei die angenommene Gesamtfeinwurzelmasse des Einzelbaumes mit Standard BHD. Das  $\Gamma$  im Ribbensmodell gibt die Gammafunktion wieder, welche eine Verallgemeinerung der Fakultät auf reelle Zahlen darstellt.

Ribbensmodell mit BHD-Ausgleich:

$$Dichte(r, BHD) = \frac{\left( \theta \cdot \frac{D^{\frac{2}{\theta}}}{\Gamma\left(\frac{2}{\theta}\right)} \right)}{(2 \cdot \pi)} \cdot e^{-D \cdot r^\theta} \cdot N \cdot \left( \frac{BHD}{BHD_{standard}} \right)^\beta \quad \text{Gleichung (16)}$$

Log-Normalverteilung mit BHD-Ausgleich:

$$Dichte(r, BHD) = \frac{e^{-\left[ \frac{(\ln(r) - \mu)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right]}}{2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}} \cdot N \cdot \left( \frac{BHD}{BHD_{standard}} \right)^\beta \quad \text{Gleichung (17)}$$

Zur optimalen Übereinstimmung der gefundenen Messwerte mit der erwarteten Verteilung wurde für beide Modelle im Programm SPSS mit einem Algorithmus einer nicht linearen Regression mit der Methode der kleinsten Quadrate (sequentielle quadratische Optimierung) zur Schätzung der Modellparameter gerechnet. Dies ist ein iteratives Verfahren, bei dem für den

Schätzalgorithmus Startwerte für die Parameter vorgegeben werden. Diese sollten möglichst nah am optimalen Schätzwert liegen. Für das Ribbensmodell sind die zu schätzenden Parameter  $\theta$  und  $D$ , für das Log-Normal-Modell  $\mu$  und  $\sigma$ . Der Parameter  $N$  wird in beiden Modellen asymptotisch geschätzt, ebenso der Parameter  $\beta$  bei Anwendung des BHD-Ausgleichs. Für alle verwandten Modellrechnungen wurden dieselben Vorgabeparameter benutzt und diese bei der Schätzung mit Nebenbedingungen versehen. Der Tabelle (28) sind diese Werte zu entnehmen.

Tab. 28: Werte der Vorgabeparameter der Wurzelverteilungsmodelle

Vorgabeparameter	Modell		
	Ribbens	Log-Normal	Nebenbedingungen der Schätzmethode
$\mu$		1,0	$1,0 < \mu < 2,0$
$\sigma$		1,0	$0,1 < \sigma$
$\beta$	0,5	0,5	$0,1 < \beta < 2,0$
$N$	300	300	$10 < N < 10.000$
$D$	0,5		$0,0 < D < 8,0$
$\theta$	1,0		$0,0 < \theta < 7,0$

Zur Umwandlung des Dichtewertes in einen Häufigkeitswert bei einem bestimmten  $r$ , wird die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion mit dem Kreisumfang  $2\pi r$  multipliziert. Gleichung 18 und 19 zeigen die Umformung der Modelle mit BHD-Ausgleich. Das Ergebnis ist die Feinwurzelmasse in  $\text{g/m}^2$ .

Ribbensmodell:

$$\text{Häufigkeit (r, BHD)} = \frac{\left( \theta \cdot \frac{D^{\frac{2}{\theta}}}{\Gamma\left(\frac{2}{\theta}\right)} \right)}{(2 \cdot \pi)} \cdot e^{-D \cdot r^{\theta}} \left[ N \cdot \left( \frac{\text{BHD}}{\text{BHD}_{\text{standard}}} \right)^{\beta} \right] \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \quad \text{Gleichung (18)}$$



Log-Normalverteilung:

$$\text{Häufigkeit}(r, \text{BHD}) = \frac{e^{\left[ \frac{(\ln(r) - \mu)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right]} \cdot \text{N} \cdot \left( \frac{\text{BHD}}{\text{BHD}_{\text{standard}}} \right)^{\beta}}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma \cdot r} \quad \text{Gleichung (19)}$$

Weiterhin lässt sich die Distanz der maximalen Wurzelhäufigkeit (DMH) bestimmen, indem der Extremwert der Häufigkeitsfunktion durch Bildung der ersten Ableitung errechnet wird. Die Ableitung wird gleich Null gesetzt und nach r aufgelöst. Als Ergebnis erhält man dann die Entfernung, bei der die maximale Wurzelmenge zu finden ist (Gleichung 20 und 21).

Ribbensmodell:

$$\text{DMH} = e^{\frac{\ln\left(\frac{1}{D \cdot \theta}\right)}{\theta}} \quad \text{Gleichung (20)}$$

Log-Normalverteilung:

$$\text{DMH} = e^{\mu - \sigma^2} \quad \text{Gleichung (21)}$$

Mit dem Integral unter der Häufigkeitsfunktion (Gleichung 22) kann die maximale Wurzel- ausbreitung (MWA) geschätzt werden. Dazu werden in vorliegender Arbeit die Grenzwerte der Funktion bei 99 % und 95 % der Gesamtfeinwurzelmasse betrachtet. Gleichung 22 zeigt diese Berechnung am Beispiel der Ribbensfunktion für einzelne BHDs für 99 % der Wurzel- masse.

$$\int_0^{MWA} \frac{\left( \theta \cdot \frac{D^{\frac{2}{\theta}}}{\Gamma\left(\frac{2}{\theta}\right)} \right)}{(2 \cdot \pi)} \cdot e^{-D \cdot r^{\theta}} \cdot N = 0,99 \quad \text{Gleichung (22)}$$

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Inventur von Einzelmischungen der Vogelbeere in Fichtenbeständen der mittleren Lagen des Erzgebirges

##### 3.1.1 Ergebnisse der Datenabfrage

Zunächst sollen die Ergebnisse aus der Datenabfrage des Programms FESA dargestellt werden, da diese auch Grundlage für die Durchführung der terrestrischen Inventur gewesen sind.

Mit „Fichtenaltersklassen“ sind hier die Altersklassen in 10-Jahresschritten gemeint, - nicht die vier Fichtenaltersklassen-Stufen des Versuchsdesigns.

Als erster Schritt wurde das Programm nach Beständen durchsucht, in denen die Vogelbeere eine eigene Bestandeszeile zugewiesen bekommen hat (d.h. die Vogelbeere besitzt mindestens einen Mischungsanteil von 5 % oder eine Mindestfläche von 0,1 ha im Bestand). Damit konnten auf einer Fläche von 430 ha Fichtenbestände ausgewiesen werden, bei denen während der Forsteinrichtung eine Beimischung der Vogelbeere im Oberstand angesprochen worden ist. Dies waren insgesamt 211 Bestände. Die Gesamtfläche von Fichtenbeständen in den mittleren Lagen des Landeswaldes Sachsens bis zum Alter 51 Jahre auf Standorten mäßiger Nährkraft beträgt 21.376 ha (REINWARTH 2008). Demnach enthalten mindestens 2 % dieser jungen Fichtenbestände eine Beimischung von Vogelbeere, die mindestens 5 % umfasst. Die prozentuale Verteilung dieser Bestände über die ausgeschiedenen Altersklassen zeigt Abbildung 31. Die höchsten Anteile der Fichtenbestände, welche die oben genannten Kriterien erfüllen, sind in den Altersklassen 4 (27 %) und 5 (26 %) zu finden. Die Altersklasse 3 hat mit 9 % einen auffallend geringen Anteil von Fichtenbeständen, die über eine Beimischung von Vogelbeeren im Oberstand verfügen.

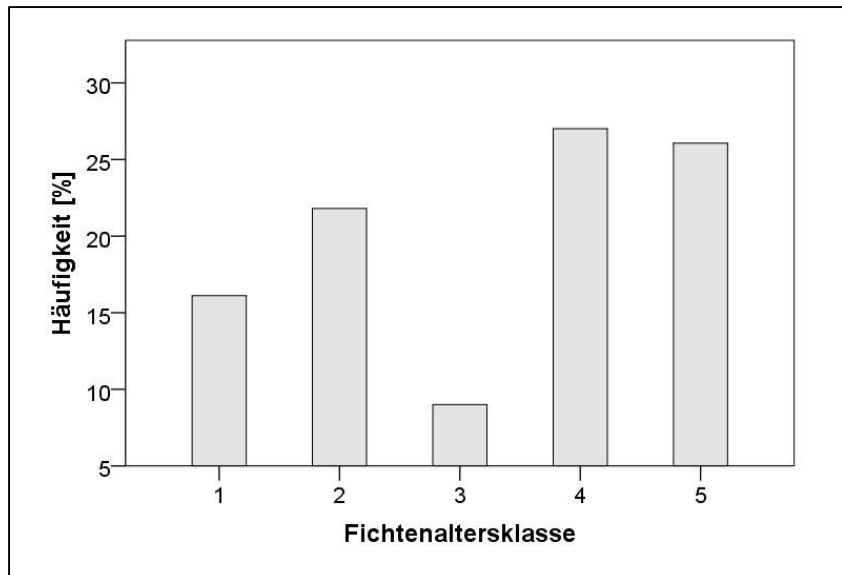


Abb. 31: Häufigkeitsverteilung der Bestände des Bestandestyps Fichte mit einer Beimischung von Vogelbeere im Oberbestand in Prozent (Fichtenertragsklasse: 1 = 0-9 Jahre, 2 = 10-19 Jahre, 3 = 20-29 Jahre, 4 = 30-39 Jahre, 5 = 40-50 Jahre)

Die Maximalwerte der Altersangaben der Vogelbeeren zeigen, dass alle untersuchten Altersklassen mit einzelnen Vogelbeeren bestockt sind. Diese besitzen ein höheres Alter als die jeweiligen Fichtenbestände (Tab. 29). Auffallend ist dabei das maximale Alter einer Vogelbeere in der Altersklasse 1 von 25 Jahren.

Die Entwicklung der mittleren Höhe der Vogelbeeren steigt bis zur Fichtenaltersklasse 5. Insgesamt konnte die Vogelbeere über alle Altersklassen eine mittlere Höhe von 10 m und maximal eine Höhe von 21 m (in der Altersklasse 4 und 5) erreichen.

Der ausgewiesene Mischungsanteil der Vogelbeeren im Oberbestand beträgt über alle untersuchten Klassen im Mittel 16 % mit einem Standardfehler von 0,83. Die Altersklasse 3 besitzt dabei mit 22 % den höchsten Mischungsanteil. Der Anteil sinkt auf 13 % in der Altersklasse 5. Die Minima reichen bis 1 % (ebenfalls Altersklasse 5).

Tab. 29: Mittelwerte, Minima, Maxima und Standardfehler der Höhenwerte, Altersangaben und Mischprozent der im Oberstand der Fichtenbestände (Datenabfrage FESA) eingemischten Vogelbeeren, aufgeteilt nach Fichtenaltersklassen

<b>Fichtenaltersklasse</b>		<b>1 (0-9 J.)</b>	<b>2 (10-19 J.)</b>	<b>3 (20-29 J.)</b>	<b>4 (30-39 J.)</b>	<b>5 (40-50 J.)</b>	<b>Mittel gesamt</b>
Alter Vogelbeere	Mittel	10	15	23	37	43	28
	Min	4	3	10	10	30	3
	Max	25	26	36	48	50	50
	Stdf.	0,75	0,76	1,66	0,90	0,66	0,98
Höhe Vogelbeere	Mittel	3	5	9	13	15	10
	Min	1	1	2	5	9	1
	Max	10	12	13	17	21	21
	Stdf.	0,33	0,40	0,66	0,30	0,30	0,35
Mischungsanteil Vogelbeere	Mittel	18	15	22	18	13	16
	Min	4	2	3	3	1	1
	Max	44	50	50	50	50	50
	Stdf.	1,68	1,40	3,43	1,97	1,34	0,83

Die Abbildung 32 stellt die mittlere Höhenentwicklung der Vogelbeeren über die betrachteten Fichtenaltersklassen in grafischer Form dar. Man sieht, dass die mittleren Baumhöhen ab der Altersklasse 4 kulminieren. Zwischen den Altersklassen 2, 3 und 4 sind noch mittlere Höhendifferenzen von 4 m zu verzeichnen, hingegen beträgt die mittlere Höhendifferenz zwischen den Altersklassen 4 und 5 nur 2 m.

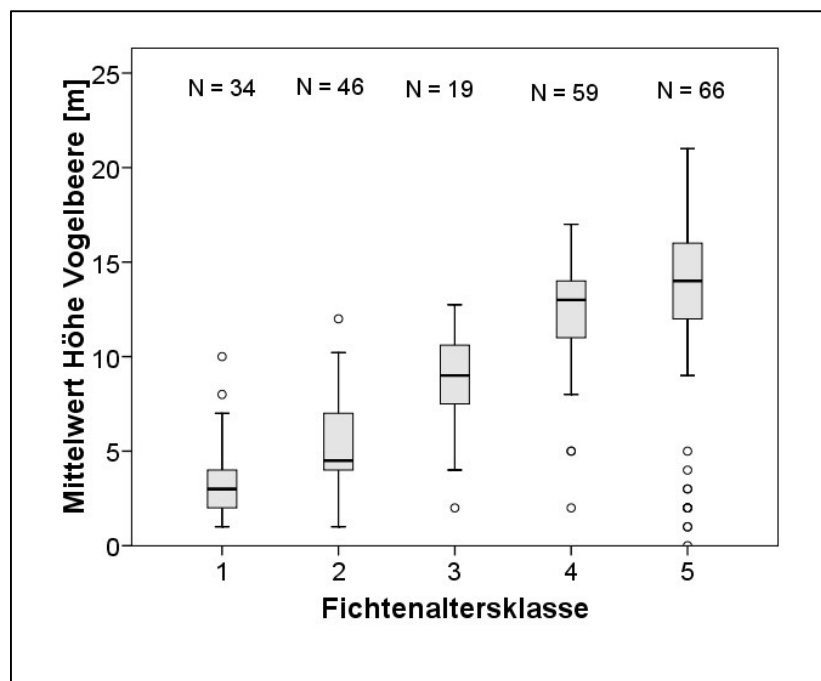


Abb. 32: Mittelwerte der Höhenwerte der im Oberstand der Fichtenbestände eingemischten Vogelbeeren, aufgeteilt nach den Fichtenaltersklassen (Fichtenertragsklasse: 1 = 0-9 Jahre, 2 = 10-19 Jahre, 3 = 20-29 Jahre, 4 = 30-39 Jahre, 5 = 40-50 Jahre)

Es wurden insgesamt 133 Bestände in der Abfrage erfasst, in denen die Vogelbeere im Textteil erwähnt wird. Dieses Vorkommen kann nicht direkt einem Bestand zugeordnet werden, sondern nur der Wirtschaftseinheit (Teilfläche). Diese ausgewählten Fichtenbestände haben eine durchschnittliche Teilflächengröße von 2 ha. Die Multiplikation dieses angenommenen mittleren Flächenwerts von 2 ha mit der Anzahl der relevanten Bestände aus der Datenbankabfrage ergibt eine Gesamtfläche von ca. 260 ha, auf der die Vogelbeere als weitere Baumart zu finden ist.

### 3.1.2 Ergebnisse der terrestrischen Inventur

Für die terrestrische Inventur sind mit Hilfe einer PPS-Stichprobe 64 Fichtenbestände aus den 211 Beständen der FESA-Datenbankabfrage (s. Kapitel 2.1.1) ausgewählt worden. Der Arbeitsauftrag zur Inventur beschränkte sich auf die Aufnahme der in Einzelmischung im Bestand stockenden und mindestens bis zum Grünastbereich der Fichte reichenden Vogelbeeren.

#### **Bäume in truppweiser Mischung wurden nicht erfasst.**

Die Verteilung der Anzahl der Bestände auf die einzelnen Forstämter und deskriptive Angaben zu den Flächengrößen dieser Bestände sind der Tabelle 30 zu entnehmen.

Tab. 30: Anzahl, Mittelwert, Minima, Maxima und Summen der Flächengröße der zur terrestrischen Inventur vorgeschlagenen Fichtenbestände mit einzelbaumweiser Beimischung von Vogelbeeren im Oberstand

Flächengröße in Hektar						
Forstamt	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standardfehler des Mittelwertes	Summe
<b>Bärenfels</b>	16	2,7	0,7	7,4	0,55	42,7
<b>Brand- Erbisdorf</b>	25	3,0	0,2	13,5	0,68	75,6
<b>Olbernhau</b>	21	2,6	0,2	8,8	0,50	54,7
<b>Insgesamt</b>	<b>62</b>	<b>2,8</b>	<b>0,2</b>	<b>13,5</b>	<b>0,35</b>	<b>173,0</b>

Die Stichprobenziehung für die terrestrische Inventur ergab für das Forstamt Brand-Erbisdorf den höchsten Anteil aufzunehmender Bestände (N = 25). Diese haben insgesamt eine Fläche von 75,6 ha. Die untersuchten Flächen waren im Mittel 2,8 ha groß, die Gesamtfläche der Stichprobe beträgt 173 ha.

Auf dieser Gesamtfläche konnten 5978 Vogelbeeren aufgenommen werden, wobei die höchsten Anteile auch hier wieder dem Forstamt Brand-Erbisdorf (N = 3661, 61,3 %) zuzuordnen sind (Tab. 31).

Tab. 31: Prozentuale Verteilung der per terrestrischer Inventur aufgenommenen Vogelbeeren auf die ausgewählten Forstämter

Forstamt	Anzahl Vogelbeeren	Anteil an der Gesamtanzahl in Prozent
<b>Bärenfels</b>	1.151	19,3 %
<b>Brand-Erbisdorf</b>	3.661	61,2 %
<b>Olbernhau</b>	1.165	19,5 %
<b>Insgesamt</b>	<b>5.977</b>	<b>100,0 %</b>

Die relative Verteilung der Vogelbeeren-Stammzahlen über die festgelegten Altersklassen kann der Abbildung 33 entnommen werden. Hier ist anhand der Verteilung zu sehen, dass mit zunehmendem Alter des Fichtenbestandes die Stammzahl der einzelbaumweise eingemischten Vogelbeeren abnimmt. Besonders die Abnahme der Vogelbeerenanzahl von der Altersklasse 3 mit 37,9 % zur Altersklasse 4 mit 9 % ist markant.

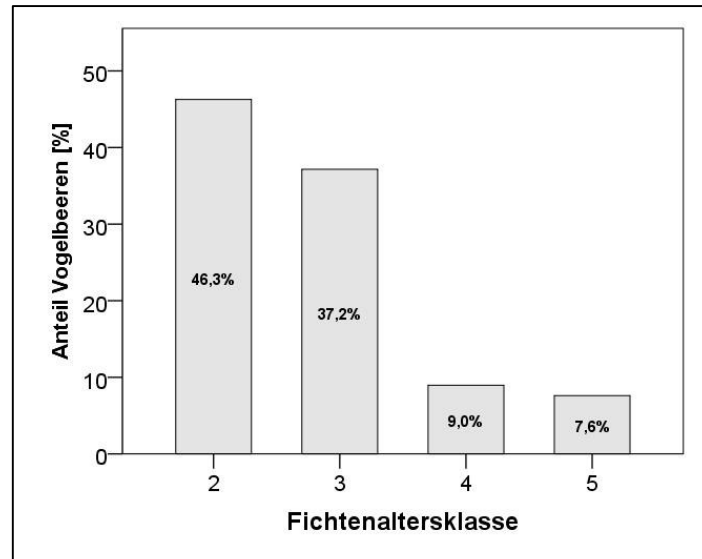


Abb. 33: Häufigkeitsverteilung der per terrestrischer Inventur in Fichtenbeständen aufgenommenen, einzelbaumweise in den Oberstand eingemischten Vogelbeeren, aufgeteilt nach der Fichtenaltersklasse (Fichtenertragsklasse: 1 = 0-9 Jahre, 2 = 10-19 Jahre, 3 = 20-29 Jahre, 4 = 30-39 Jahre, 5 = 40-50 Jahre)

Für eine Darstellung der Vogelbeerenanteile nach Teilflächengröße werden hier zum besseren Vergleich die absoluten Anzahlen je Hektar wiedergegeben (Abb. 34). Im Mittel sind die höchsten Anzahlen vor allem in den kleinflächigen Fichtenbeständen mit einer Teilflächen-

größe zwischen 0,1 bis 2 ha Größe aufgefunden worden. Hier sind es ca. 63 Vogelbeeren je Hektar. Allgemein befinden sich in den ersten drei Flächenkategorien, d.h. bis zu einer Teilflächengröße von 6 ha die höchsten Anzahlen von einzelbaumweise eingemischten Vogelbeeren je Hektar (ca. 50 Stück je ha in der Flächenkategorie Kategorie 2,1 bis 4 ha und ca. 53 Stück je ha in der Kategorie 4,1 bis 6 ha). In Teilflächen über 6 ha Größe sinkt der Anteil Vogelbeeren je Hektar stark ab und erreicht im Mittel eine Anzahl von vier einzelbaumweise eingemischten Vogelbeeren je Hektar.

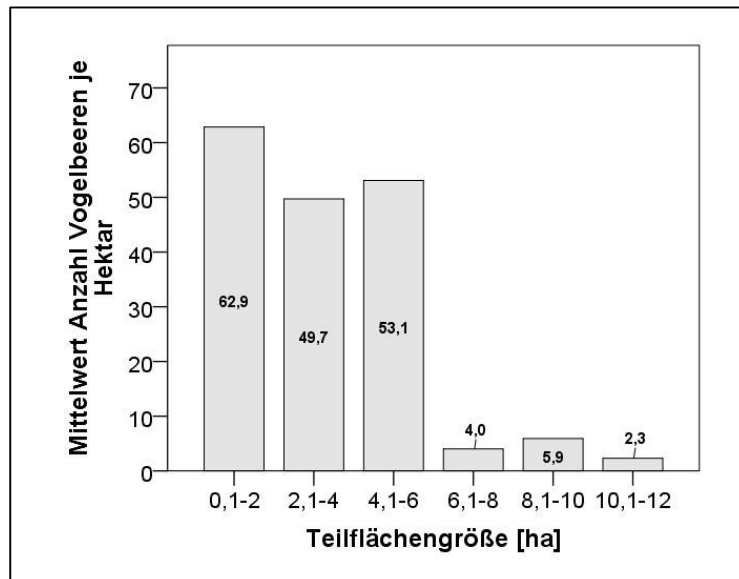


Abb. 34: Mittlere Anzahl an Vogelbeeren je Hektar, die durch die terrestrische Inventur in Fichtenbeständen erfasst wurden und einzelbaumweise in den Oberstand eingemischt waren (aufgeteilt nach 2ha-Flächengrößenstufen).

Die während der Stichprobe aufgenommenen aktuellen Fichtenbestandes-Kennwerte Bestockungsgrad und Grundfläche sind in Tabelle 32 enthalten. Die Fichtenbestände der Altersklasse 2 haben einen mittleren Bestockungsgrad von 0,9. Die anderen Altersklassen haben einen mittleren Bestockungsgrad von 1,0. Die Grundfläche wurde erst in Beständen ab der Altersklasse 3 aufgenommen.

Tab. 32: Mittlere Bestandeskennwerte der Fichtenbestände je nach Fichtenaltersklasse

Fichtenaltersklasse	B°	G [m <sup>2</sup> /ha]
2 (10-19 Jahre)	0,9	
3 (20-29 Jahre)	1,0	32,3
4 (21-30 Jahre)	1,0	36,2
5 (41-50 Jahre)	1,0	34,9
<b>Insgesamt</b>	<b>1,0</b>	<b>35,0</b>

Die mittlere Grundfläche beträgt über alle hier betrachteten Altersklassen 35. Zwischen den Altersklassen gibt es keine auffallenden Schwankungen. Es wird ein Minimum von 32,3 m<sup>2</sup> pro Hektar in der Altersklasse 3 und ein Maximum in der Altersklasse 4 von 36,2 m<sup>2</sup> pro Hektar erreicht.

Abbildung 35 zeigt vergleichend die ermittelten Höhenmesswerte der Vogelbeeren und Fichten aus der terrestrischen Inventur. Ein Höhenvorsprung der Fichte gegenüber der Vogelbeere ist in allen Altersklassen zu verzeichnen. Der Vorsprung nimmt mit steigendem Alter mit einer mittleren Differenz von ca. 3 m in der Altersklasse 2 bis zu im Mittel ca. 7 m in der Altersklasse 5 zu.

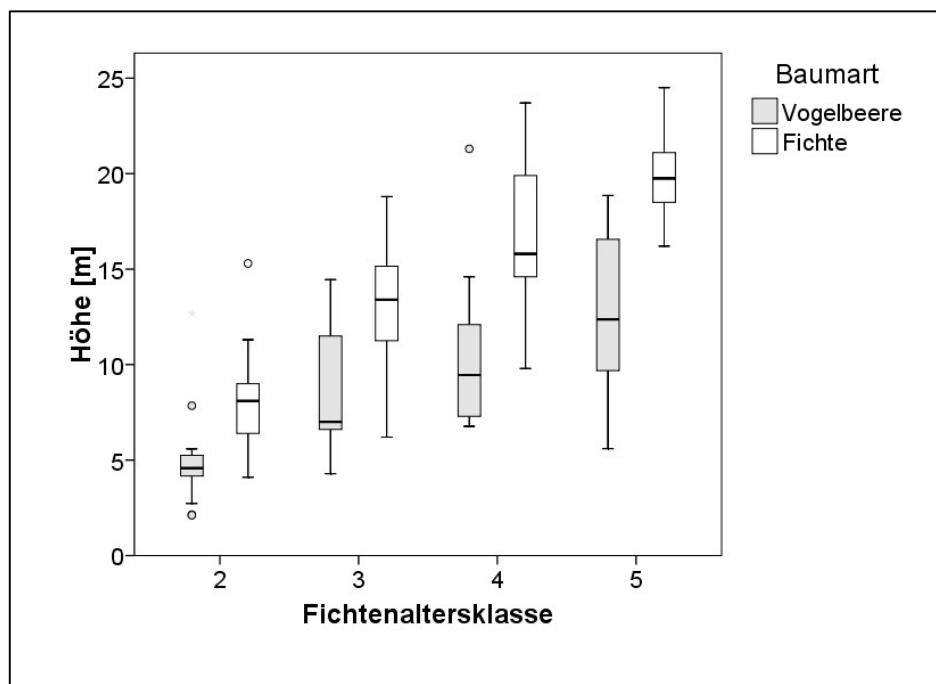


Abb. 35: Mittlere Höhen der Vogelbeeren je Hektar, die durch die terrestrische Inventur in den Fichtenbeständen erfasst wurden und einzelbaumweise in den Oberstand eingemischt waren (aufgeteilt nach 2ha-Flächengrößenstufen). Die Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall für den Mittelwert auf dem 95 %-Niveau. (Fichtenertragsklasse: 1 = 0-9 Jahre, 2 = 10-19 Jahre, 3 = 20-29 Jahre, 4 = 30-39 Jahre, 5 = 40-50 Jahre)

Anhand der stichprobenartig aufgenommenen BHD- und Höhenmesswerte konnte für jede Altersklasse eine Durchmesser-Höhenverteilung aufgestellt werden. Mit den daraus ermittelten Modellen können aus den BHD-Werten die Höhenwerte für alle Vogelbeeren je Fichtenaltersklasse geschätzt werden. Tabelle 33 zeigt die verschiedenen Modelle und deren Parameterschätzer. Abbildung 36 a-d enthält die dazugehörigen Streudiagramme mit der Verteilung der realen Messwerte und den Kurven der jeweiligen zugehörigen Modelle.



Tab. 33: Modelle der BHD-Höhen-Beziehung der einzelbaumweise eingemischten Vogelbeeren aufgeteilt nach Altersklasse

Fichtenaltersklasse	Gleichung	R-Quadrat	Signifikanz	Parameterschätzer
				b1
2 (10-19 Jahre)	Logarithmisch	0,89	0,000	3,761
3 (20-29 Jahre)	Logarithmisch	0,95	0,000	4,164
4 (30-39 Jahre)	Logarithmisch	0,96	0,000	4,484
5 (40-50 Jahre)	Logarithmisch	0,99	0,000	4,721

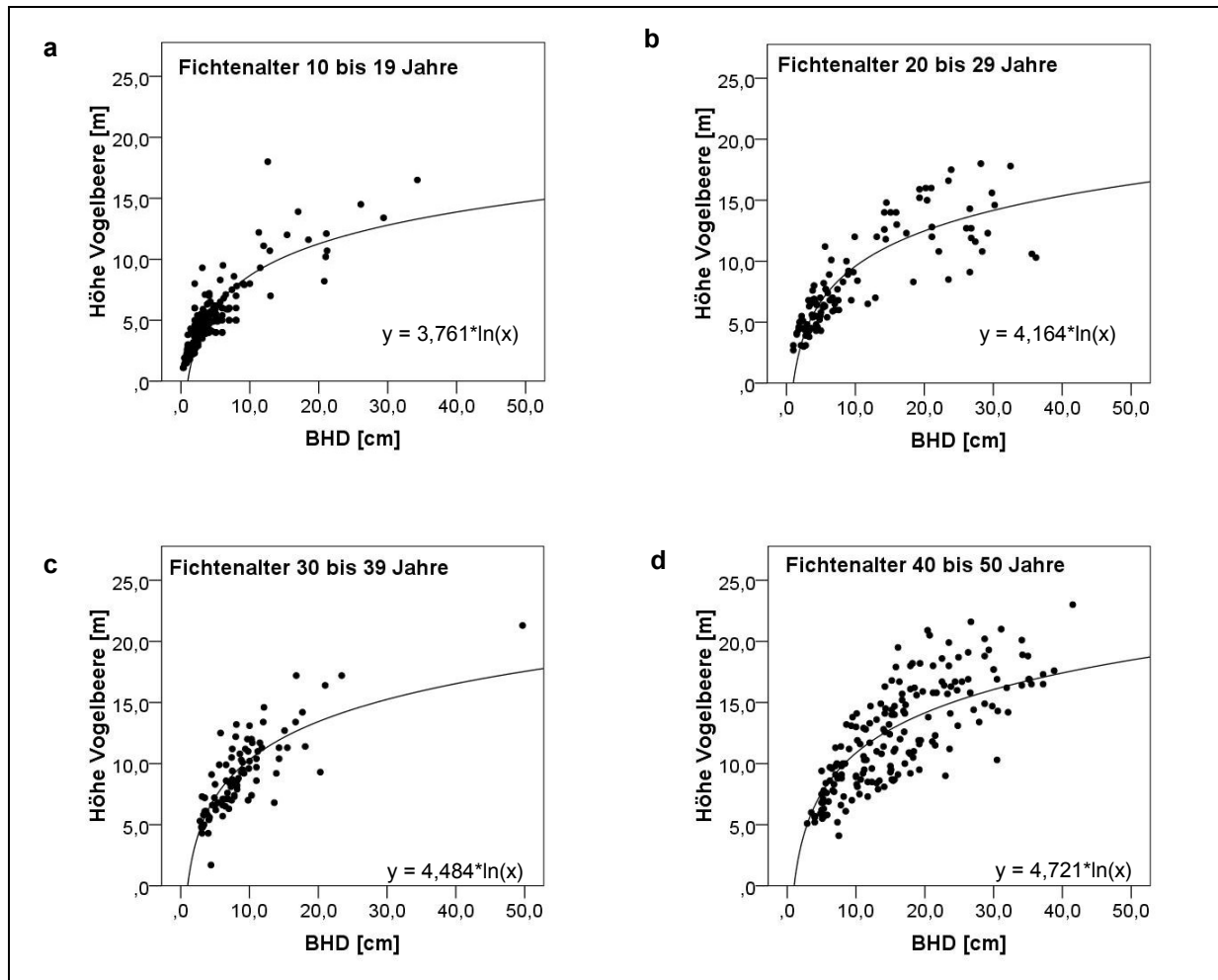


Abb. 36a-d: Streudiagramme der BHD-Höhenbeziehung der einzelbaumweise eingemischten Vogelbeeren unterteilt nach Fichtenaltersklassen

Alle vier Modelle haben ein hohes Bestimmtheitsmaß mit Werten über 0,90 und sind hoch signifikant ( $p = 0,000$ ).

Die Schaftholzvolumina der aufgenommenen Vogelbeeren je Hektar wurden mit Hilfe des Volumenmodells nach HILLEBRAND (1998) berechnet. Die zugehörige Modellgleichung wird in Kapitel 2.2.2.4.1 dargestellt und erläutert. Die Berechnung ergab für die Altersklasse 3 mit  $5,3 \text{ m}^3$  je ha und vier mit  $4,0 \text{ m}^3$  je ha die höchsten Werte (Tab. 34). In der Altersklasse 2 lagen mit  $0,6 \text{ m}^3$  je ha und in der Klasse 5 mit  $1,38 \text{ m}^3$  die geringsten Werte vor. Auffallend ist der Maximalwert eines Bestandes von ca.  $46 \text{ m}^3$  je ha in der Altersklasse 3.

Tab. 34: Volumenwerte der einzelbaumweise in den Oberstand eingemischten Vogelbeeren je Hektar anhand der terrestrischen Inventur in den Fichtenbeständen

<u>Volumen [m<sup>3</sup>] je ha Vogelbeere</u>				
<b>Fichtenaltersklasse [Jahre]</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardfehler des Mittelwertes</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
2 (10 bis 19 J.)	0,60	0,19	0,00	2,75
3 (20 bis 29 J.)	5,31	4,09	0,08	45,97
4 (30 bis 40 J.)	4,04	3,14	0,07	32,12
5 (40 bis 50 J.)	1,38	0,55	0,01	12,16
<b>Insgesamt</b>	<b>2,27</b>	<b>0,90</b>	<b>0,00</b>	<b>45,97</b>

Die Verteilung des Parameters „soziologische Stellung“ zeigt zwischen den Altersklassen ein unterschiedliches Bild. In der Altersklasse 2 (10 bis 19 Jahre; Abb. 37a) überwiegen Vogelbeeren in der soziologischen Stellung „bedrängt“, d.h. die Höhe der Vogelbeeren erreicht in dieser Altersklasse in der Mehrheit zwischen 50 % und 70 % der Höhe des Fichtenoberstandes. Die Anzahl der Vogelbeeren mit einer unterdrückten soziologischen Stellung (Höhe der Vogelbeeren unter 50 % der Höhe des Fichtenoberstandes) und in einer mitherrschenden Stellung (Höhe der Vogelbeere über 70 % der mittleren Höhe des Fichtenoberstandes) sind wesentlich geringer. Beide Kategorien sind anteilmäßig mit ca. 28 % als mitherrschende Vogelbeeren und 23 % als unterdrückte Vogelbeeren einzustufen. Diese Anteile sind für beide Kategorien vergleichbar. In der nächsthöheren Fichtenaltersklasse 20 bis 29 Jahre (Abb. 37b) verläuft die Verteilung aufsteigend von mitherrschend bis unterdrückt mit dem höchsten Anteil an unterdrückten Vogelbeeren (ca. 61 %). In den verbleibenden untersuchten Fichtenaltersstufen haben die bedrängten und unterdrückten Vogelbeeren immer den höchsten Anteil (Abb. 37c und d). Vor allem die Kategorie „bedrängt“ hat in beiden Fichtenaltersstufen den höchsten Anteil. Dieser Anteil liegt bei ca. 50 % (ca. 46 % Fichtenaltersstufe 4 und 53 % Fichtenaltersstufe 5).

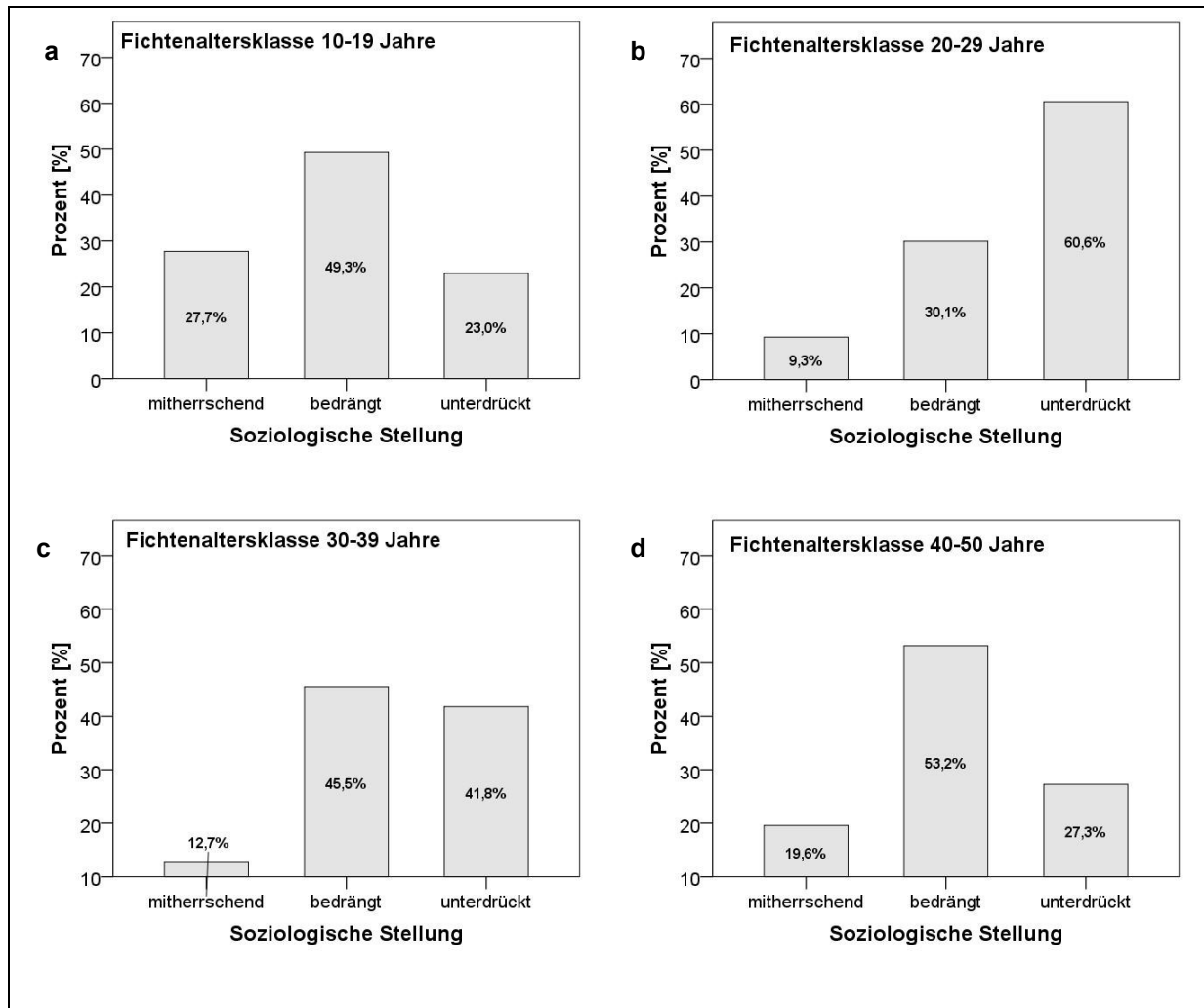


Abb. 37a-d : Prozentuale Häufigkeitsverteilung der soziologischen Stellung der einzelbaumweise in den Oberstand eingemischten Vogel-beeren, welche per terrestrischer Inventur in Fichtenbeständen erfasst wurden. Die Aufteilung erfolgt nach Altersklassen.

Die anhand des Zustandes der Krone angesprochenen Vitalitätsstufen nach ROLOFF (2001) unterscheiden sich bezüglich ihrer relativen Anteile in den Fichtenaltersstufen nicht wesentlich (Abb. 38a-d). Allein die Vogelbeeren, welche in der Fichtenaltersklasse 2 (10-19 Jahre) vorkommen (Abb. 38a), fallen durch einen im Vergleich zu den anderen Altersklassen hohen Anteil der Kronenvitalitätsstufe 0 auf (ca. 41 %). Insgesamt überwiegt in allen untersuchten Fichtenaltersklassen die Kronenvitalitätszwischenstufe von „1,5“, d.h. eine Vitalitätsstufe zwischen „geschwächt“ und „merklich geschädigt“. Mit zunehmendem Fichtenalter nimmt auch der Anteil an Vogelbeeren mit einer stark geschädigten Krone zu (ca. 24 % in der Fichtenaltersklasse 4 (30 bis 39 Jahre, Abb. 38c) und ca. 26 % in der Fichtenaltersklasse 5 (40 bis 50 Jahre, Abb. 38d)).

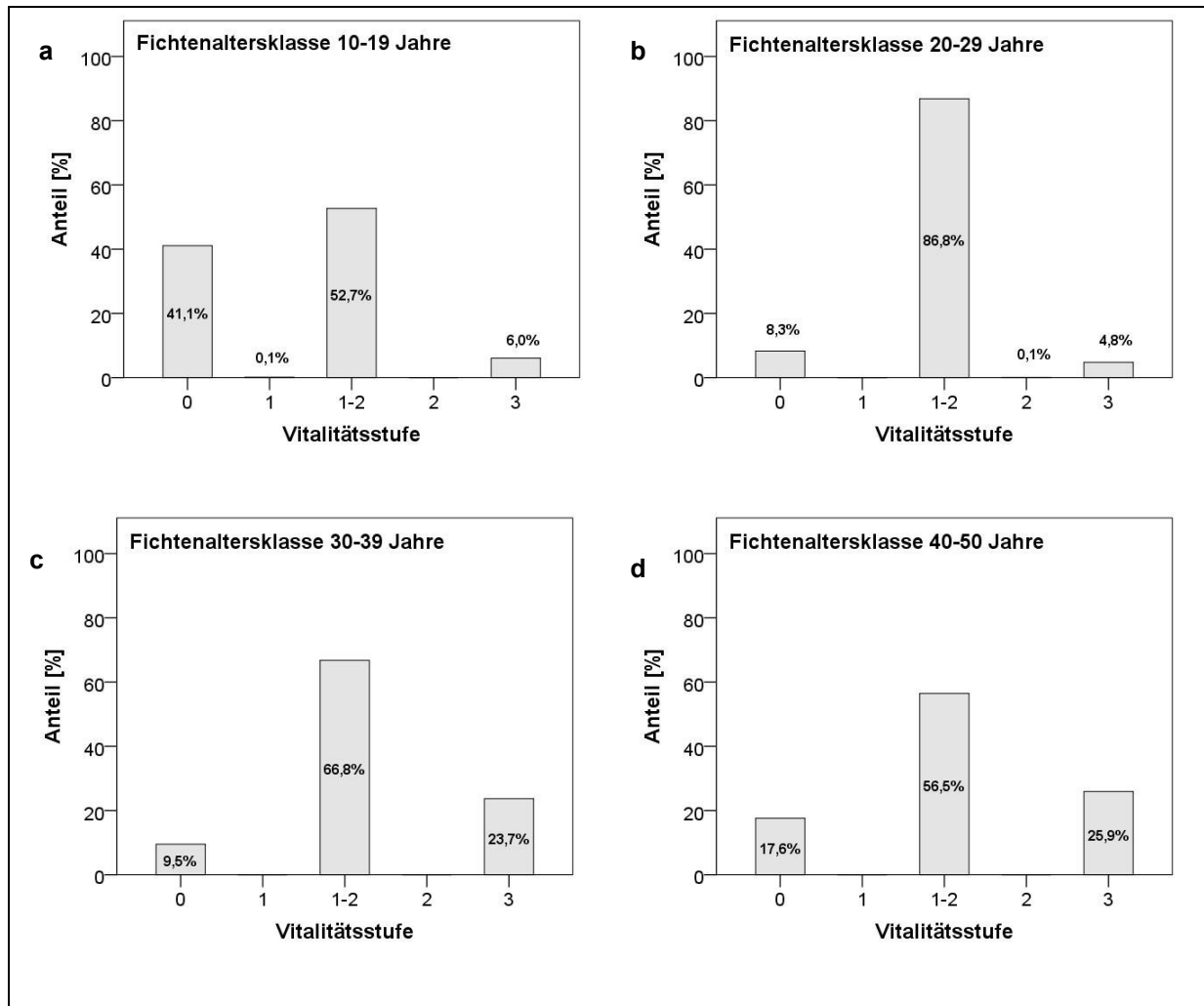


Abb. 38a-d: Häufigkeitsverteilung der Vitalitätsstufen nach ROLOFF (2001) an den per terrestrischer Inventur in Fichtenbeständen erfassten einzelbaumweise in den Oberstand eingemischten Vogelbeeren, aufgeteilt nach Altersklasse (Vitalitätsschlüssel: 0 = vitale und ungeschädigte Krone; netzartige, ± gleichmäßige, ± dichte Verzweigung; 1 = geschwächt; spieß- oder flaschenbürstenartige oder längliche Kronenstrukturen; 2 = merklich geschädigt; pinselartige Strukturen, in der Regel Kronenabwölbung; 3 = stark geschädigt; Absterben von Hauptästen, skelettartiger Habitus)

Die Verteilung des Merkmals Stammform zeigt für die zwei jüngsten Fichtenaltersklassen ein einheitliches Bild (Abb. 39a und b). In beiden Altersklassen sind überwiegend Vogelbeeren mit einer zweischnürigen bzw. geraden Stammform angesprochen worden (ca. 73 % in der Fichtenaltersklasse 2 und ca. 76 % in der Fichtenaltersklasse 3). Einschnürige Vogelbeeren finden sich hier zu jeweils 27 % (Fichtenaltersklasse 2) bzw. 24 % (Fichtenaltersklasse 3). In den beiden höchsten Fichtenaltersklassen 4 und 5 nimmt der Anteil einschnüriger Stammformen mit jeweils ca. 45 % zu (Abb. 39c und d). Eine unschnürige Stammform der Vogelbeere wurde in keiner Fichtenaltersklasse angesprochen.

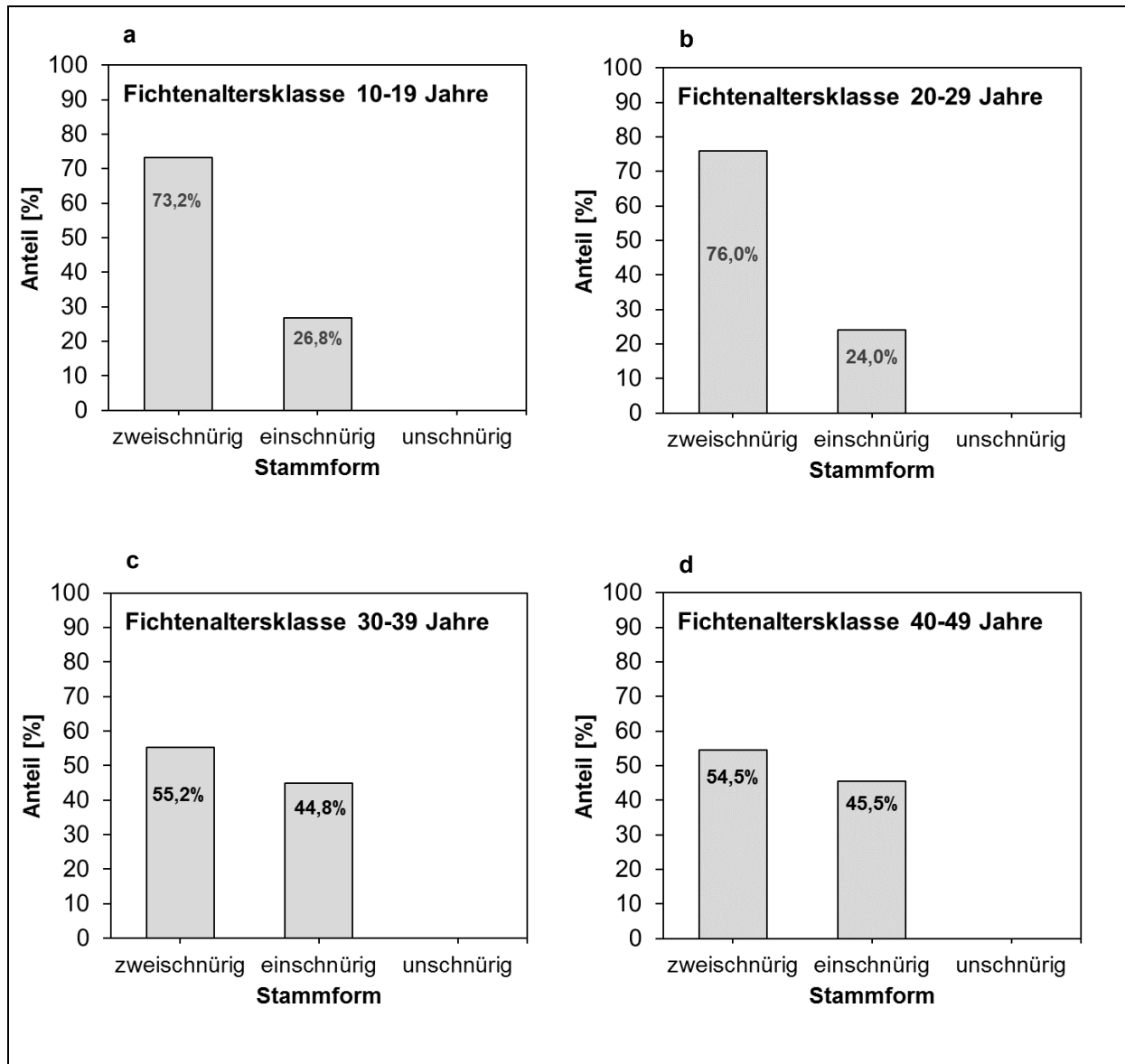


Abb. 39a-d: Häufigkeitsverteilung der Stammform der per terrestrischer Inventur in Fichtenbeständen erfassten einzelbaumweise in den Oberstand eingemischten Vogelbeeren, aufgeteilt nach Altersklasse

Dagegen sind die drei angesprochenen Kategorien des Merkmals Verzweiselung in allen untersuchten Fichtenaltersklassen aufgetreten (Abb. 40a-d). Besonders mehrstämmige Vogelbeeren der Kategorie „Garbe“ haben in den Fichtenaltersklassen 2 (ca. 64 %), 3 (ca. 84 %) und 4 (ca. 49 %) den jeweils höchsten Anteil. Die Kategorie Verwachsungszweisel ist verhältnismäßig selten vorgefunden worden. Die Anteile umfassen in den Altersklassen 2 bis 4 nicht mehr als 3 % und haben nur in der Altersklasse 5 ein Maximum mit ca. 7 %. Die Kategorie Gabelungszweisel ist in den Fichtenaltersklassen 2 und 3 mit 9 % (Altersklasse 2) und 6 % (Altersklasse 3) relativ wenig vorhanden. In der Altersklasse 4 gibt es einen Anstieg auf ca. 19 %. In der Fichtenaltersklasse 5 haben Bäume mit einem Gabelungszweisel mit ca. 35 %

ihren höchsten relativen Anteil erreicht. Vogelbeeren ohne eine Verzwieselung haben nur in der Fichtenaltersklasse 3 mit ca. 8 % einen geringen Anteil. In allen anderen Fichtenaltersklassen liegt der Anteil an Verzwieselungen über 25 %.

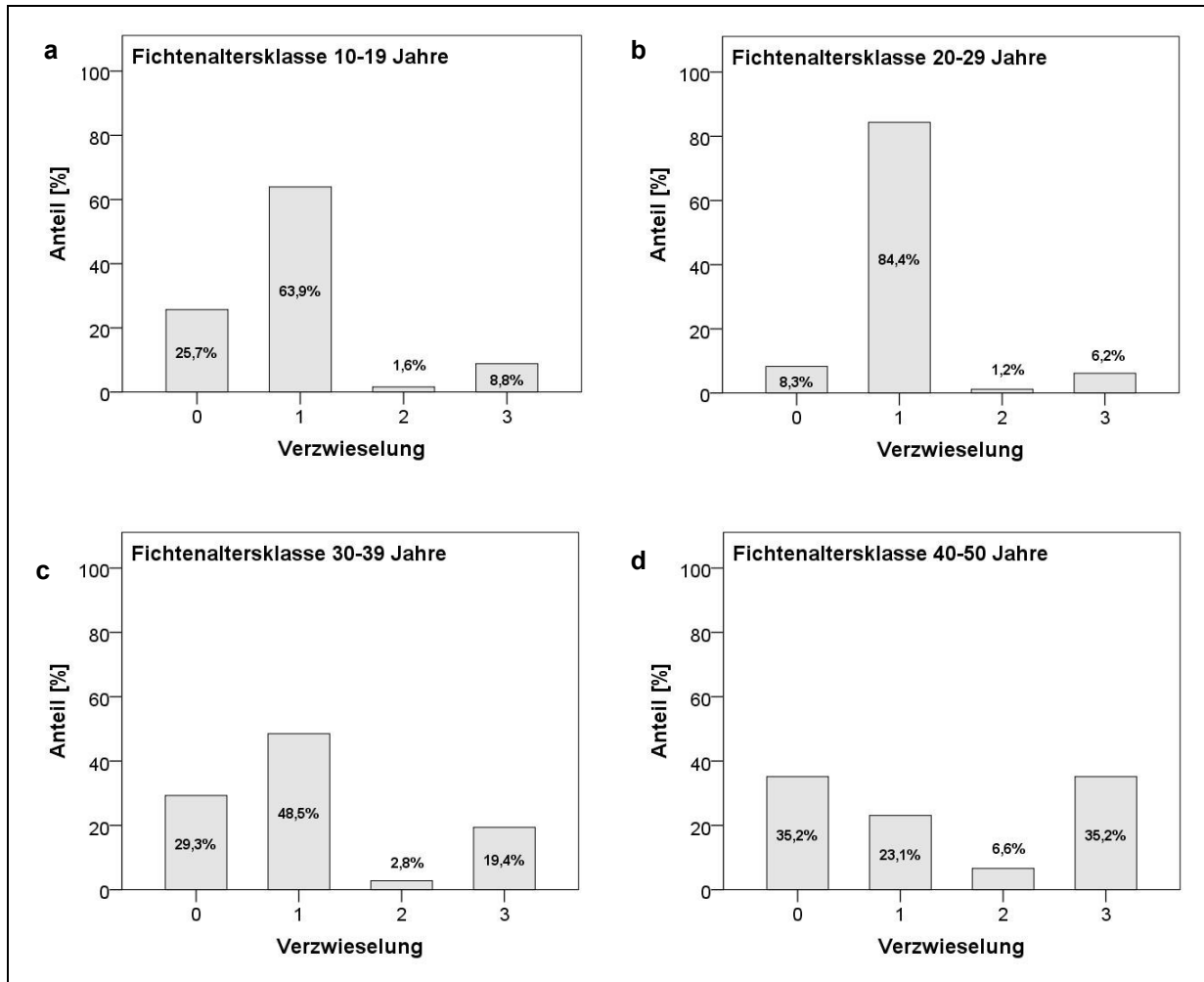


Abb. 40a-d: Häufigkeitsverteilung der Verzwieselungen an den einzelbaumweise in den Oberstand eingemischten Vogelbeeren, die über die terrestrische Inventur in den Fichtenbeständen erfasst wurden, aufgeteilt nach Altersklasse (Verzwieselung: 0 = keine Verzwieselung; 1 = Garbe, mehrstämmig; 2 = Verwachsungszwiesel (bis 0,4 m; METTE et al. 1989); 3 = Gabelungszwiesel)

Die Intensität des Schälsschadens wurde bei der terrestrischen Inventur in den drei Kategorien „gering“, „mäßig“ und „stark“ angesprochen. Die Abbildung 41a-d zeigt die Ergebnisse der relativen Verteilungen der Schälsschadensintensitäten innerhalb der Fichtenaltersklassen. Die Anteile der Vogelbeeren, die keinen Schälsschaden aufweisen, werden zum Vergleich ebenfalls abgebildet. Bis zur Altersklasse 4 haben die Vogelbeeren ohne Schälsschaden immer den höchsten Anteil. Er liegt in der Altersklasse 2 bei 77 % und in der Altersklasse 3 bei 78 %. In der Altersklasse 4 sinkt er auf 56 % und in der Altersklasse 5 geht der Anteil auf etwa 30 % zurück. Die Anteile der Vogelbeeren mit einem geringen Schälsschaden bewegen sich in den

jungen Altersklassen bei ca. 23 % (Altersklasse 2) und 22 % (Altersklasse 3). Ab der Altersklasse 4 nimmt der Anteil zu und steigt von 44 % (Altersklasse 4) auf ca. 70 % (Altersklasse 5). Mäßig geschälte Vogelbeeren haben in den jungen Altersklassen 2 und 3 einen sehr geringen Anteil von 0,1 %. In den restlichen Altersklassen kommt diese Schadenskategorie nicht vor. Stark geschälte Vogelbeeren waren in keiner Altersklasse zu finden.

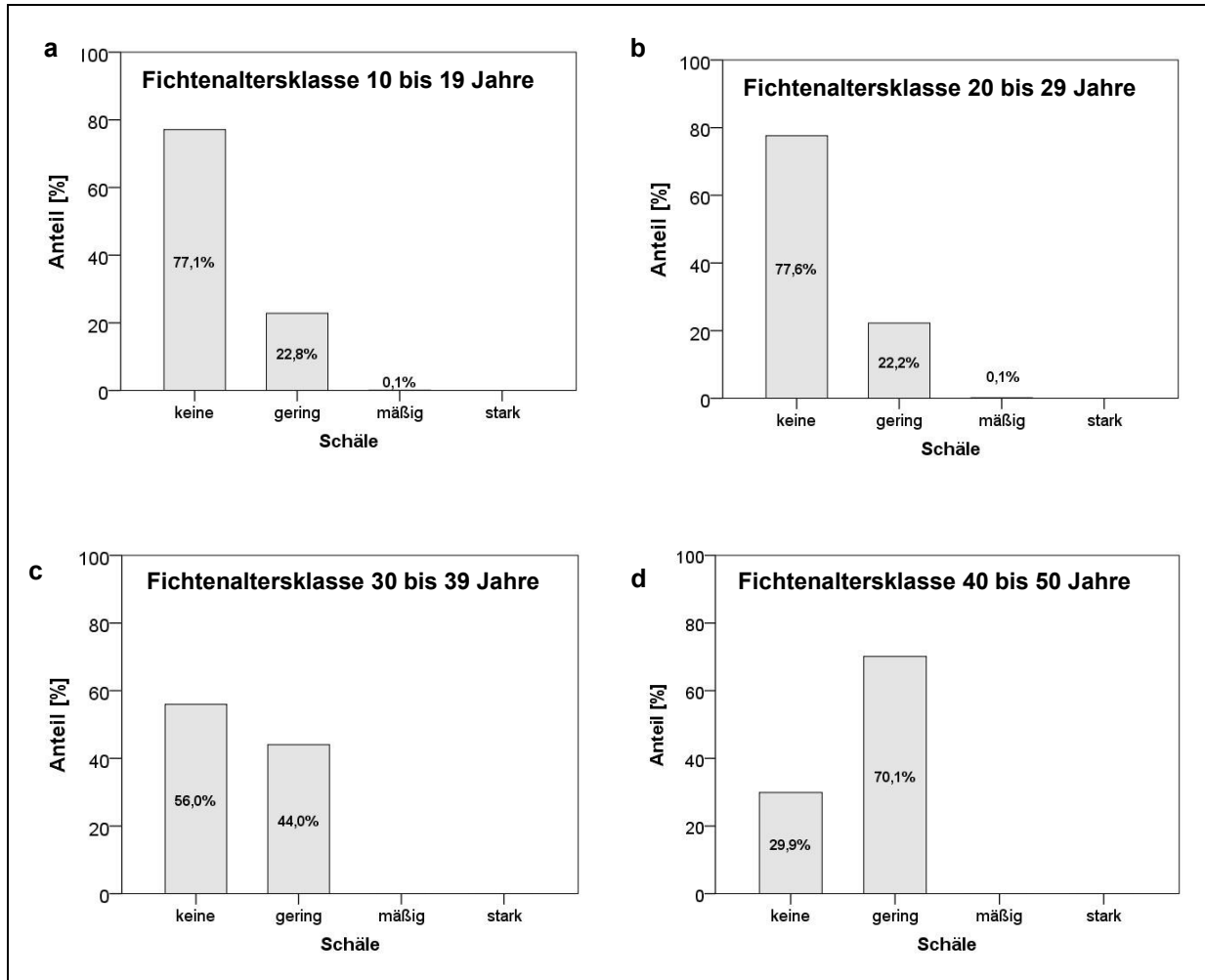


Abb. 41a-d: Häufigkeitsverteilung der Intensität des Schältschadens an den per terrestrischer Inventur in Fichtenbeständen erfassten einzelbaumweise in den Oberstand eingemischten Vogelbeeren, aufgeteilt nach Fichtenaltersklasse

## 3.2 Freistellungsexperiment

### 3.2.1 Vergleich der Konkurrenzindizes

Die individuelle Konkurrenzsituation der Probebäume im Versuchsdesign wurde mit Hilfe von Konkurrenzindizes erfasst und analysiert. In der vorliegenden Studie beschreiben die verwendeten Indizes, ausgenommen der Parameter DIFFSF, die Konkurrenzsituation der Probebäume vor und nach der experimentellen Freistellung. Die Fisheye-Aufnahmen zur Ermittlung des DIFFSF konnten aus methodischen Gründen nur nach der Freistellung durchgeführt werden. Weiterhin konnte bei 36 Bäumen die Kamera während der Fisheye-Aufnahme aufgrund der begrenzten Länge der Teleskopstange nicht auf die Höhe der Lichtkronenbasis gebracht werden, wenn diese sich in einer Höhe über 5 m befand. Auf der Ansatzhöhe der Lichtkronenbasis der einzelnen Probebäume wurde virtuell der Suchkegel zur Ermittlung und zur Bestimmung der Konkurrenzstärke der Fichtenkonkurrenten aufgesetzt. Dies sollte idealerweise auch für die Fisheye-Aufnahmen gewährleistet sein. Falls dies aus den oben genannten Gründen nicht möglich war, wurden die Aufnahmen jeweils in 5 m Höhe durchgeführt. Allen Indizes liegt ein definierter Öffnungswinkel unterschiedlicher Weite zugrunde. Tabelle 35 gibt einen Überblick über diese Besonderheiten und Einschränkungen bei der Ermittlung der Indizes.

Tab. 35: Besonderheiten und Einschränkungen der ermittelten Konkurrenzindizes K-Index, DIFFSF und FKI (x = WAHR)

Konkurrenzparameter bzw. -index	Ermittlung vor der Freistellung	Ermittlung nach der Freistellung	Aufnahmeebene bzw. in Höhe Lichtkronenbasis	Aufnahmeebene in 5m Baumhöhe (N)	Öffnungswinkel
<b>K-Index</b>	x	x	x	-	60°
<b>DIFFSF</b>		x	bei 32 Probebäumen	bei 36 Probebäumen	180°
<b>FKI</b>	x	x	x	x	60° und 180°

Zunächst erfolgt die deskriptive Darstellung der Konkurrenzverhältnisse vor der Freistellungsbehandlung, ohne eine statistische Auswertung der Zusammenhänge.

Die Unterschiedlichkeit der Ausprägung des K-Index vor der Freistellung innerhalb der untersuchten Fichtenaltersstufen zeigt Abbildung 42. Der K-Index steigt mit zunehmendem Alter des Fichtenbestandes an. Der Einfluss der Konkurrenzsituation je Fichtenaltersstufe wird ebenfalls deutlich, mit abnehmender Stärke der Konkurrenzsituation nimmt der K-Index zu.



Auffallend ist weiterhin, dass die Probebäume im ältesten Fichtenbestand bei gleicher Konkurrenzsituation durchschnittlich einen höheren K-Index als die Probebäume in den jüngeren Fichtenbeständen besitzen.

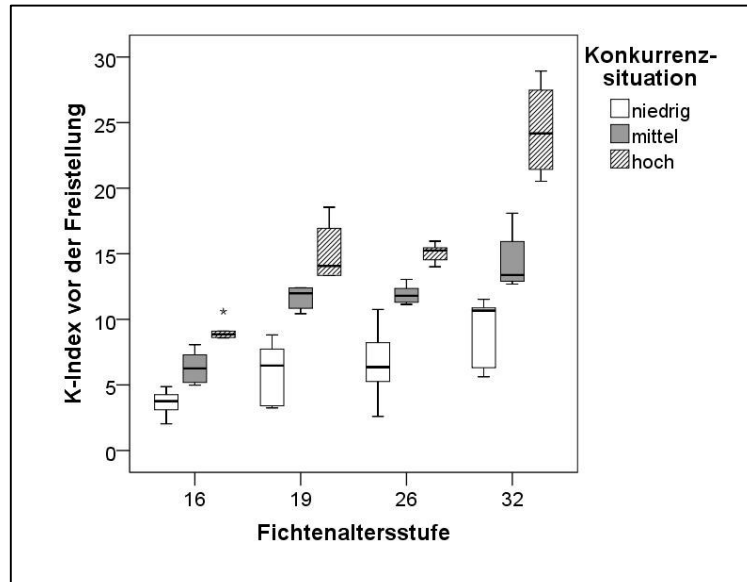


Abb. 42: Ausprägung der K-Index-Werte innerhalb der Fichtenaltersstufen und Konkurrenzsituationen vor der Freistellung

Betrachtet man die mit Hilfe des Programms FISHPLOT errechneten FKI-Werte im Vergleich zum ermittelten K-Index vor der Freistellung, so ergibt sich zwischen beiden Indizes ein deutlicher Zusammenhang (Abb. 43). Die Korrelationen sind mit einem  $R^2$  von 0,604 (bei FKI mit  $60^\circ$  Öffnungswinkel) und einem  $R^2$  von 0,661 (bei FKI mit  $180^\circ$  Öffnungswinkel) annähernd gleich. Der Zusammenhang zwischen FKI mit  $60^\circ$  Öffnungswinkel und FKI mit  $180^\circ$  Öffnungswinkel fällt mit einem  $R^2$  von 0,740 höher aus.

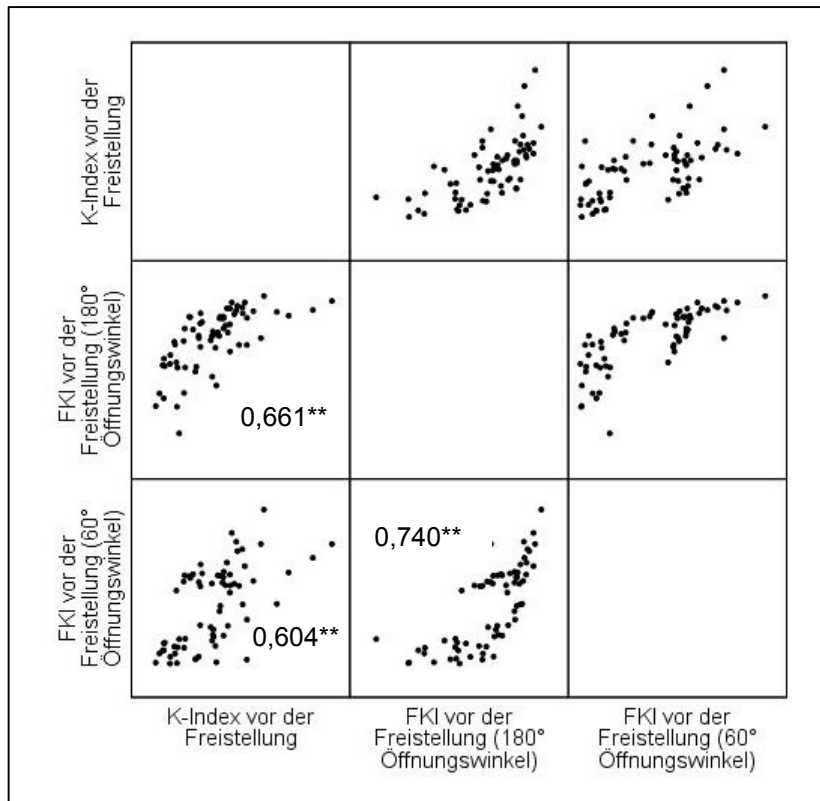


Abb. 43: Zusammenhang zwischen K-Index und FKI mit den Öffnungswinkeln 180° und 60° vor der Freistellung (\*\* = zweiseitige Signifikanz mit  $p < 0,01$ ; Pearson (N = 68))

Den linearen Zusammenhang der Indizes nach der Freistellung zeigt Abb. 44. Die Korrelationen sind hier mit einem  $R^2$  von 0,767 (FKI mit 60° Öffnungswinkel) und einem  $R^2$  von 0,696 (FKI mit 180° Öffnungswinkel) noch stärker als vor der Freistellung. Der Zusammenhang zwischen FKI mit 60° Öffnungswinkel und FKI mit 180° Öffnungswinkel ist dagegen mit einem  $R^2$  von 0,622 geringer als vor der Freistellung.

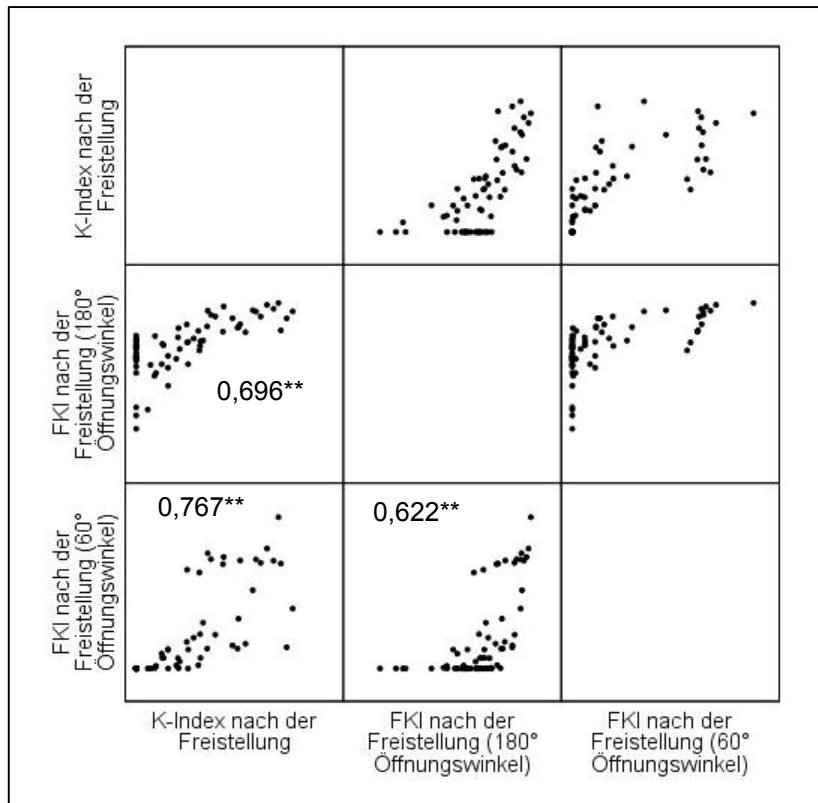


Abb. 44: Zusammenhang zwischen K-Index und FKI mit den Öffnungswinkeln 180° und 60° nach der Freistellung (\*\* = zweiseitige Signifikanz mit  $p < 0,01$ ; Pearson (N = 68))

Für die Betrachtung der Korrelation zwischen DIFFSF und dem Konkurrenzindex nach der Freistellung werden hier nur die 36 DIFFSF-Werte einbezogen, welche mit einer Aufnahmeebene in Lichtkronenbasishöhe ermittelt worden sind. Die Korrelation zeigt mit einem  $R^2$  von -0,738 einen starken negativen Zusammenhang (Abb. 45a). Hierbei ist zu beachten, dass der K-Index bei 22 Vogelbeeren nach starker Freistellung gleich Null wird, da alle ausgewiesenen Fichtenkonkurrenten entnommen worden sind.

Der Vergleich zwischen DIFFSF und den FKI-Werten des simulierten Fisheye-Bildes bei einem 180° Öffnungswinkel zeigt einen negativen Zusammenhang (Abb. 45b). Bei der Berechnung der Werte des FKI ist im Programm FISHPLOT zur besseren Vergleichbarkeit mit den DIFFSF-Werten die Schnittebene bzw. Aufnahmehöhe baumindividuell der Kameraposition bzw. Kamerahöhe bei der Fisheye-Aufnahme angepasst worden. Die Korrelation ist signifikant und mit einem  $R^2$  von -0,654 als eine Korrelation mittlerer Güte anzusehen.

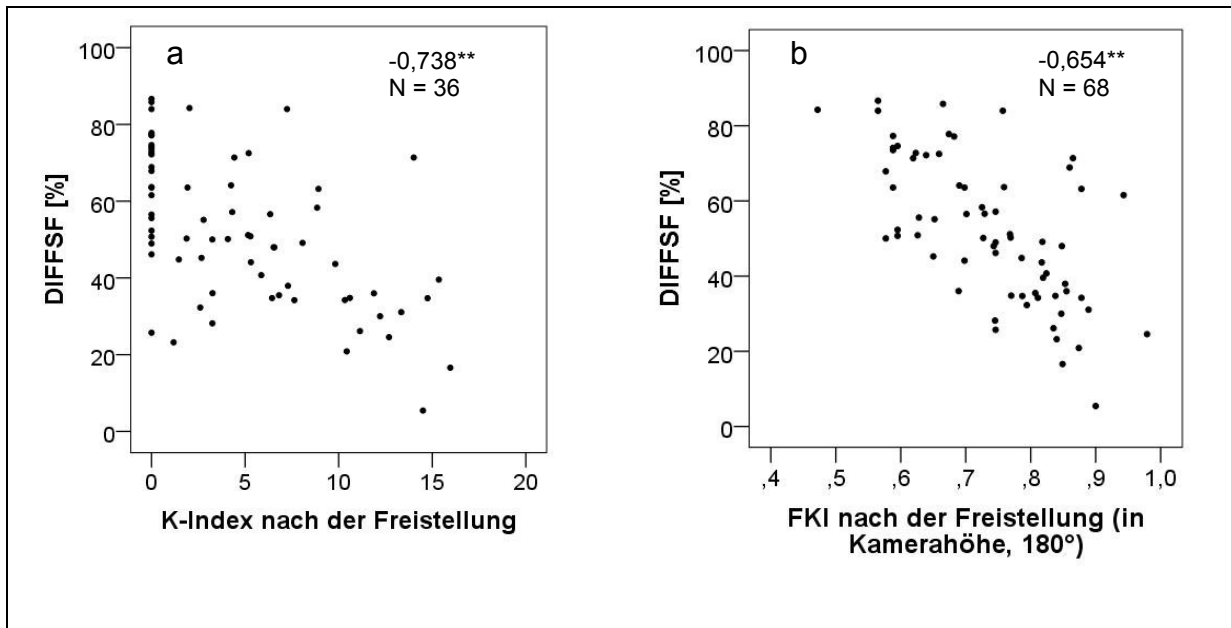


Abb. 45a-b: Zusammenhang zwischen DIFFSF, K-Index und FKI (180°, Schnittebene gleich Kamerahöhe der Fisheye-Aufnahme) nach der Freistellung (Korrelationskoeffizient =  $-0,654$ )

### 3.2.2 Effekte der Freistellung

Im Frühjahr 2001 wurden die Vogelbeeren in jeder Fichtenaltersstufe und Konkurrenzsituation unterschiedlich stark freigestellt. Der K-Index stellte dabei die orientierende Größe für den Grad der Freistellung dar. Während ein Drittel der Bäume nicht gefördert wurde, erfolgte für die verbleibenden Drittel jeweils eine mäßige (Verringerung des K-Index um 50 %) und starke (alle definierten Konkurrenten werden entnommen, Verringerung des K-Index um 100 %) Freistellung.

#### Anzahl entnommener Fichtenkonkurrenten

Tabelle 36 zeigt die mittlere Anzahl der per Lichtwinkelmethode ausgewiesenen Fichtenkonkurrenten und die mittlere Anzahl der entnommenen Fichtenkonkurrenten je Fichtenaltersstufe und Konkurrenzsituation. Mit zunehmendem Alter des Fichtenbestandes steigt auch die mittlere Anzahl ausgewiesener und entnommener Konkurrenten. Auffallend ist, dass in der Fichtenaltersstufe 26 in der Kategorie „mittlere Konkurrenzsituation“ im Mittel mehr Fichtenkonkurrenten (Mittelwert = 4,7) bestimmt worden sind, als in der Kategorie „hohe Konkurrenzsituation“ (Mittelwert = 4,3).

Tab. 36: Mittlere Anzahl Fichtenkonkurrenten und entnommener Fichtenkonkurrenten je Altersstufe und Konkurrenzsituation

Anzahl der Fichtenkonkurrenten		Freistellung											
		keine				mäßig				stark			
Fichtenaltersstufe	Konkurrenzsituation	Mittelwert	Maximum	Minimum	Anzahl	Mittelwert	Maximum	Minimum	Anzahl	Mittelwert	Maximum	Minimum	Anzahl
16	niedrig	1,5	2	1	2	2,0	2	2	1	1,3	2	1	3
	mittel	2,0	2	2	2	2,5	3	2	2	2,0	2	2	2
	hoch	1,5	2	1	2	3,5	4	3	2	2,0	2	2	2
19	niedrig	1,5	2	1	2	2,0	2	2	2	2,5	4	1	2
	mittel	2,0	4	0	2	4,5	5	4	2	4,0	4	4	2
	hoch	4,5	5	4	2	5,0	6	4	2	5,0	6	4	2
26	niedrig	1,0	1	1	1	3,5	4	3	2	3,5	4	3	2
	mittel	4,5	5	4	2	5,0	5	5	2	4,5	5	4	2
	hoch	3,3	5	0	3	5,0	5	5	2	5,0	5	5	2
32	niedrig	.	.	.	0	3,0	3	3	2	4,0	5	3	3
	mittel	7,0	7	7	1	4,0	4	4	2	5,5	6	5	2
	hoch	8,0	8	8	1	7,5	8	7	2	6,0	6	6	1

### Auswirkungen auf die Stabilität der Probebäume

Einige Bäume wurden durch die Freistellungen geschädigt. Sie erlitten Stabilitätsverluste, wurden geworfen oder bogen im Bestand um. Die Tabelle 37 gibt einen Überblick über die beschädigten Bäume, aufgeteilt nach Fichtenaltersstufe und Behandlungsvariante.

Tab. 37: Anzahl der durch die Freistellungsmaßnahmen geschädigten Vogelbeerprobebäume je Altersstufe, Konkurrenzsituation und Freistellungsvariante

<b>Anzahl nach der Freistellungsmaßnahme geschädigter Vogelbeerbäume</b>			
<b>Fichtenaltersstufe</b>	<b>Konkurrenzsituation</b>	<b>Freistellungsvariante</b>	<b>geschädigt [N]</b>
<b>26</b>	mittel	stark	1
	hoch	stark	1
<b>32</b>	niedrig	stark	1
	mittel	mäßig	1
		stark	1
	hoch	mäßig	2
<b>Summe</b>			<b>7</b>

### Auswirkungen auf die Konkurrenzsituation der Probebäume

Für das Experiment ist die Überprüfung des Einflusses der unterschiedlichen Freistellungsvarianten auf die quantitative Veränderung der Konkurrenzindizes der einzelnen Probebäume bedeutsam. Es wird angenommen, dass dies im Endeffekt auch zu einer deutlichen Wachstumsreaktion der untersuchten Parameter in Abhängigkeit der Freistellung führt. Es werden die prozentualen Differenzen der FKI-Werte mit einem Öffnungswinkel von 180° (Differenz vor und unmittelbar nach der Freistellung) und die Werte des DIFFSF [%] betrachtet. Die FKI-Werte mit einem Öffnungswinkel von 60° werden bei starker Freistellung um 100 % minimiert. Die Werte des Konkurrenz-Indexes der Lichtwinkelmethode sind durch das Vorgehen im Versuchsdesign in festgelegten 50 %-Stufen verringert worden. Eine Auswertung und Darstellung der Daten dieser beiden Konkurrenzindizes je Freistellungsvariante sind daher an dieser Stelle nicht zielführend.

Die Abbildungen 43a und b zeigen die prozentualen Differenzen des FKI bei einem Öffnungswinkel von 180° nach der Freistellungsbehandlung in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe, Konkurrenzsituation und Freistellungsstärke. Die Daten der nicht freigestellten Bäume wurden nicht dargestellt. Die prozentualen Differenzen des FKI bei 180° Öffnungswinkel bei den nicht freigestellten Bäumen sind gleich Null. Abbildung 46a zeigt deutlich, dass bei zunehmender Fichtenaltersstufe die prozentualen Differenzen des FKI bei 180° Öffnungswinkel zunehmen. Nur in der Fichtenaltersstufe 32 verringern sich die Werte wieder. In allen Fich-

tenaltersstufen ist ein Trend der Freistellungsvariante ersichtlich, bei dem die stark freigestellten Bäume höhere FKI-Differenzen haben als die mäßig freigestellten Bäume.

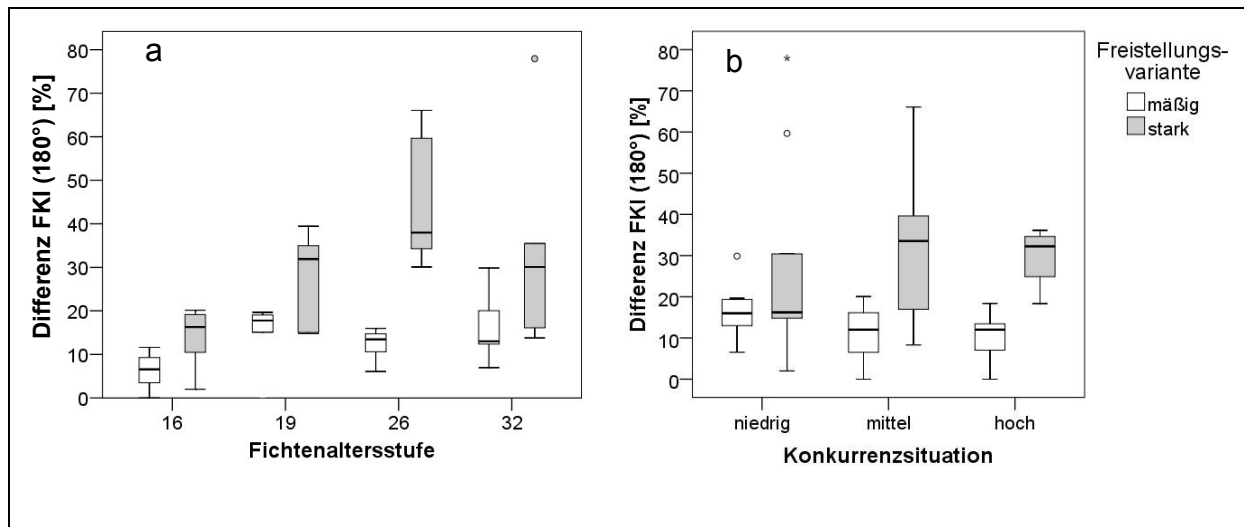


Abb. 46a-b: Differenz der FKI-Werte nach der Freistellungsbehandlung bei einem Öffnungswinkel von 180° in Abhängigkeit der Freistellungsstärke und der Fichtenaltersstufe (A) und der Freistellungsstärke und der Konkurrenzsituation (B). Mann-Whitney-U-Test mit Gruppierungsfaktor Freistellungsvariante „mäßig“ und „stark“. (A) Fichtenaltersstufe: Alter 16:  $p = 0,073$ ; Alter 19:  $p = 0,240$ ; Alter 26:  $p = 0,002$ ; Alter 32:  $p = 0,041$ . (B) Konkurrenzsituation: niedrig:  $p = 0,475$ ; mittel:  $p = 0,015$ ; hoch:  $p = 0,001$ .

Die Datenwerte sind nicht normalverteilt unter den betrachteten Faktorstufen. Es wurde daher ein nichtparametrischer Test angewandt, der für die Fichtenaltersstufen 26 ( $p = 0,002$ ) und 32 ( $p = 0,041$ ) signifikante Unterschiede zwischen den mäßig und stark freigestellten Bäumen ausweist (jeweils Mann-Whitney-U-Test).

In der Abbildung 46b ist zu sehen, dass die durch die Freistellung veränderten Lichtverhältnisse in Form der prozentualen Differenz des FKI bei einem Öffnungswinkel von 180° zwischen den Stufen der Konkurrenzsituationen keine großen Unterschiede aufweisen. Lediglich der Einfluss der Durchforstungsvariante ist, ebenso wie innerhalb der Fichtenaltersstufen (Abb. 46a), deutlicher zu erkennen. Die stärkere Freistellungsvariante erzeugt jeweils eine höhere prozentuale Differenz bei den FKI-Werten mit einem Öffnungswinkel von 180°, d.h. es entsteht eine höhere Lichtzufuhr nach der Freistellung. Auch hier weist der nichtparametrische Test einen signifikanten Unterschied zwischen den Datenwerten der Freistellungsvarianten „mäßig“ und „stark“ innerhalb der mittleren ( $p = 0,015$ ) und hohen ( $p = 0,001$ ) Konkurrenzsituation aus (jeweils Mann-Whitney-U-Test).

Für die Werte des DIFFSF nach der Freistellung konnte für die Faktoren Fichtenaltersstufe und Freistellungsvariante ein signifikantes Modell angepasst werden (Abb. 47; ALM / UNI-

ANOVA,  $p = 0,000$ ). Die Berücksichtigung des Faktors Konkurrenzsituation im Modell führte zu inhomogenen Varianzen der Datenwerte, er wurde daher ausgelassen. Das Modell zeigt, dass der Faktor Fichtenaltersstufe ( $p = 0,000$ ) und die Freistellungsvariante ( $p = 0,000$ ), hier mit allen drei Stufen des kompletten Versuchsdesigns, einen signifikanten Einfluss haben. Mit zunehmender Fichtenaltersstufe nehmen die Werte des DIFFSF ab. Grundsätzlich haben dabei die nicht freigestellten Bäume die geringsten DIFFSF-Werte und die Werte nehmen mit steigender Freistellungsstärke zu.

Das Post-hoc-Verfahren (Tab. 38a; Scheffé-Test) zeigt, dass nur die Fichtenaltersstufe 19 sich nicht zur Altersstufe 26 ( $p = 0,355$ ) und 32 ( $p = 0,626$ ) signifikant unterscheidet. Zwischen allen anderen Fichtenaltersstufen existieren nachweisbare Unterschiede. Im Falle der Freistellung gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten „keine“ und „mäßige Freistellung“ ( $p = 0,073$ ; Tab. 38b). Es existiert aber keine Wechselwirkung zwischen den beiden Faktoren Fichtenaltersstufe und Freistellungsvariante ( $p = 0,371$ ).

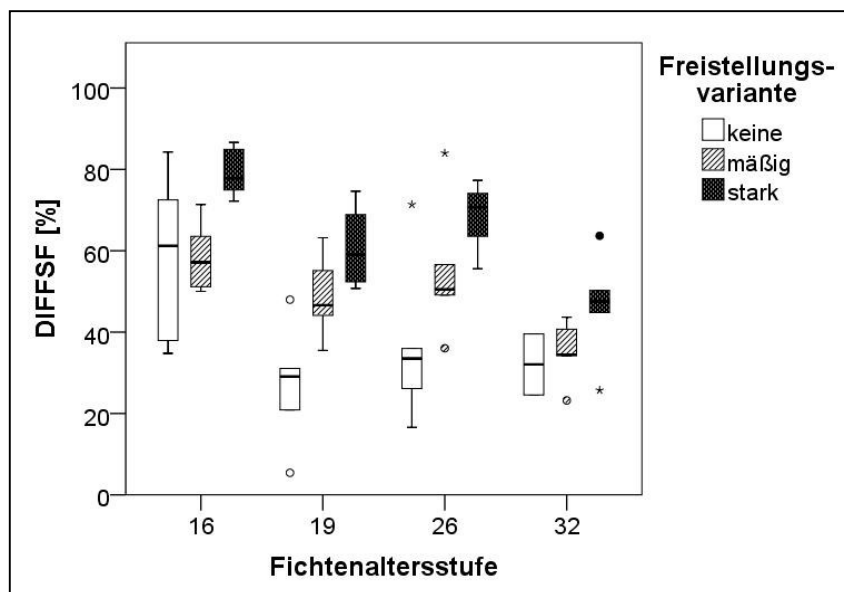


Abb. 47: DIFFSF in Abhängigkeit der Freistellungsvariante und der Fichtenaltersstufe. ALM / UNIA-NOVA: Freistellungsvariante  $p = 0,000$ ; Fichtenaltersstufe  $p = 0,000$ ; Fichtenaltersstufe x Freistellungsvariante  $p = 0,371$ .



Tab. 38a-b: Ergebnis des Post-hoc Tests (Scheffé-Prozedur) für DIFFSF in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe (a) und der Freistellungsvariante (b)

(a) Scheffé-Prozedur für DIFFSF					(b) Scheffé-Prozedur für DIFFSF			
Fichtenaltersstufe	16	19	26	32	Freistellungs- variante	keine	mäßig	stark
16					keine			
19	0,000				mäßig	0,073		
26	0,019	0,355			stark	0,000	0,000	
32	0,000	0,626						

### 3.2.3 Wachstumsreaktionen

#### 3.2.3.1 Stamm

Das Stammwachstum der Probestämme nach der Freistellung wurde anhand des BHD- und Höhen-Zuwachses analysiert. Dies geschah nach zwei Vegetationsperioden und für einige wenige Bäume, welche dem Versuchsdesign nicht entnommen worden sind. Die Aufnahme wurde nach drei Vegetationsperioden wiederholt. An den gefälltten Probestämmen wurden zusätzlich Stammproben entnommen, um mit Hilfe einer Jahrringanalyse den Zuwachs noch exakter bestimmen zu können. Im Folgenden sollen die BHD- und Höhenzuwachsrate der Probestämme je Behandlungsvariante miteinander verglichen werden, wobei zunächst immer erst die Situation vor der Freistellung dargestellt wird. Weiterhin wurden die Triebhöhen an den gefälltten Versuchsbäumen ausgemessen, um eine vergleichende Höhenzuwachsanalyse durchführen zu können. Abschließend wird die Stammausformung anhand der Parameter HD-Wert, Formquotient und der Messgröße Stammvolumen verglichen.

Die in die Auswertungen einbezogenen Stichprobenumfänge (N) sind nach Möglichkeit in den Ergebnisdiagrammen dargestellt. Auf eine Darstellung des Stichprobenumfangs wurde aber an einigen Stellen aufgrund der Übersichtlichkeit der Ergebnisdarstellung verzichtet. Für diese Fälle sei auf die Tabellen zu den entnommenen Stichprobenumfängen im Methodenkapitel 2.2.2.5.3 verwiesen.

### 3.2.3.1.1 BHD und Höhe

#### BHD - Situation vor der Freistellung

Abbildung 48 zeigt den mittleren BHD der Probebäume innerhalb der Fichtenaltersstufen zu Beginn des Freistellungsversuchs. Es sind deutliche Unterschiede zu sehen. Vor allem die Bäume in der Fichtenaltersstufe 19 stechen aus dem Versuchsschema heraus. Die Vogelbeeren in diesem Bestand haben mit einem mittleren BHD von 7,6 cm vergleichbare Dimensionen wie die Vogelbeeren in der ältesten Fichtenaltersstufe 32, welche einen mittleren BHD von 7,7 cm besitzen. Es sind auch Streuungen bzw. Differenzierungen der Werte innerhalb der Fichtenaltersstufen ersichtlich. Diese sind aber unterschiedlich ausgeprägt, so ist die Differenzierung in der Fichtenaltersstufe 16 und 26 nur vergleichsweise gering. Die mittleren BHD-Werte der Fichtenaltersstufen 19 und 32 unterscheiden sich nicht signifikant (T-Test, Tab. 39;  $p = 0,916$ ). Alle anderen Werte unterscheiden sich signifikant zwischen den Fichtenaltersstufen. Es sind jeweils die Ergebnisse für homogene und nicht homogene Varianzen zu beachten.

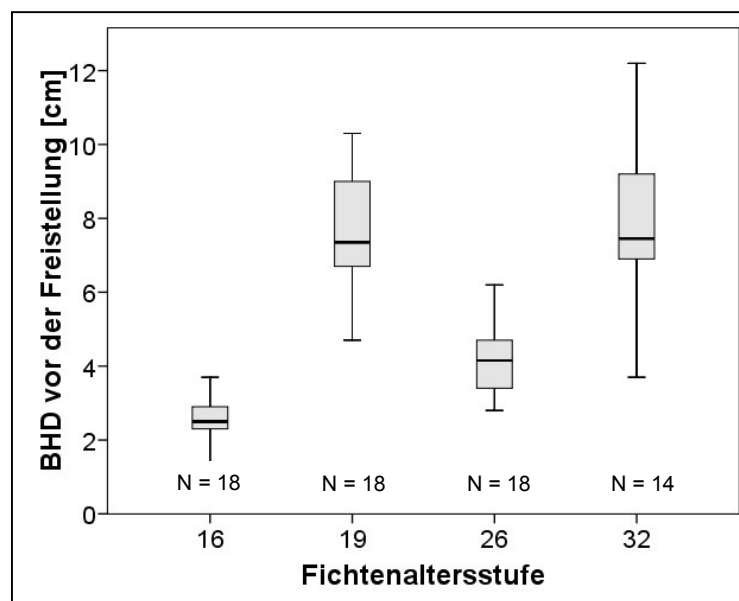


Abb. 48: Mittlerer BHD (cm) der Probebäume in 2001 vor dem Durchforstungsexperiment in Abhängigkeit des Alters des Fichtenbestandes (die Fehlerbalken zeigen das 95%-Konfidenzintervall an) ANOVA: Fichtenaltersstufe:  $p = 0,000$ ; Levene-Test:  $p = 0,003$ ; Welch und Brown-Forsythe jeweils:  $p = 0,000$ .

Tab. 39: Ergebnisse der T-Tests (Signifikanzniveau  $p \leq 0,05$ )

Fichtenaltersstufe	16	19	26	32
<b>16</b>				
<b>19</b>	0,000			
<b>26</b>	0,000	0,000		
<b>32</b>	0,000	0,916	0,000	

Den Zusammenhang zwischen BHD und K-Index zu Beginn des Freistellungsversuches zeigt Abbildung 49. Der Einfluss der Konkurrenzsituation soll hier in Form des K-Indexes als Kovariate untersucht werden und in das betrachtete Modell einfließen. Demnach kann tendenziell die Aussage getroffen werden, dass mit zunehmendem BHD die Konkurrenzsituation für den Probebaum geringer wird, der Verlauf aber abhängig von dem Alter des Fichtenbestandes ist. Die Datenwerte erfüllen nicht die Voraussetzungen für eine varianzanalytische Auswertung. Das Kriterium der Varianzhomogenität ist verletzt (Levené-Test,  $p = 0,002$ ). Auffallend ist weiterhin, dass die geringsten Konkurrenzswerte in der Fichtenaltersstufe 16 zu finden sind. Insgesamt fallen auch wieder die Werte der Vogelbeeren der Fichtenaltersstufe 19 auf. Sie ordnen sich zwischen der Fichtenaltersstufe 26 und 32 ein.

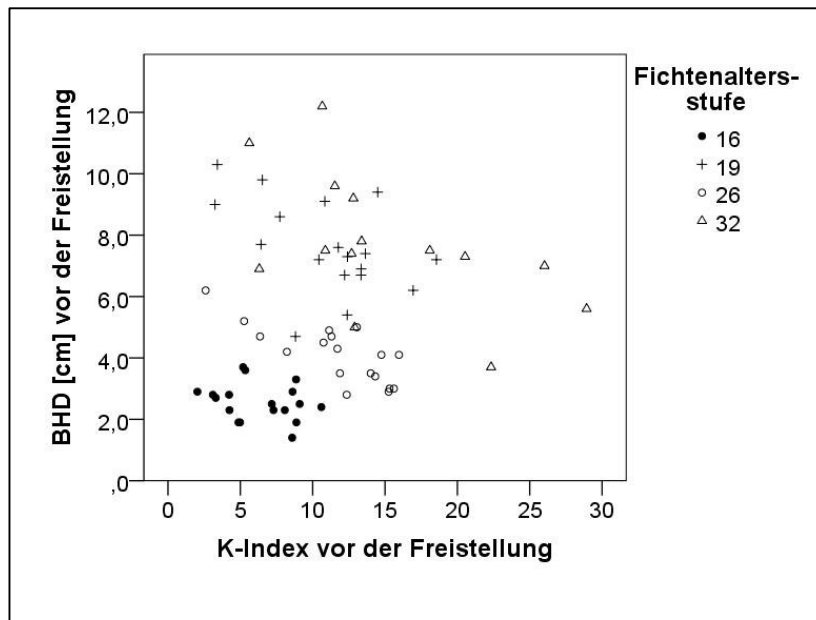


Abb. 49: Zusammenhang zwischen Konkurrenzindex und BHD vor der Freistellung (ALM / UNIA-NOVA:  $R^2 = 0,81$  (korr.  $R^2 = 0,798$ ); Modell:  $p = 0,000$ ; Konstanter Term:  $p = 0,000$ ; Konkurrenzindex:  $p = 0,000$ ; Fichtenaltersstufe:  $p = 0,000$ ; Levene-Test:  $p = 0,002$ )

### BHD - Situation nach der Freistellung

Im Folgenden wird die Situation nach der Freistellung beschrieben. Durch die Freistellungsbehandlung waren einige Bäume geschädigt. Diese geschädigten Bäume wurden in die Berechnungen nicht mit einbezogen. Den Abbildungen 50a und b ist zu entnehmen, dass der K-Index vor der Freistellung tendenziell einen Einfluss auf den prozentualen BHD-Zuwachs der Probebäume nach 2 Vegetationsperioden ausgeübt hat. Mit zunehmendem „Ausgangs-K-Index“ nimmt der relative BHD-Zuwachs ab. Die Datenwerte weisen jedoch sehr große Streuungen auf. Vor allem ein Einfluss der Freistellungsvariante ist nicht deutlich zu erfassen.

Für diese Werte liegt auch keine Normalverteilung vor. Dieser Faktor wurde daher bei den weiteren Berechnungen nicht berücksichtigt. Es flossen nur die Kovariate K-Index vor der Freistellung und der Faktor Fichtenaltersstufe in das Modell ein. Eine statistische Absicherung für den Einfluss des Faktors Fichtenaltersstufe kann aber ebenfalls nicht gegeben werden, das Kriterium der Varianzhomogenität der abhängigen Daten ist für das gesamte Modell verletzt (Levené-Test,  $p = 0,000$ ). Auf die Darstellung dieser Ergebnisse und der Ergebnisse des prozentualen BHD-Zuwachses nach drei Vegetationsperioden wird daher an dieser Stelle verzichtet.

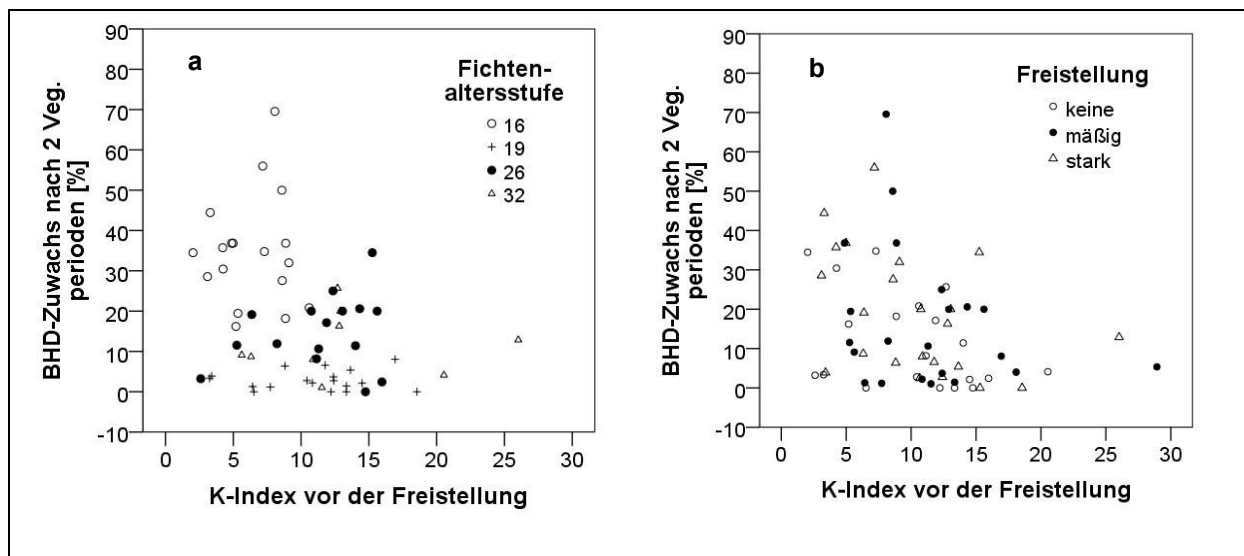


Abb.50a-b: Einfluss des Konkurrenzindex vor der Freistellung auf den prozentualen BHD-Zuwachs innerhalb der verschiedenen Fichtenaltersstufen (a) und Freistellungsvarianten (b) (ALM / UNIANOVA:  $R^2 = 0,758$  (korr.  $R^2 = 0,734$ ); Modell  $p = 0,000$ ; Konstanter Term  $p = 0,000$ ; Konkurrenzindex vor der Freistellung:  $p = 0,515$ ; Fichtenaltersstufe  $p = 0,000$ ; Levene-Test:  $p = 0,000$ )

Eine komplexe varianzanalytische Auswertung des prozentualen BHD-Zuwachses nach der Freistellung, welche alle interessierenden unabhängigen Faktoren des Versuchsdesigns in das Modell einbezieht, war nicht möglich. Die Daten unter den Faktorstufen der Konkurrenzsituation und Freistellungsvariante sind nicht normalverteilt. Ein nichtparametrischer Test mit dem Einflussfaktor „Konkurrenzsituation“ ergab keine signifikanten Unterschiede. Im Folgenden werden daher nur Einzelvergleiche zwischen den Gruppen der Faktoren Freistellungsvariante und Fichtenaltersstufe präsentiert. Der prozentuale BHD-Zuwachs nach zwei Vegetationsperioden zeigt leicht ansteigende Werte mit zunehmender Freistellungsstärke (Abb. 51a und b). Hierbei sind die Werte zwischen den nicht freigestellten und den stark freigestellten Bäumen signifikant voneinander verschieden (Tab. 40a und b; Mann-Whitney-U-Test,  $p = 0,040$ ). Die Beobachtungen nach drei Vegetationsperioden bescheinigen der Kategorie „mäßige Freistellung“ tendenziell höhere prozentuale Zuwachswerte im BHD-Bereich (n.s.; 40b). Die Stich-

probe ist hier aufgrund der Baumentnahmen entsprechend geringer, verglichen mit den Werten nach zwei Vegetationsperioden.

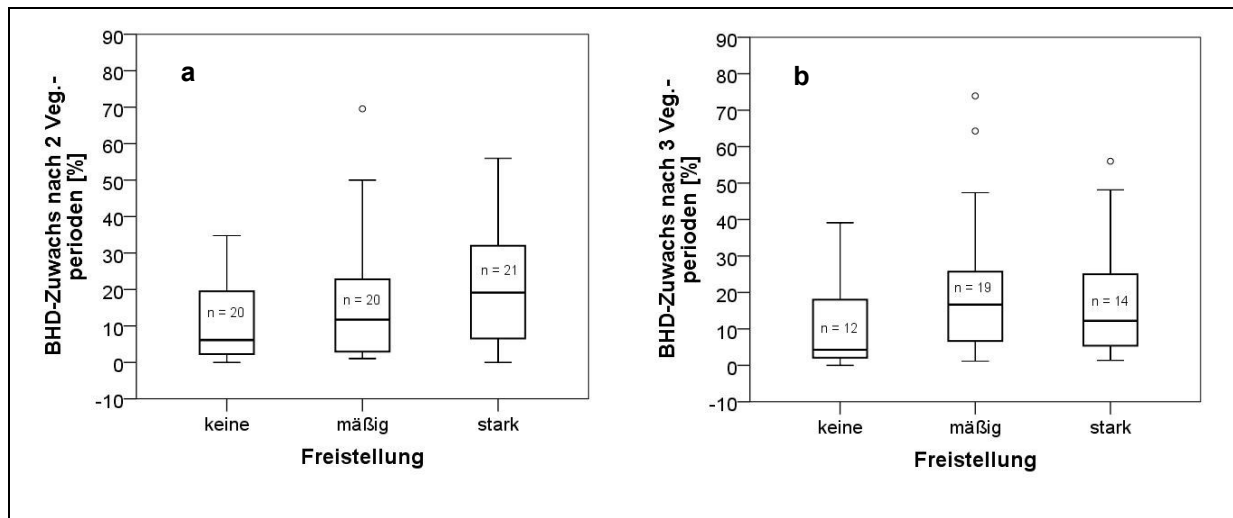


Abb. 51a-b: BHD-Zuwachs in Prozent nach zwei und nach drei Vegetationsperioden in Abhängigkeit der Freistellungsvariante

Tab. 40a-b: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests (nichtparametrisch) für (a) prozentualer BHD-Zuwachs nach 2 Vegetationsperioden und (b) prozentualer BHD-Zuwachs nach 3 Vegetationsperioden (Signifikanzniveau  $p \leq 0,05$ ).

(a) Prozentualer BHD-Zuwachs nach 2 Vegetationsperioden

	keine	mäßig	stark
keine			
mäßig	0,256		
stark	0,040	0,514	

(b) Prozentualer BHD-Zuwachs nach 3 Vegetationsperioden

	keine	mäßig	stark
keine			
mäßig	0,120		
stark	0,145	0,760	

Deutliche Unterschiede für den relativen BHD-Zuwachs nach der Freistellung zeigen sich, wenn die Datenwerte in Abhängigkeit von der Fichtenaltersstufe betrachtet werden (Abb. 52a und b). Die Zuwachswerte sind in der Fichtenaltersstufe 16 in beiden betrachteten Zeiträumen am höchsten und fallen mit zunehmender Fichtenaltersstufe ab. Die Werte der Fichtenaltersstufe 19 stechen dabei heraus, sind in beiden betrachteten Zeiträumen am geringsten. Die mittleren Werte der Fichtenaltersstufe 26 und 32 unterschieden sich in beiden untersuchten Zeiträumen nicht signifikant voneinander (Tab. 41a und b); nach zwei Vegetationsperioden  $p = 0,416$  und nach drei Vegetationsperioden  $p = 0,482$ ; jeweils T-Test). Alle anderen mittleren Werte des prozentualen BHD-Zuwachses unterscheiden sich zwischen den Fichtenaltersstufen (Tab. 41a und b). Teilweise war zur varianzanalytischen Berechnung die Voraussetzung der Varianzhomogenität nicht gegeben. Deshalb wurden die mittleren Datenwerte zwischen den Altersstufen mit Hilfe eines T-Tests gegeneinander geprüft. Der T-Test liefert sowohl ein Ergebnis für die Annahme homogener und nicht homogener Varianzen.

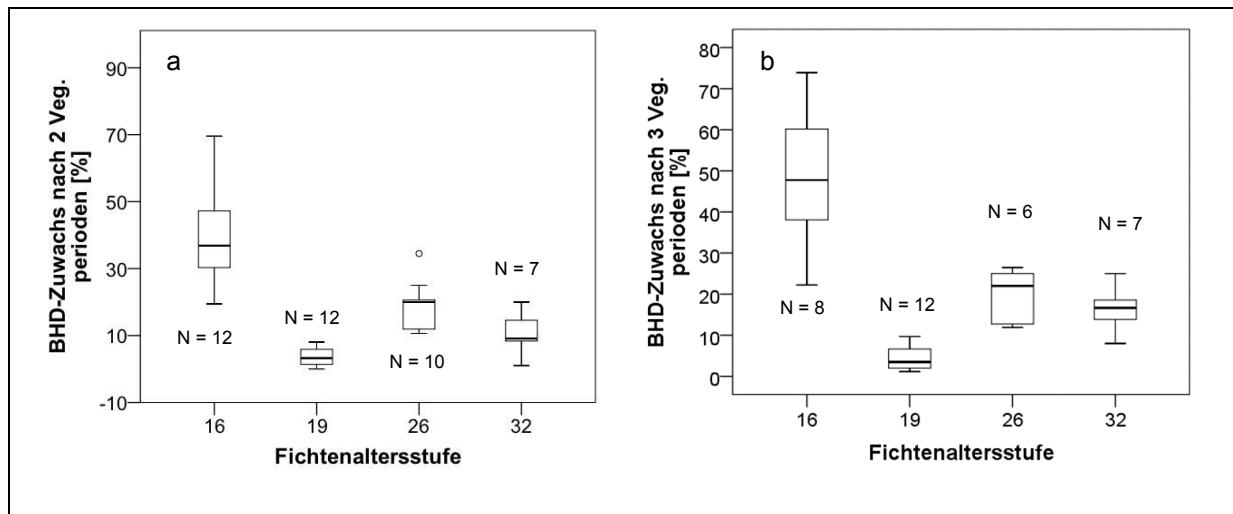


Abb. 52a-b: BHD-Zuwachs in Prozent nach 2 (a) und 3 (b) Vegetationsperioden in Abhängigkeit des Alters des Fichtenbestandes (nur freigestellte Bäume)

Tab. 41a-b: Ergebnisse der T-Tests für (a) BHD-Zuwachs in Prozent nach 2 Vegetationsperioden und (b) BHD-Zuwachs in Prozent nach 3 Vegetationsperioden (Signifikanzniveau  $p \leq 0,05$ )

(a) BHD-Zuwachs in Prozent nach 2 Vegetationsperioden					(b) BHD-Zuwachs in Prozent nach 3 Vegetationsperioden				
Fichtenaltersstufe	16	19	26	32	Fichtenaltersstufe	16	19	26	32
16					16				
19	0,000				19	0,000			
26	0,000	0,000			26	0,001	0,000		
32	0,000	0,009	0,416		32	0,001	0,001	0,482	

Wird die Dimension des BHDs vor der Freistellung als Kovariate zur Analyse in ein Modell einbezogen, kann grundsätzlich festgestellt werden, dass der prozentuale Zuwachs mit zunehmendem „Ausgangs-BHD“ vor der Freistellung abnimmt (Abb. 53a und b). Dieser Verlauf scheint nicht linear zu sein, er ähnelt eher einer quadratischen Funktion.

Auch hier ließ sich nur die Fichtenaltersstufe als alleiniger unabhängiger Faktor in einem Modell betrachten, da nur für die Datenwerte unter den Stufen dieses Faktors eine Normalverteilung vorlag. Für die BHD-Zuwachswerte nach zwei Vegetationsperioden war das Modell signifikant ( $p = 0,000$ ). Der Einfluss der Kovariate „BHD vor der Freistellung“ ( $p = 0,010$ ) und die Fichtenaltersstufe ( $p = 0,000$ ) konnten als signifikant nachgewiesen werden. Das Modell erklärt 70% der Streuung ( $R^2 = 0,669$ ). Die Varianzhomogenität der Datenwerte ist mit  $p = 0,055$  knapp gegeben.

Für die Zuwachswerte nach drei Vegetationsperioden konnte kein geeignetes Modell angepasst werden. Die Varianzhomogenität für die Datenwerte konnte nicht angenommen werden.

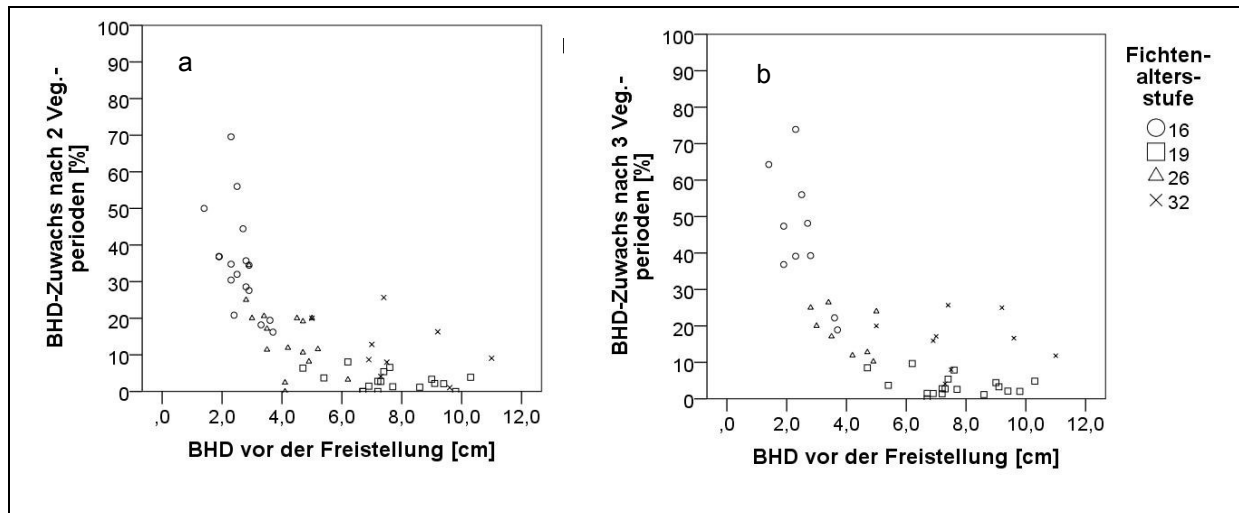


Abb. 53a-b: Einfluss der Fichtenaltersstufe auf den prozentualen (relativen) BHD-Zuwachs nach 2 und nach 3 Vegetationsperioden in Abhängigkeit des BHDs vor der Freistellung (Ergebnisse der ALM / UNIANOVA: (a) BHD-Zuwachs [%] nach 2 Vegetationsperioden;  $R^2 = 0,699$  (Korr.  $R^2 = 0,678$ ), Modell:  $p = 0,000$ , BHD vor der Freistellung:  $p = 0,010$ , Fichtenaltersstufe:  $p = 0,000$ , Levene-Test:  $p = 0,055$ ; (b) BHD-Zuwachs [%] nach 3 Vegetationsperioden;  $R^2 = 0,771$  (Korr.  $R^2 = 0,748$ ), Modell:  $p = 0,000$ , BHD vor der Freistellung:  $p = 0,109$ , Fichtenaltersstufe:  $p = 0,000$ , Levene-Test:  $p = 0,000$ )

### Höhe - Situation vor der Freistellung

Abbildung 54 zeigt die mittleren Höhen der Probestämme innerhalb der Fichtenaltersstufen zu Beginn des Freistellungsversuchs. Auch hier fällt wie bei den Ergebnissen der BHD-Werte vor der Freistellung auf, dass in der Fichtenaltersstufe 19 mit im Mittel 690 cm vergleichsweise hohe Vogelbeeren stocken. Damit weisen die Vogelbeeren in dieser Fichtenaltersstufe vergleichbare Höhen auf wie die Bäume in der Fichtenaltersstufe 26 mit fast 670 cm Höhe. Die Mittelwerte dieser beiden Fichtenaltersstufen sind entsprechend nicht signifikant unterschiedlich (Tab. 42; Post-hoc Scheffé-Prozedur,  $p = 0,956$ ). Die Fichtenaltersstufe hat grundsätzlich einen signifikanten Einfluss auf die Höhe vor der Freistellung (Abb. 54; ANOVA,  $p = 0,000$  für den Faktor Fichtenaltersstufe). Die Mittelwerte zwischen allen anderen Kombinationen der Fichtenaltersstufen sind voneinander signifikant unterschiedlich (Tab. 42; Post-hoc-Test, Scheffé-Prozedur, jeweils  $p = 0,000$ ).

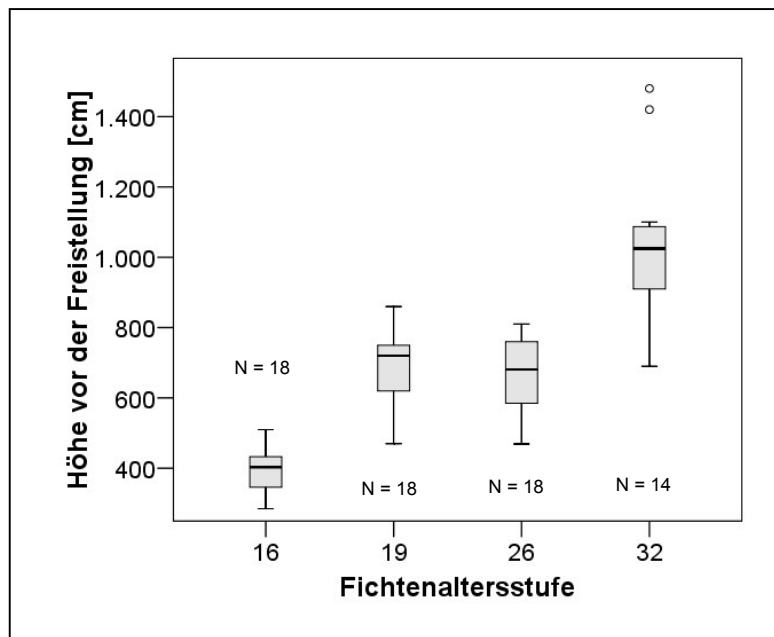


Abb. 54: Mittlere Höhe (cm) der Probestämme in 2001 vor dem Durchforstungsexperiment in Abhängigkeit des Alters des Fichtenbestandes (ANOVA: Fichtenaltersstufe:  $p = 0,000$ ; Levene-Test:  $p = 0,166$ )

Tab. 42: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur bezüglich der Höhenentwicklung der Vogelbeeren vor der Freistellung und in Abhängigkeit von der Fichtenaltersstufe

Fichtenaltersstufe	16	19	26	32
<b>16</b>				
<b>19</b>	0,000			
<b>26</b>	0,000	0,956		
<b>32</b>	0,000	0,000	0,000	

Wie bei den Ergebnissen der BHD-Messungen zeigt die Gegenüberstellung der Höhenwerte und der K-Indizes zu Beginn des Freistellungsversuches (Abb. 55), dass mit zunehmender Baumhöhe die Konkurrenzsituation für die Probestämme tendenziell geringer wird. Ein Einfluss der Fichtenaltersstufe scheint sich auch abzuzeichnen. Dieser wird durch die unterschiedliche Ausgangshöhe der Bäume innerhalb der Fichtenaltersstufen geprägt. Je älter der Fichtenbestand, desto höher waren die Vogelbeeren. Die Zusammenhänge können aber nur tendenziell beschrieben werden. Ein Modell ließ sich nicht anpassen, da die Voraussetzung der Varianzhomogenität nicht gegeben war (Levené-Test,  $p = 0,000$ ). Der Grafik kann man weiterhin entnehmen, dass der Wert des K-Index mit steigendem Alter des Fichtenbestandes zunimmt, aber auch eine höhere Streuung aufweist.



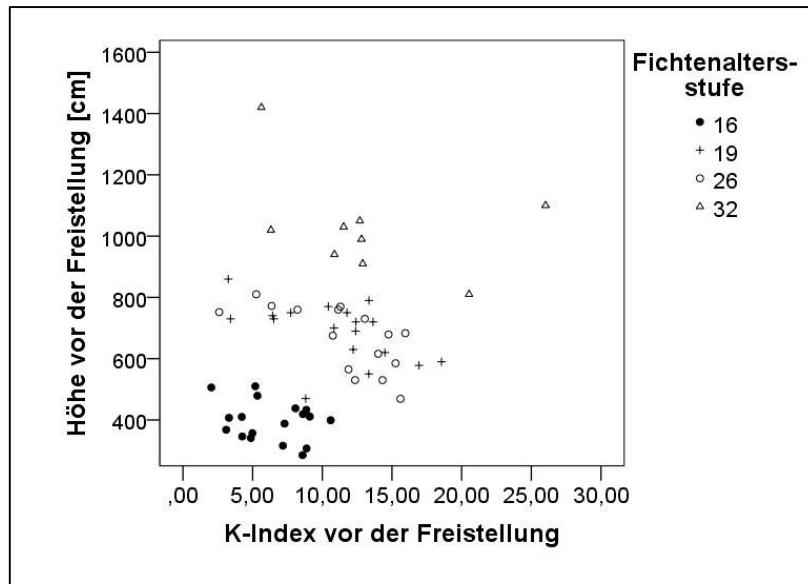


Abb. 55: Zusammenhang zwischen Konkurrenzindex und Höhe vor der Freistellung (ALM / UNIANOVA,  $R^2 = 0,824$  (korr.  $R^2 = 0,813$ ), Modell  $p = 0,000$ , Konstanter Term  $p = 0,000$ , Konkurrenzindex  $p = 0,000$ , Fichtenaltersstufe  $p = 0,000$ , Levene-Test:  $p = 0,000$ )

### Höhe - Situation nach der Freistellung

Abbildung 56a und b zeigen den Einfluss des K-Index vor der Freistellung auf das prozentuale Höhenwachstum der Probestämme nach zwei Vegetationsperioden für die Faktoren Fichtenaltersstufe und Freistellungsvariante. Die Zusammenhänge lassen sich durch ein Modell darstellen ( $p = 0,000$ ), in dem der K-Index als Kovariante und nur die Fichtenaltersstufe als alleiniger Faktor einbezogen wurden.

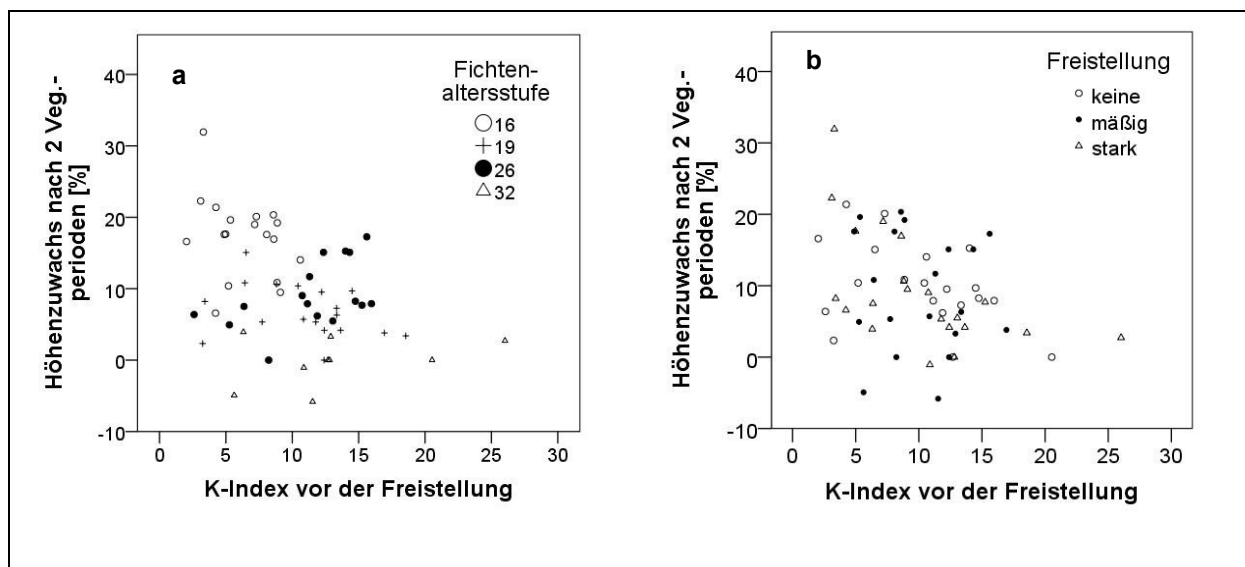


Abb. 56a-b: Einfluss des Konkurrenzindex vor der Freistellung auf den prozentualen Höhenzuwachs (ALM / UNIANOVA (nur mit Fi-Alder),  $R^2 = 0,633$  (korr.  $R^2 = 0,606$ ), Modell  $p = 0,000$ , Konstanter Term  $p = 0,000$ , Konkurrenzindex  $p = 0,825$ , Fichtenaltersstufe:  $p = 0,000$ , Levene-Test:  $p = 0,541$ )

Die Datenwerte unter den Faktorstufen der Freistellungsvariante sind nicht normalverteilt. Im Modell konnten ca. 63 % der Streuungen ( $R^2 = 0,633$ ) erklärt werden. Der K-Index hatte dabei keinen signifikanten Effekt ( $p = 0,891$ ). Nur der Faktor Fichtenaltersstufe beeinflusst die Lage der Datenwerte signifikant ( $p = 0,000$ ). Die Varianzhomogenität des Modells ist gegeben (Levené-Test,  $p = 0,541$ ). Eine Gegenüberstellung des Höhenzuwachses in Prozent (Abb. 57a) und der angewandten Freistellungsvariante zeigt nach zwei Vegetationsperioden keinen deutlichen Trend. Hier unterscheiden sich nur die Varianten „keine Freistellung“ zu „starker Freistellung“ signifikant voneinander (Tab. 43a; Mann-Whitney-U-Test,  $p = 0,040$ ). Die Grafik 57b zeigt zunächst den Trend, dass nach drei Vegetationsperioden die mäßige Freistellungsvariante vorteilhafter für das Höhenwachstum ist, dieser ist aber nicht signifikant (Tab. 43b). Hier ist auch die untersuchte Stichprobe mit insgesamt  $N = 45$  Bäumen wesentlich geringer, da einige Bäume dem Versuchsdesign schon entnommen worden sind.

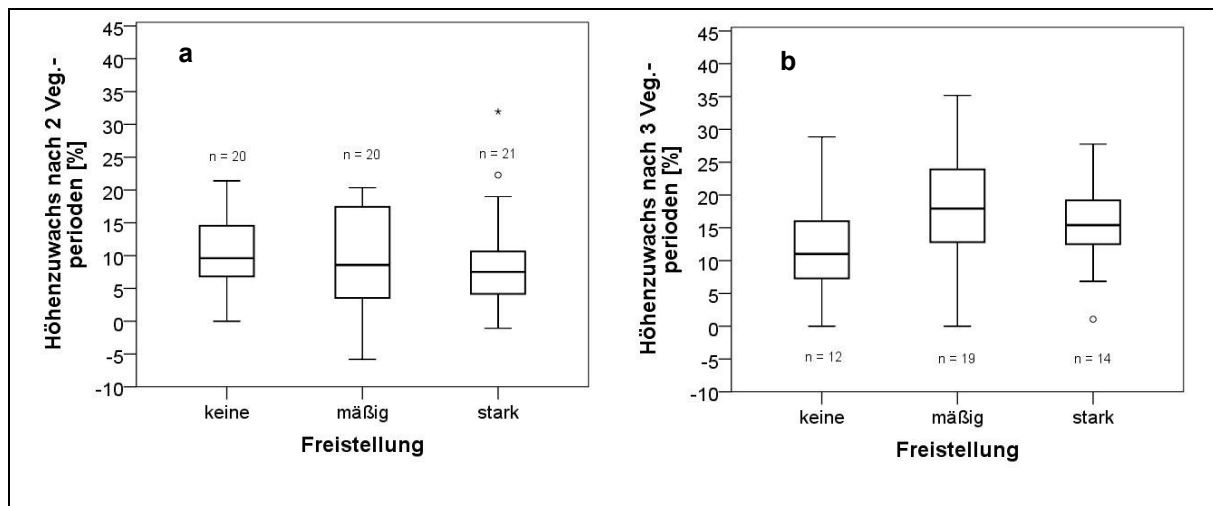


Abb. 57a und b: Höhen-Zuwachs in Prozent nach (a) 2 und nach (b) 3 Vegetationsperioden in Abhängigkeit von der Freistellungsvariante

Tab. 43a und b: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests (Signifikanzniveau  $p \leq 0,05$ )

(a) Prozentualer Höhen-Zuwachs nach 2 Vegetationsperioden

Freistellung	keine	mäßig	stark
keine			
mäßig	0,256		
stark	0,040	0,514	

(b) Prozentualer Höhen-Zuwachs nach 3 Vegetationsperioden

Freistellung	keine	mäßig	stark
keine			
mäßig	0,120		
stark	0,145	0,760	

Für die Analyse der relativen Höhenzuwachswerte innerhalb der Faktorstufen der Fichtenaltersstufen waren die varianzanalytischen Voraussetzungen gegeben. Hier ließ sich ein allgemeines lineares Modell für den Höhenzuwachs berechnen (Abb. 58a und b),  $p = 0,000$ . Mit zunehmender Fichtenaltersstufe nahm in beiden betrachteten Zeiträumen der relative Höhen-

zuwachs mit zunehmender Fichtenaltersstufe ab (ALM/UNIANOVA,  $p = 0,000$  für den Einfluss der Fichtenaltersstufe zwei Vegetationsperioden nach der Freistellung und  $p = 0,000$  für den Einfluss der Fichtenaltersstufe drei Vegetationsperioden nach der Freistellung). Lediglich die Werte des Höhenzuwachses in den Altersstufen 19 und 26 unterscheiden sich nach zwei Vegetationsperioden nicht signifikant (Post-hoc, Scheffé-Prozedur;  $p = 0,527$ ; Tab. 58a). Nach drei Vegetationsperioden unterscheidet sich die Fichtenaltersstufe 26 nicht mehr signifikant zur Altersstufe 19 ( $p = 0,616$ ) und zur Altersstufe 32 ( $p = 0,568$ ; Tab. 58b).

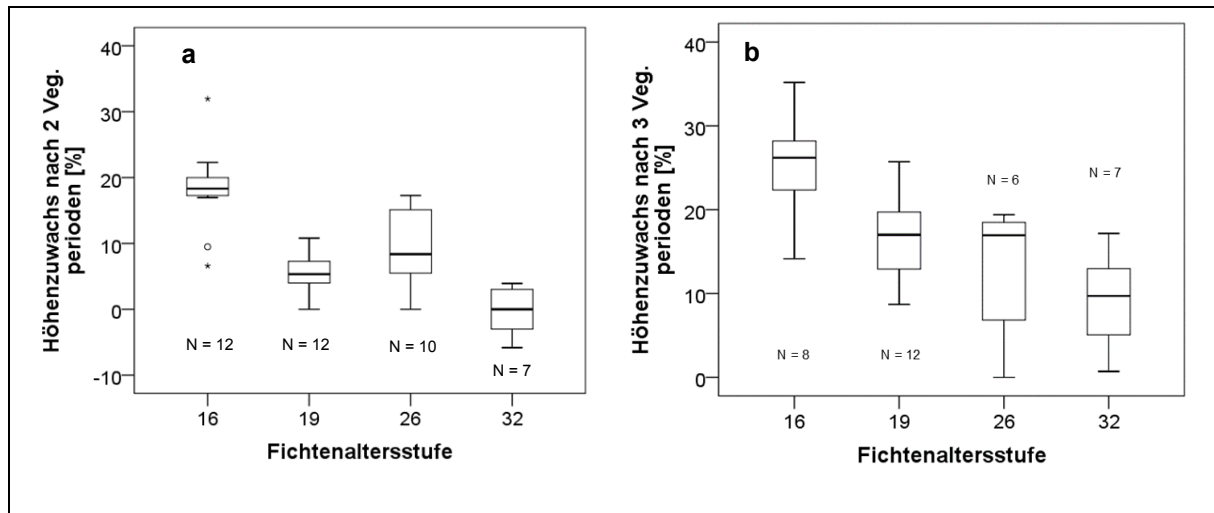


Abb. 58a-b: Höhen-Zuwachs in Prozent nach 2 (a) und 3 (b) Vegetationsperioden in Abhängigkeit des Alters des Fichtenbestandes (ALM/UNIANOVA: (a)  $R^2 = 0,699$  (korr.  $R^2 = 0,632$ ), Fichtenaltersstufe:  $p = 0,000$ , Konkurrenzsituation:  $p = 0,908$ , Fichtenaltersstufe x Konkurrenzsituation:  $p = 0,115$ , Levene:  $p = 0,325$ ; (b)  $R^2 = 0,628$  (korr.  $R^2 = 0,504$ ), Fichtenaltersstufe:  $p = 0,000$ , Konkurrenzsituation:  $p = 0,100$ , Fichtenaltersstufe x Konkurrenzsituation:  $p = 0,056$ , Levene:  $p = 0,477$ )

Tab. 44a-b: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur (Signifikanzniveau  $p \leq 0,05$ )

(A) Höhen-Zuwachs in Prozent nach 2 Vegetationsperioden in Abhängigkeit von der Altersstufe

Fichtenaltersstufe	16	19	26	32
16				
19	0,000			
26	0,000	0,527		
32	0,000	0,006	0,000	

(B) Höhen-Zuwachs in Prozent nach 3 Vegetationsperioden in Abhängigkeit von der Altersstufe

Fichtenaltersstufe	16	19	26	32
16				
19	0,005			
26	0,001	0,616		
32	0,000	0,035	0,568	

Die individuelle „Ausgangshöhe“ der Probebäume beeinflusst, ebenfalls wie bei der Analyse der BHD-Zuwachswerte, den relativen Höhenzuwachs (Abb. 59a und b). Hier kann auch nur der Einfluss des Faktors Fichtenaltersstufe analysiert werden, um die varianzanalytischen Voraussetzungen einzuhalten. Die Modelle sind jeweils signifikant ( $p = 0,000$ ) für beide betrach-

teten Zeiträume). Dennoch lässt sich nur für die Werte nach zwei Vegetationsperioden sagen, dass die „Ausgangshöhe“ vor der Freistellung einen signifikanten Einfluss auf den Höhenzuwachs besaß ( $p = 0,005$ ). Der Faktor Fichtenaltersstufe zeigt in diesem Zeitraum schon keinen Einfluss mehr ( $p = 0,070$ ). Nach drei Vegetationsperioden liegen keine signifikanten Einflüsse der untersuchten Faktoren auf das Höhenwachstum vor.

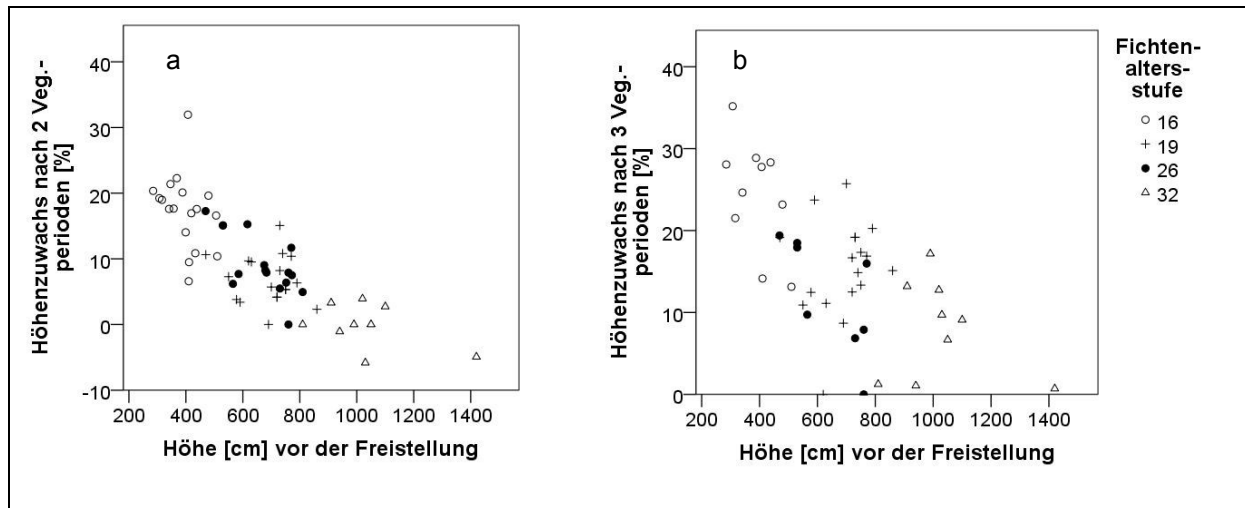


Abb. 59a-b: Höhen-Zuwachs in Prozent nach 2 und nach 3 Vegetationsperioden in Abhängigkeit der Ausgangshöhe des Probebaumes (ALM / UNIANOVA: (a) Höhenzuwachs [%] nach 2 Vegetationsperioden:  $R^2 = 0,682$  (Korr.  $R^2 = 0,659$ ), Modell:  $p = 0,000$ , Ausgangshöhe:  $p = 0,005$ , Fichtenaltersstufe:  $p = 0,070$ , Levene-Test:  $p = 0,738$ ; (b) Höhenzuwachs [%] nach 3 Vegetationsperioden:  $R^2 = 0,493$  (Korr.  $R^2 = 0,442$ ), Modell:  $p = 0,000$ , Ausgangshöhe:  $p = 0,135$ , Fichtenaltersstufe:  $p = 0,094$ , Levene-Test:  $p = 0,993$ )

### 3.2.3.1.2 Trieb­längen und Jahrringe

#### Trieb­längen

An den gefällten Versuchsbäumen der Fichtenaltersstufen 16 und 26 wurden die Terminaltrieblängen der vergangenen Jahre anhand der Internodienabstände der Stammachse ausgemessen. Mit dieser Methode kann der jährliche Längenzuwachs ermittelt und jahrweise zurückverfolgt werden. Diese Methode sollte ergänzend zur Höhenmessmethode (s. Kapitel 2.2.2.4) durchgeführt werden, da diese eine präzise Erfassung der jährlichen Zuwächse der Stammachse möglich macht. In vorliegender Untersuchung wurden die Zuwächse bis zum Jahr 2000 zurückverfolgt. In die Auswertung sind nur ungeschädigte Bäume einbezogen worden. Bei den Auswertungen der Trieb­längen fehlen die Daten eines Baumes aus der Fichtenaltersstufe 26 in niedriger Konkurrenzsituation mit mäßiger Freistellungsvariante.

Der grafische und rein deskriptive Vergleich der Mittelwerte der Terminaltrieblängen zwischen den Freistellungsvarianten über alle Fichtenaltersstufen zeigt Abbildung 60. Die Werte zeichnen sich insgesamt durch hohe Streuungen aus. Nach der Freistellung sind tendenziell erhöhte mittlere Werte der Trieb­längen (über 30 cm) zu sehen, die ab dem Jahr 2002 wieder abfallen (unter 20 cm).

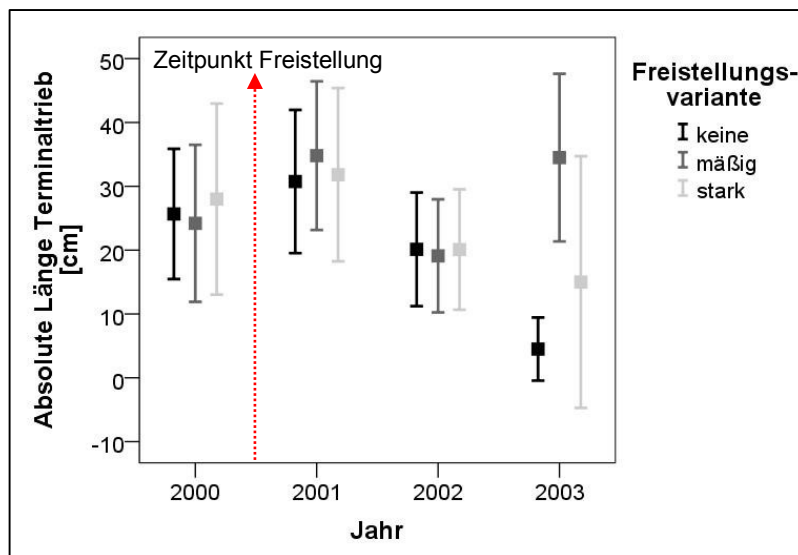


Abb.60: Mittelwert des absoluten Trieb­längen­zuwachses der Prohebäume je Freistellungsvariante in den Jahren 2000 bis 2003 (Whiskers = Standardabweichung)

Grundsätzlich sind kaum Unterschiede im absoluten Zuwachs zwischen den Freistellungsvarianten festzustellen. Auffallend sind die unterschiedlichen Werte im Jahr 2003, die mäßige Freistellungsvariante hat hier den höchsten mittleren Wert von 34,5 cm. Die nicht freigestell-

ten Bäume haben den geringsten mittleren Trieb­längenwert mit 4,5 cm. Zu beachten ist hier, dass im Jahr 2003 nur die Trieb­längen von 17 im Probedesign verbliebenen Bäumen ausgewertet werden konnten. Die Trieb­längenmessungen für die Jahre 2000 bis 2002 basieren auf einem Umfang von jeweils 33 Probedäumen.

Eine varianzanalytische Auswertung ließ sich nur für die Faktor­stufen der Freistellungsvarianten realisieren. Unter den Faktor­stufen Alter und Konkurrenz­situation lag keine Normalverteilung der Datenwerte der Trieb­längen vor. Für die Trieb­längenmittelwerte aus dem Jahr 2003, d.h. in der dritten Vegetations­periode nach der Freistellungs­behandlung, konnten signifikante Unterschiede im Wachstum gefunden werden (Abb. 61; ANOVA,  $p = 0,011$ ). Die Trieb­längen der mäßigen Freistellungs­variante zeigten hier den höchsten Zuwachs. Die Trieb­längen unterscheiden sich zu den Trieb­längen der nicht freigestellten Bäume ( $p = 0,016$ , Tab. 45).

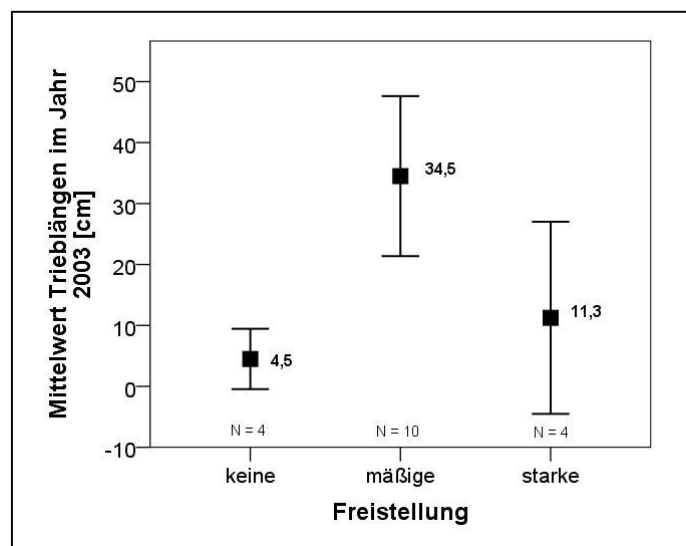


Abb. 61: Mittlerer Trieb­längen­zuwachs im Jahr 2003 in Abhängigkeit der Freistellungs­variante (ANOVA: Freistellungs­variante:  $p = 0,011$ , Levene-Test:  $p = 0,109$ )

Tab. 45: Ergebnisse des Post-hoc-Tests (Scheffé-Test, Signifikanzniveau  $p \leq 0,05$ ) für den mittleren Trieb­längen­zuwachs

Freistellung	keine	mäßig	stark
Keine			
Mäßig	0,016		
Stark	0,668	0,182	

Die Betrachtung des gesamten aufsummierten Zuwachses der Jahre 2001 bis 2003 zeigt ein ähnliches Bild. Demnach wiesen die Versuchsbäume der mäßigen Freistellungs­variante den höchsten mittleren Trieb­längen­zuwachs im Jahr 2003 auf (Abb. 62). Die Datenwerte ließen nur ein gegenseitiges Testen der Mittelwerte zu (Tab. 46, T-Test), da die Varianzhomogenität

nicht immer gegeben war. Der aufsummierte Trieb­längen­zu­wachs der Jahre 2001 bis 2003 der mäßigen Freistellungsvariante umfasst mit ca. 85 cm die höchsten Werte und unterscheidet sich signifikant von den anderen Freistellungsvarianten ( $p = 0,006$ ; keine Freistellung mit im Mittel 52,4 cm und  $p = 0,004$ ; starke Freistellung mit im Mittel 56,0 cm).

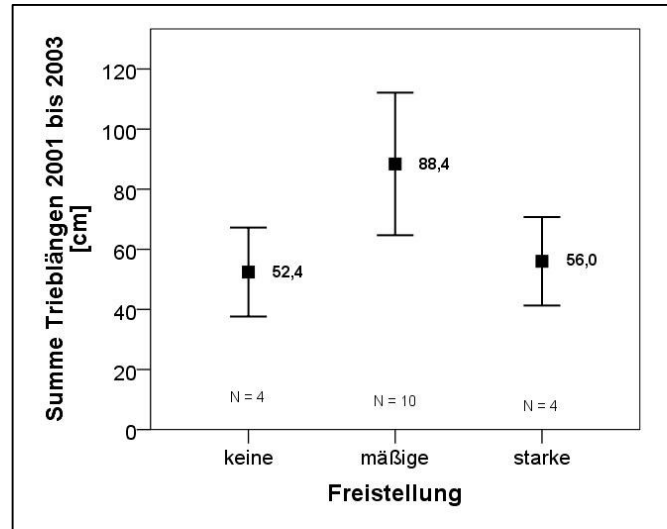


Abb. 62: Aufsummierter Trieb­längen­zu­wachs der Jahre 2001 bis 2003 in Abhängigkeit der Freistellungsvariante.

Tab. 46: Ergebnisse des Post-hoc-Tests (Scheffé-Test, Signifikanzniveau  $p \leq 0,05$ ) für die Summe der Trieb­längen zwischen 2001 bis 2003

Freistellung	keine	mäßig	stark
keine			
mäßig	0,006		
stark	0,694	0,004	

### Jahrringanalyse

An allen 34 gefällten Probestämmen der Fichtenaltersstufen 16 und 26 wurden Stammscheiben aus den Bereichen Stammfuß, BHD und Stammmitte entnommen. An den Stammscheiben ist jeweils eine Jahrringanalyse durchgeführt worden, die eine Rückverfolgung des Durchmesserzuwachses in den verschiedenen Stammbereichen bis zum Jahr 1998 ermöglichte. Insgesamt sind 102 Stammscheiben ausgewertet worden. Bei der Analyse konnte durch Auszählung der Jahrringe an den Baumscheiben aus dem Stammbereich eine genaue Bestimmung des Alters durchgeführt werden. Tabelle 47 zeigt die Auswertung der Altersbestimmung. Ergänzend wurde auch das Ergebnis von 5 Referenzbäumen der Fichtenaltersstufe 19 hinzuge­nommen. Die Jahrringauszählung geschah im Falle der Referenzbäume direkt am gefällten Stamm. In der Fichtenaltersstufe 16 sind die ausgewählten Probestämme im Mittel 13 Jahre alt.

Die Altersspanne reicht von 10 bis 16 Jahren. In der Fichtenaltersstufe 19 hatten sich Vogelbeeren angesamt, die durchschnittlich 16 Jahre alt gewesen sind. Hier sind nur 5 Referenzbäume untersucht worden, von denen 4 Bäume ein Alter von 17 Jahren und einer ein Alter von 13 Jahren aufwiesen. In der Fichtenaltersstufe 26 sind die Alterswerte differenzierter. Im Mittel sind die Probebäume hier ca. 16 Jahre alt. Die Spanne reicht von 13 bis 21 Jahren.

Tab. 47: Alter der Vogelbeeren unterteilt nach Fichtenaltersstufe (\*ausgezählt an gefälltten Probebäumen, \*\*ausgezählt an gefälltten Referenzbäumen)

Fichtenaltersstufe	N	Alter der Vogelbeeren			Standardfehler des Mittelwertes	Standardabweichung
		Mittelwert	Minimum	Maximum		
<b>16*</b>	18	13	10	16	0,36	1,53
<b>19**</b>	5	16	13	17	0,80	1,79
<b>26*</b>	16	16	13	21	0,55	2,21

Im Folgenden sollen zunächst grundlegende einfache und deskriptive Vergleiche des Zuwachsverlaufs der Jahrringbreiten gegeben werden. Die Daten wurden zunächst noch nicht nach der Methode BECK (2007) indiziert.

#### Deskriptive Darstellung der Ergebnisse der Jahrringanalyse

Die Auswertung der Jahrringanalyse ergab über alle Bäume und Altersstufen und Freistellungsvarianten einen mittleren Jahrringzuwachs von 1,48 mm. Es wurde ein maximaler Jahrring von 6,24 mm im Stammfußbereich bei einem stark freigestellten Baum im Jahr 2002 in der Fichtenaltersstufe 26 gemessen. Den geringsten Jahrring von 0,48 mm hatte eine nicht freigestellte Vogelbeere in der Fichtenaltersstufe 26 im Jahr 2003 im Stammfußbereich ausgebildet. Die komplette Auflistung der deskriptiven Statistik der Jahrringmesswerte findet sich im Anhang IIa-c.

Abbildung 63a-d zeigt zur Übersicht und zum Vergleich einen mittleren Verlauf des Zuwachses innerhalb der verschiedenen Stammbereiche für die Jahre 1998 bis 2003. Die Daten sind nach den beiden untersuchten Fichtenaltersstufen getrennt. Die drei Freistellungskategorien wurden zusammengefasst, indem nur zwischen den freigestellten und nicht freigestellten Versuchsbäumen unterschieden wird.



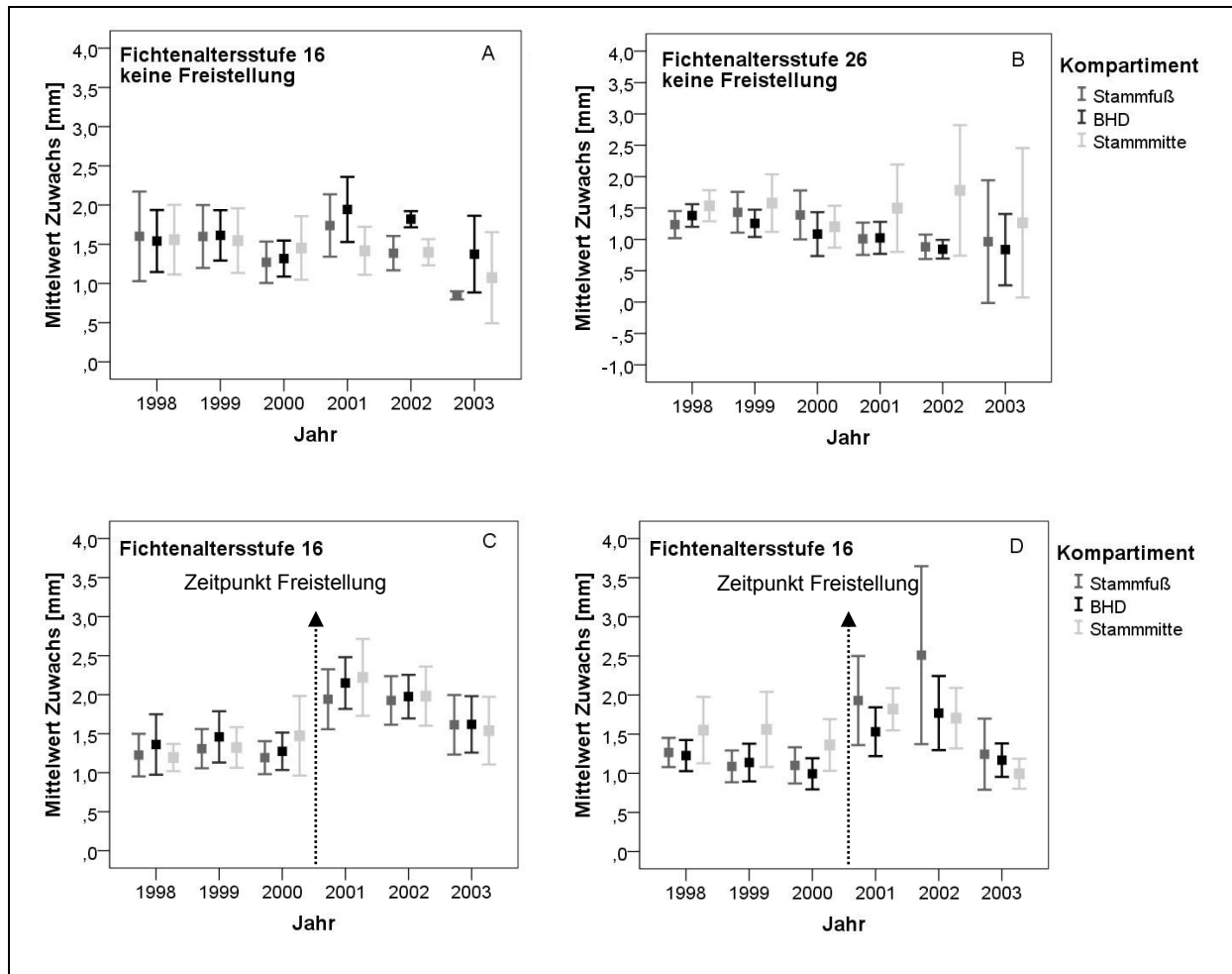


Abb. 63a-d: Darstellung des mittleren Jahrringzuwachses der nicht freigestellten und freigestellten Probeebäume aus den Stammbereichen Stammfuß, BHD und Stammmitte über die Jahre 1998 bis 2003, aufgeteilt nach Fichtenaltersstufen (mittlerer Zuwachs in mm, Whiskers stellen das Konfidenzintervall für den Mittelwert dar).

Insgesamt erscheint der mittlere Zuwachs zwischen den Jahren 1998 bis 2000 in allen untersuchten Varianten relativ ausgeglichen (zwischen 1,3 mm und 1,6 mm). Nur in der Fichtenaltersstufe 26 zeigt die Stammmitte bis zum Zeitpunkt der Freistellung tendenziell eine höhere Zuwachsleistung in den untersuchten Varianten. Ab dem Zeitpunkt der Freistellung haben alle Kompartimente in beiden Altersstufen einen deutlich erhöhten Zuwachs, wobei der Stammfuß die höchsten Werte besitzt. Auch bei den nicht freigestellten Bäumen ist ab dem Zeitpunkt der Freistellung ein erhöhter Zuwachs bei der Stammmitte zu verzeichnen. Ab dem Jahr 2002 fallen die Werte bei allen Stammkompartimenten wieder ab. Nur in der Fichtenaltersstufe 26 bleiben die Werte der Stammmitte bei den nicht freigestellten Bäumen bis zum Jahr 2003 höher als die Werte der anderen Kompartimente, dies aber auch mit einer vergleichsweise hohen Streuung. Bei den freigestellten Bäumen der Altersstufe 26 sind es die Zuwachswerte im BHD-Bereich, die im Jahr 2002 auffallend hoch (2,5 mm) sind, aber auch eine hohe Streuung aufweisen.

Darstellung der Ergebnisse für die Ermittlung des Jahrringindexes nach BECK

Abbildung 64a-c zeigt den Verlauf des errechneten relativen Durchmessers (BHD) der Probebäume über das gesamte Bestandesleben hinweg. Aufgrund der verhältnismäßig geringen Probebaumanzahl wird hier zur Verdeutlichung nur die Aufteilung „freigestellt“ und „nicht freigestellt“ getroffen, und nicht nach den drei Freistellungsvarianten unterschieden. Zu beachten ist, dass die Kurve jeweils im Jahr der Probebaumfällung bei 1,0 (100 % Durchmesser zum Fällungszeitpunkt) enden und zusammenlaufen muss.

Insgesamt können in der Fichtenaltersstufe 16 die Durchmesserverläufe der nicht freigestellten Bäume als relativ ausgeglichen bezeichnet werden (Abb. 64a). Ab dem Jahr 1998 treten bei einigen Bäumen leichte Wachstumsschwankungen auf. In der Fichtenaltersstufe 26 hat es im Jahr 1996 ebenfalls Schwankungen gegeben (Abb. 64c). Die Probebäume waren zu diesem Zeitpunkt zwischen 6 und 9 Jahre alt.

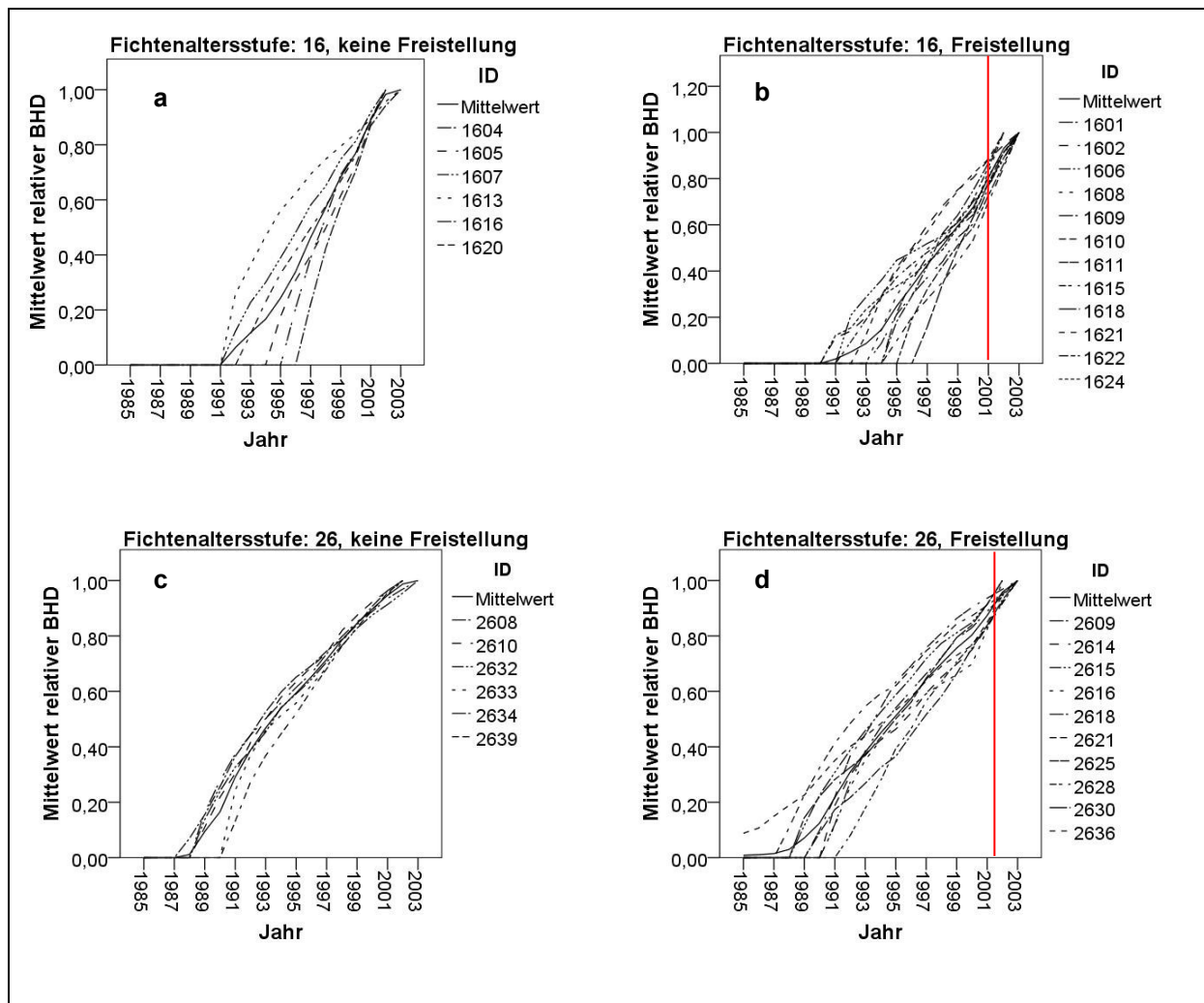


Abb. 64a-d: Darstellung des relativen Durchmesserverlaufs der Probebäume innerhalb der Fichtenaltersstufen 16 und 26, unterteilt nach freigestellten und nicht freigestellten Bäumen (die rote Linie zeigt den Zeitpunkt der Freistellung).

Bei den freigestellten Bäumen ist der Zeitpunkt der Freistellung dagegen deutlich zu erkennen. Dies trifft sowohl für die Vogelbeeren der Fichtenaltersstufe 16 (Abb. 64b) als auch der Fichtenaltersstufe 26 zu (Abb. 64d). In der Fichtenaltersstufe 16 sind bei einigen Bäumen über das gesamte Bestandesleben Auffälligkeiten im Wachstumsverlauf zu erkennen (so z.B. Probebaum ID 1624). Die Ergebnisse der vorgelagerten Rechenschritte zur Ermittlung des Jahrringindex, wie z.B. die AR-1 Korrelationen, finden sich im Anhang III grafisch dargestellt.

Abbildung 65 und 66 zeigen den mittleren Verlauf des errechneten Jahrringindex nach BECK (2007).

Insgesamt zeigt sich in der Fichtenaltersstufe 16 ein ausgeglichener Wachstumstrend bis zum Zeitpunkt der Freistellung im Frühjahr 2001. Nach der experimentellen Freistellung ist dann auffallend, dass offensichtlich alle untersuchten Probebäume eine erhöhte Zuwachsreaktion zeigen. Dies betrifft sowohl die freigestellten als auch die nicht freigestellten Bäume. In der Fichtenaltersstufe 26 reagieren nur die freigestellten Probebäume deutlich. Insgesamt scheint der Verlauf des Jahrringindex für die Probebäume der Fichtenaltersstufe 26 aber einem Abwärtstrend zu unterliegen.

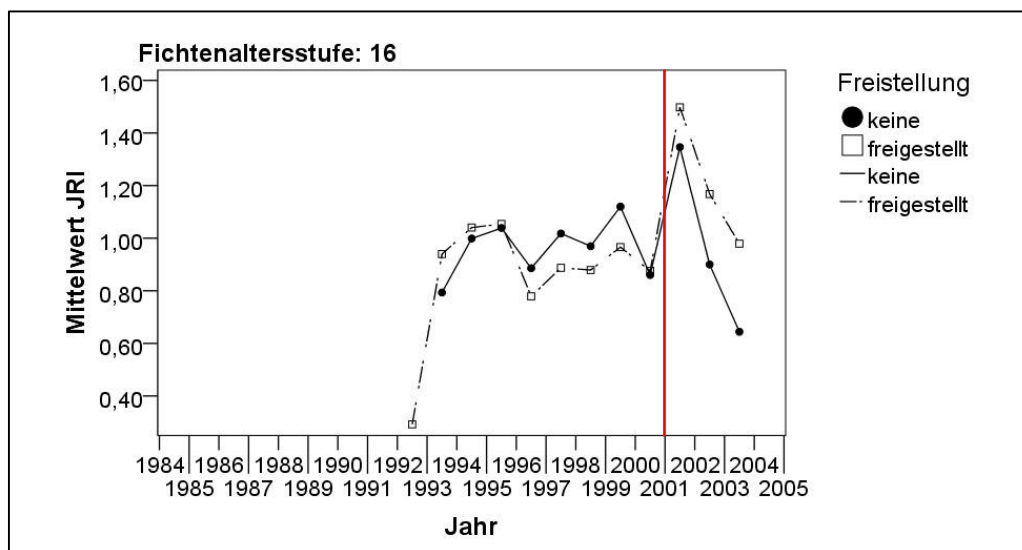


Abb. 65: Mittlerer Verlauf des Jahrringindex (JRI) in der Fichtenaltersstufe 16 für freigestellte und nicht freigestellte Vogelbeer-Probabäume

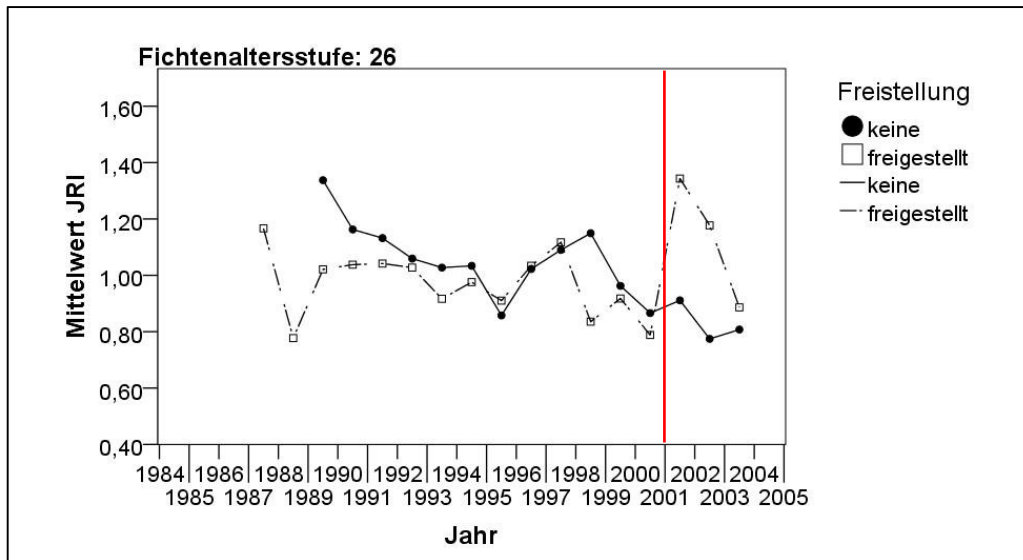


Abb. 66: Mittlerer Verlauf des Jahrringindexes (JRI) in der Fichtenaltersstufe 26 für freigestellte und nicht freigestellte Vogelbeer-Probeebäume

Um einen Einfluss der Faktoren Fichtenaltersstufe und Freistellung (freigestellt und nicht freigestellt) auf die Ausprägung der Jahrringe statistisch absichern zu können, wurden die Werte des Jahrringindexes drei Vegetationsperioden vor und drei Vegetationsperioden nach der Freistellung vergleichend in eine Berechnung einbezogen. Da die Indexwerte von Autokorrelation befreit sind, kann angenommen werden, dass es sich hier um unabhängige Stichproben handelt.

Die Daten sind unter allen betrachteten Faktorstufen nicht normalverteilt. Daher wurde ein nichtparametrischer Test (Mann-Whitney-U-Test) eingesetzt, um die Unterschiede der Jahrringindizes zwischen den im Jahr 2001 freigestellten und den nicht freigestellten Versuchsbäumen sowie zwischen den betrachteten Zeiträumen auf Signifikanz überprüfen zu können. Abbildung 67a und b zeigt die Ausprägung der Daten innerhalb der untersuchten Gruppen. In der Fichtenaltersstufe 16 konnte ein signifikanter Unterschied der Indizes der freigestellten Bäume zwischen den betrachteten Zeiträumen gefunden werden ( $p = 0,002$ ; Mann-Whitney-U-Test). Demnach zeigten die Bäume, welche eine Freistellungsbehandlung erfuhren, auch höhere Jahrringindizes (innerhalb der drei Vegetationsperioden nach der Freistellungsbehandlung). Dieses Muster wiederholte sich auch in der Fichtenaltersstufe 26 für die freigestellten Bäume ( $p = 0,003$ ; Mann-Whitney-U-Test). Zudem waren die Indizes zwischen den freigestellten und nicht freigestellten Versuchsbäumen nach der Freistellungsbehandlung ebenfalls signifikant höher ( $p = 0,004$ ; Mann-Whitney-U-Test). Für alle anderen Kombinationen konnten keine signifikanten Unterschiede gefunden werden, was speziell für die Indizes vor der Freistellungsbehandlung (innerhalb der drei Vegetationsperioden vor der Freistellungsbehandlung) erwartet wurde.

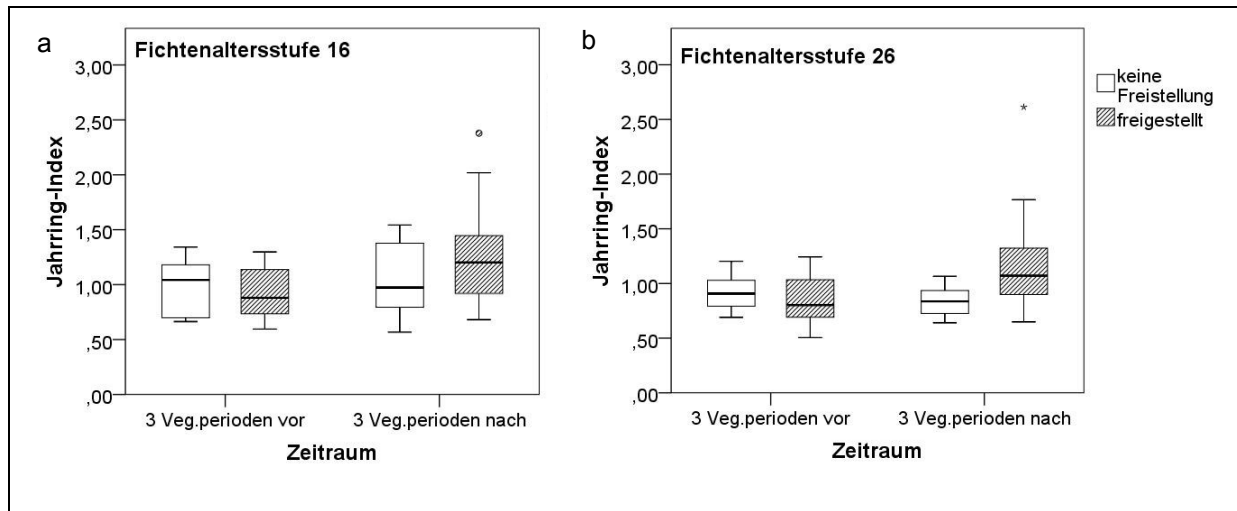


Abb. 67a-b: Ausprägung des Jahrring-Indexes 3 Vegetationsperioden vor und nach 3 Vegetationsperioden nach der Freistellung für die freigestellten und nicht freigestellten Bäume der Fichtenaltersstufen 16 (A) und 26 (B); (Mann-Whitney-U-Test: Fichtenaltersstufe 16, a:  $p = 0,416$ , b:  $p = 0,206$ , c:  $p = 0,705$ , d:  $p = 0,002^{**}$ ; Fichtenaltersstufe 26, a:  $p = 0,326$ , b:  $p = 0,004^{**}$ , c:  $p = 0,231$ , d:  $p = 0,003^{**}$ )

### 3.2.3.1.3 Stammform und -volumen

#### HD-Werte und Formquotienten

Die Probebäume im Versuchsdesign zeichneten sich vor der experimentellen Freistellung durch hohe HD-Werte aus. Im Mittel liegen die Werte bei 138. Der kleinste Wert betrug 66 (Fichtenaltersstufe 19) und der höchste 204 (Fichtenaltersstufe 16). Das Alter des Fichtenbestandes hat einen deutlichen Einfluss auf die Ausprägung der HD-Werte (Abb. 68; Alter:  $p = 0,000$ ; ANOVA). Mit zunehmendem Alter verringern sich die HD-Werte. Auffallend sind auch hier wieder, wie bei den anderen untersuchten Wachstumsparametern, die Werte der Probebäume im 19-jährigen Fichtenbestand. Die Vogelbeeren in dieser Fichtenaltersstufe haben im Mittel einen HD-Wert von 92 und unterscheiden sich von allen anderen Altersstufen signifikant (Tab. 48; jeweils Scheffé-Prozedur). Weitere statistisch nachweisbare Unterschiede existieren zwischen der Fichtenaltersstufe 26 und 32 ( $p = 0,004$ ).

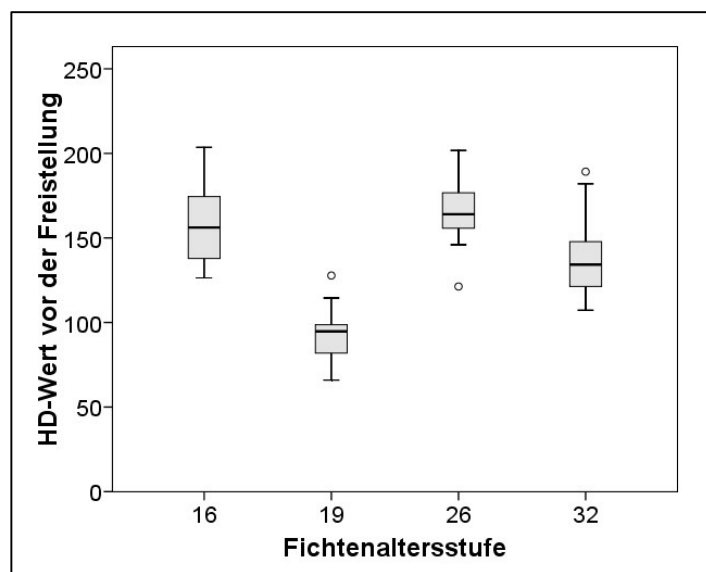


Abb. 68: Einfluss des Alters der Fichtenbestände auf die HD-Werte der Vogelbeeren vor Beginn der experimentellen Freistellung (ANOVA: Fichtenaltersstufe:  $p = 0,000$ , Levene:  $p = 0,201$ )

Tab. 48: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Fichtenaltersstufe auf die HD-Werte vor der Freistellung (angegeben sind die Signifikanzniveaus  $p > 0,05$  nicht signifikant, \*  $p \leq 0,05$  signifikant)

Fichtenaltersstufe	16	19	26	32
16		0,000	0,755	0,057
19	0,000		0,000	0,000
26	0,755	0,000		0,004
32	0,057	0,000	0,004	

Die Ausprägung der HD-Werte nach 2 und 3 Vegetationsperioden zeigt Abbildung 69a und b. Der Einfluss der Faktoren Fichtenaltersstufe und Freistellungsvariante wurde mit Hilfe der Prozedur ALM/UNIANOVA untersucht. Der Faktor Konkurrenzsituation wurde aus dem Modell verwendet, da sonst die Voraussetzungen zur Berechnung des Modells für beide untersuchten Werte bzw. Zeiträume nicht gegeben waren (Die Homogenität der Varianzen hätte in diesem Fall aufgrund einer zu geringen Zellbesetzung nicht geprüft werden können.). Das Modell ist in beiden Fällen signifikant ( $p = 0,000$ ), jedoch sind die Varianzen für die HD-Werte nach 3 Vegetationsperioden nicht gleichverteilt ( $p = 0,027$ ), daher kann nur für die HD-Werte nach 2 Vegetationsperioden gefolgert werden, dass diese signifikant von der Freistellungsvariante und der Fichtenaltersstufe beeinflusst worden sind. Die Wechselwirkung zwischen der Freistellungsvariante und der Fichtenaltersstufe ist nicht signifikant ( $p = 0,504$ ). Tabelle 49 zeigt detailliert das Ergebnis der Posthoc-Prozedur nach Scheffé für den alleinigen Einfluss der Fichtenaltersstufe auf die HD-Werte nach 2 Vegetationsperioden. Die Fichtenaltersstufe 19 behält in diesem untersuchten Zeitraum die geringsten HD-Werte. Diese unterscheiden sich signifikant zu allen anderen Fichtenaltersstufen. Weiterhin unterscheiden sich die Fichtenaltersstufen 26 und 32, bei denen sowohl nach zwei und auch nach drei Vegetationsperioden die Altersstufe 26 die höheren HD-Werte aufweist.

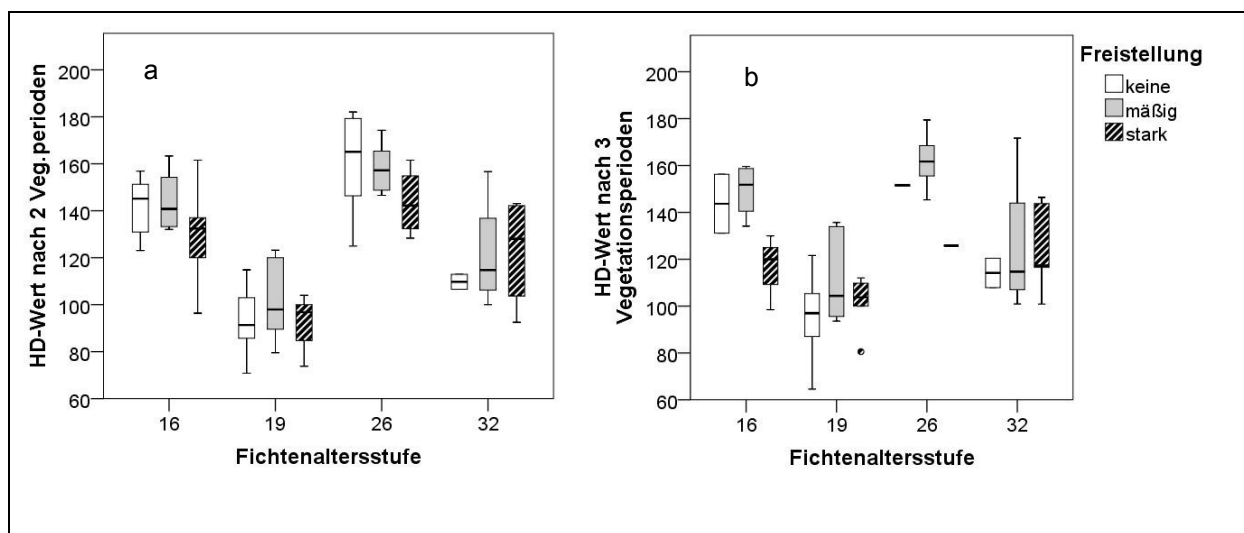


Abb. 69a-b: HD-Werte der Probestämme nach (A) 2 und (B) 3 Vegetationsperioden in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe und der Freistellungsvariante. (ALM / UNIANOVA; nach 2 Vegetationsperioden:  $R^2 = 0,706$  (korr.  $R^2 = 0,640$ ), Modell:  $p = 0,000$ , Konstanter Term:  $p = 0,000$ , Freistellungsvariante:  $p = 0,230$ , Fichtenaltersstufe:  $p = 0,000$ , Freistellungsvariante x Fichtenaltersstufe:  $p = 0,722$ , Levene-Test:  $p = 0,162$ ; nach 3 Vegetationsperioden:  $R^2 = 0,676$  (korr.  $R^2 = 0,567$ ), Modell:  $p = 0,000$ , Konstanter Term:  $p = 0,000$ , Freistellungsvariante:  $p = 0,025$ , Fichtenaltersstufe:  $p = 0,000$ , Freistellungsvariante x Fichtenaltersstufe:  $p = 0,429$ , Levene-Test:  $p = 0,027$ )

Tab. 49: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Fichtenaltersstufe auf die HD-Werte der Vogelbeeren (angegeben sind die Signifikanzniveaus  $p > 0,05$  nicht signifikant, \*  $p \leq 0,05$  signifikant)

HD-Werte nach 2 Vegetationsperioden

Fichtenaltersstufe	16	19	26	32
16				
19	0,000			
26	0,043	0,000		
32	0,112	0,013	0,000	

Die Freistellungsvariante beeinflusste die Ausprägung der HD-Werte erst nach drei Vegetationsperioden (Abb. 70a und b). Dies lässt sich signifikant nachweisen, wenn man die Freistellungsvariante als alleinigen Einflussfaktor in ein Modell einbezieht (ANOVA,  $p = 0,018$ ). Die Bäume in der mäßigen Freistellungsvariante haben hierbei die höchsten HD-Werte ausgebildet und unterscheiden sich signifikant zur starken Freistellungsvariante ( $p = 0,038$ ; Tab. 50).

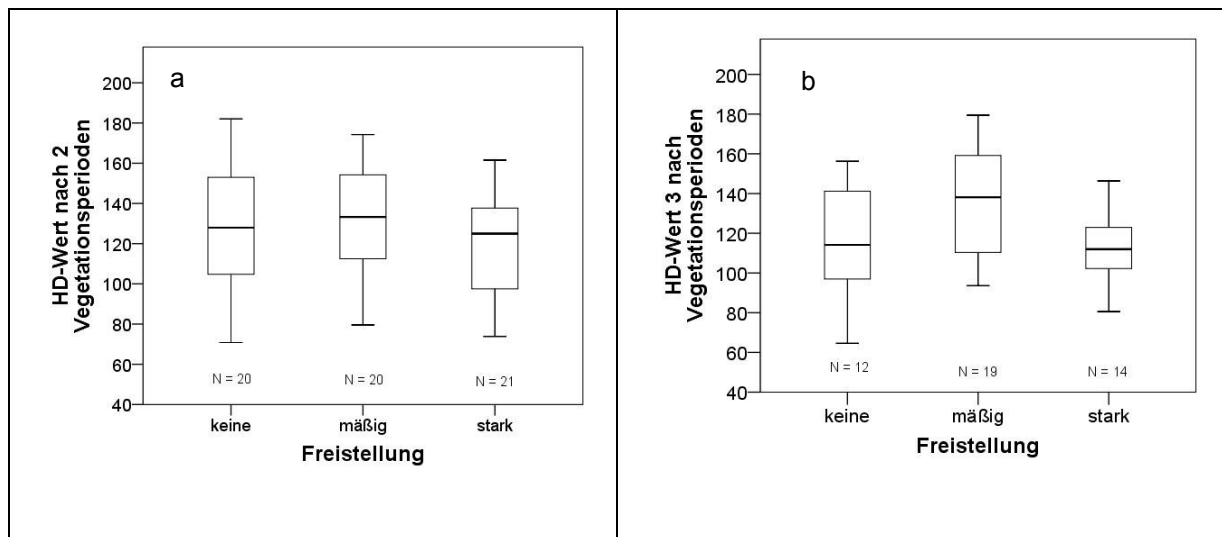


Abb. 70a-b: HD-Werte der Probestämme nach (a) 2 und (b) 3 Vegetationsperioden in Abhängigkeit der Freistellungsvariante (ANOVA; nach 2 Vegetationsperioden: Freistellungsvariante:  $p = 0,373$ , Levene-Test:  $p = 0,495$ ; nach 3 Vegetationsperioden: Freistellungsvariante:  $p = 0,018$ , Levene-Test:  $p = 0,163$ )

Tab. 50: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den HD-Wert der Vogelbeeren nach Freistellung (angegeben sind die Signifikanzniveaus  $p > 0,05$  nicht signifikant, \*  $p \leq 0,05$  signifikant)

HD-Werte nach 3 Vegetationsperioden

Freistellungsvariante	keine	mäßig	stark
keine			
mäßig	0,082		
stark	0,976	0,038	



### Stammvolumen

Das Volumen der Probestämme wurde nach zwei unterschiedlichen Formeln berechnet (Volumenfunktion nach HILLEBRAND (1998) und einfache Volumenfunktion). Die Ergebnisse der zwei Berechnungsmethoden sollen im Folgenden vergleichend dargestellt werden.

Abbildung 71 stellt die beiden Varianten der berechneten Volumenwerte in Abhängigkeit vom BHD dar. Zunächst weichen die Ergebnisse der beiden Methoden bis zu einem BHD von ca. 8 cm nur gering voneinander ab. Mit einem BHD von 8 cm erzeugt die einfache Volumenfunktion höhere Schätzwerte. Die Differenzspanne erhöht sich nochmals ab einem BHD von 11 cm.

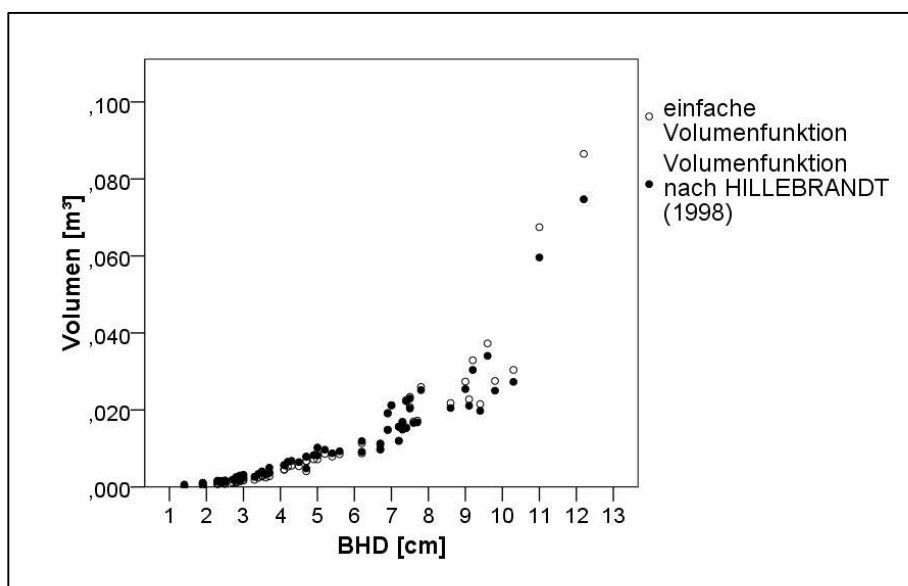


Abb. 71: Ergebnisse der einfachen Volumenformel und der Volumenfunktion nach HILLEBRAND (1998) in Abhängigkeit des BHDs

Abbildung 72 zeigt den detaillierten Verlauf der Differenzen zwischen den beiden Volumeberechnungen unter Berücksichtigung des BHDs. Es wurde jeweils das Ergebnis der Funktion nach HILLEBRAND (1998) von dem Ergebnis der einfachen Volumenformel abgezogen.

Bis zu einem BHD von 7 cm liegen die Differenzen im negativen Bereich, d.h. mit der einfachen Volumenfunktion werden geringere Volumenwerte geschätzt, als mit der Funktion nach HILLEBRAND (1998). Die Differenzen bewegen sich maximal bis  $-0,001 \text{ m}^3$ . Ab einem BHD von 7 cm sind positive Differenzen zu verzeichnen, d.h. das Modell nach HILLEBRAND (1998) schätzt ab dieser BHD-Dimension höhere Volumenwerte als die einfache Volumenformel. Die Spanne der Schätzungen zwischen beiden Modellen steigt bis zu einem Maximum von  $0,011 \text{ m}^3$  bei 12 cm BHD an.

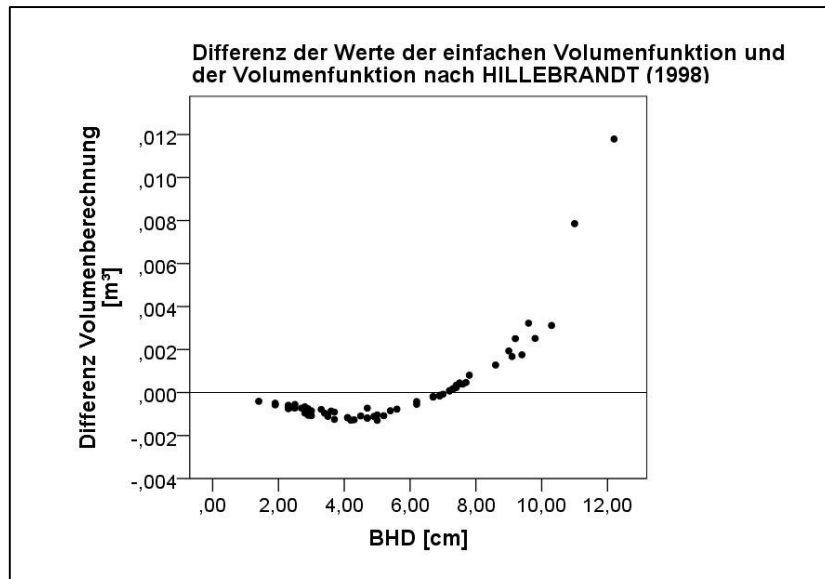


Abb. 72: Differenz der Ergebnisse der einfachen Volumenformel und der Volumenfunktion nach HILLEBRANDT (1998)

Der prozentuale Volumenzuwachs der Probestämme im Versuchsdesign wurde mit den Ergebnissen der Volumenfunktion nach HILLEBRANDT (1998) bestimmt. Ein Einfluss der Faktoren auf den prozentualen Volumenzuwachs konnte nicht nachgewiesen werden. Keines der untersuchten Modelle war signifikant. Signifikante Unterschiede für die Daten des prozentualen Volumenzuwachses konnten nur zwischen den Fichtenaltersstufen gefunden werden (Abb. 73a und b). Insgesamt nimmt der prozentuale Volumenzuwachs mit zunehmender Fichtenaltersstufe ab. Dabei sind die Werte in der Fichtenaltersstufe 19 geringer als die Werte in den anderen Altersstufen. Nach zwei Vegetationsperioden unterscheiden sich fast alle Mittelwerte voneinander. Lediglich die Werte der Stufe 32 unterscheiden sich nicht signifikant zu den Stufen 19 ( $p = 0,140$ ) und 26 ( $p = 0,070$ ; Tab. 51a). Nach drei Vegetationsperioden gibt es nur zwischen den Stufen 26 und 32 keine signifikanten Unterschiede ( $p = 0,656$ , Tab. 51b).

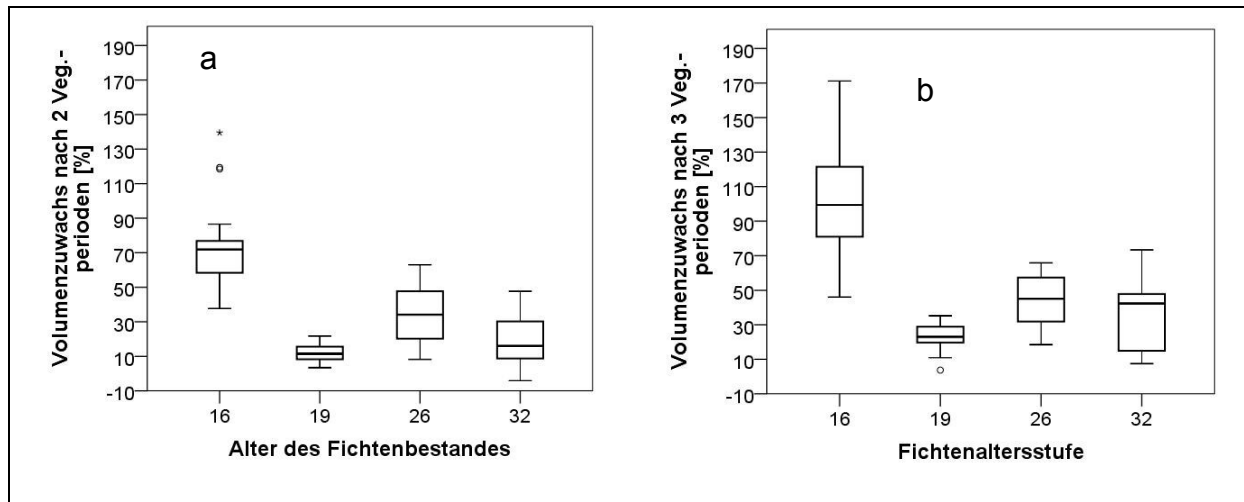


Abb. 73a-b: Verlauf des prozentualen Zuwachses nach (a) 2 und nach (b) 3 Vegetationsperioden (Volumenberechnung nach Funktion nach HILLEBRAND (1998); ANOVA; nach 2 Vegetationsperioden: Levene-Test:  $p = 0,005$ ; nach 3 Vegetationsperioden: Levene-Test:  $p = 0,004$ )

Tab. 51a-b: Ergebnisse der T-Tests für den Volumenzuwachs der Vogelbeeren in Abhängigkeit von der Fichtenaltersstufe (angegeben sind die Signifikanzniveaus  $p > 0,05$  nicht signifikant,  $* p \leq 0,05$  signifikant)

(a) Volumenzuwachs nach 2 Vegetationsperioden

Fichtenaltersstufe	16	19	26	32
16				
19	0,000			
26	0,000	0,000		
32	0,000	0,140	0,070	

(b) Volumenzuwachs nach 3 Vegetationsperioden

Fichtenaltersstufe	16	19	26	32
16				
19	0,000			
26	0,001	0,007		
32	0,000	0,039	0,656	

### Holzdicke

Zur Bestimmung der Holzdicke wurden Stammholzproben aus Referenz- und Probebäumen im Bereich des Stammfußes, aus der Stammmitte (d.h. bei halber Baumlänge) und der Baumspitze bzw. dem Terminaltrieb entnommen. Die Proben wurden im Labor nochmals in den Kern- und Splintbereich aufgeteilt. Bei der Baumspitze konnte aufgrund des geringen Durchmessers keine Unterteilung nach Kern- und Splintholz erfolgen. Die Holzproben der Baumspitze wurden daher immer dem Splintholz zugeteilt.

Jeweils 25 Holzproben je Kompartiment bildeten die Datengrundlage zur Auswertung der Holzdicke. Tabelle 52 gibt einen Überblick über Mittelwerte, Minima, Maxima und die Streumaße der ermittelten Daten. Es ergibt sich ein Gesamtmittelwert von 0,64 g/cm<sup>3</sup> Holzdicke über alle untersuchten Probe- und Referenzbäume.

Tab. 52: Mittelwert, Minima, Maxima und Streumaße der Holzdicke aus den Stammkompartimenten Stammfuß, Stammmitte und Baumspitze, aufgeteilt nach Splint- und Kernholz

<b>Holzdicke [g/cm<sup>3</sup>]</b> <b>Kompartiment</b>	<b>N</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardfehler</b>	<b>Standardabweichung</b>
Stammfuß- Kern	25	0,58	0,71	0,64	0,008	0,039
Stammfuß- Splint	25	0,53	0,72	0,64	0,011	0,053
Stammmitte-Kern	25	0,47	0,73	0,60	0,012	0,059
Stammmitte-Splint	25	0,48	0,69	0,61	0,009	0,045
Baumspitze	25	0,44	0,82	0,69	0,018	0,091
<b>Gesamt</b>	<b>125</b>	<b>0,44</b>	<b>0,82</b>	<b>0,64</b>	<b>0,006</b>	<b>0,068</b>

Die Daten konnten in den meisten Fällen nicht auf den Einfluss der Faktoren Freistellung, Konkurrenzsituation und Fichtenaltersstufe getestet werden. Die Voraussetzungen für ein entsprechendes Modell waren jeweils nicht gegeben. Im Falle der Daten der Holzproben aus dem Kernholz der Stammmitte war dies zwar der Fall, aber das entsprechend berechnete Modell erwies sich als nicht signifikant.

Die Mittelwerte der verschiedenen Kompartimente wurden daraufhin gegeneinander getestet (Tab. 53). Dabei unterscheiden sich die Werte des Kern- und Splintholzes im Stammfuß nicht signifikant voneinander (T-Test für abhängige Stichproben,  $p = 0,680$ ). Ebenso unterscheiden sich Kernholz und Splintholz in der Stammmitte nicht signifikant (T-Test für abhängige Stichproben,  $p = 0,445$ ). Alle weiteren Kompartimente unterscheiden sich signifikant.

In Abbildung 74a und b sind die Verhältnisse und Unterschiede für die Datenwerte der Holzdicke im Kernholz (Abb. 74a) und im Splintholz (Abb. 74b) nochmals grafisch dargestellt.

Tab. 53: Ergebnisse des einfachen T-Tests für abhängige (gepaarte) Stichproben zur Unterscheidung der Holzdicke zwischen den Kompartimenten und dem Kern- und Splintholzbereich der Holzproben des Stammes

	Stammfuß- Kernholz	Stammfuß- Splintholz	Stammmitte- Kernholz	Stammmitte- Splintholz	Baumspitze (Splintholz)
Stammfuß- Kernholz					
Stammfuß- Splintholz	0,680				
Stammmitte- Kernholz	0,003	0,010			
Stammmitte- Splintholz	0,004	0,026	0,445		
Baumspitze (Splintholz)	0,007	0,008	0,000	0,000	

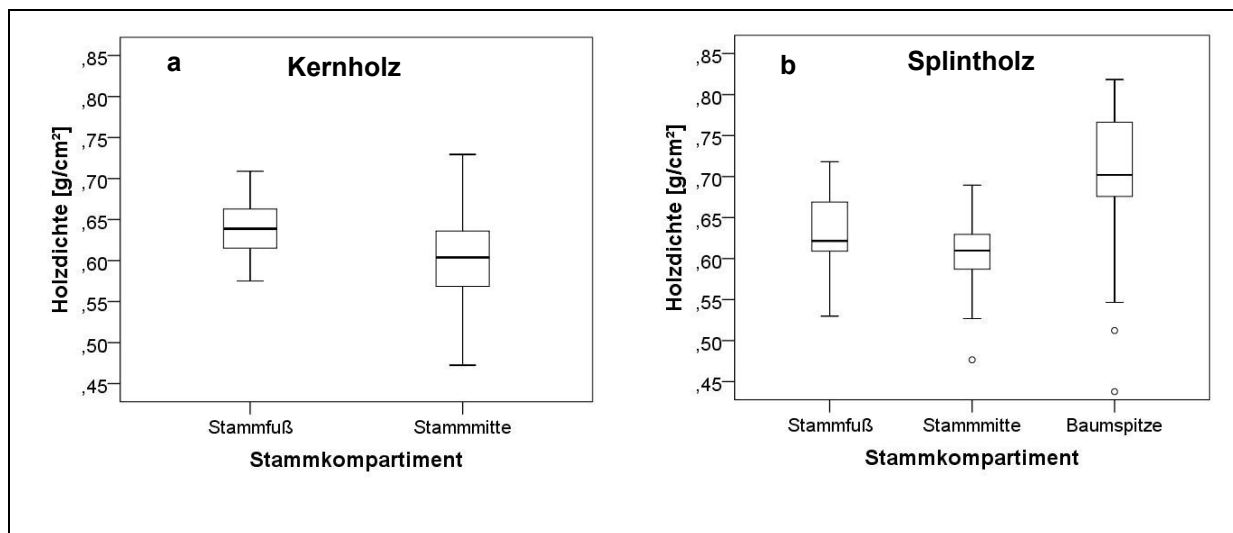


Abb. 74a-b: Vergleich der Holzdicke im Kernholzbereich (a) und Splintholzbereich (b) der Kompartimente Stammfuß und Stammmitte (T-Test bei abhängigen Stichproben)

### 3.2.3.2 Kronendimensionen und Primärastwachstum

#### Kronendimensionen

Zur Erfassung der Kronendimensionen wurden die Parameter Kronenschirmfläche, Kronenradius und Kronenlänge an den Probebäumen im Versuchsdesign ermittelt. Zur Berechnung der Kronenschirmfläche wurde das Teilkreismodell mit 8 Radien nach RÖHLE und HUBER (1985) benutzt. Dazu werden immer zwei benachbarte Radien gemittelt und mit dem Mittelwert eine Teilkreisfläche berechnet. Die 8 ermittelten Teilkreisflächen werden anschließend zur gesamten Kronenschirmfläche aufsummiert. Der Kronenradius wurde aus dem Mittelwert der acht gemessenen Kronenradien abgeleitet. Zur Bestimmung der Kronenlänge wurde der Kronenansatz auf Stammhöhe des ersten Grünastes ausgemessen. Die Kronenlänge ergibt sich aus der Differenz der Baumhöhe und der Kronenansatzhöhe.

Für die Analyse des Astwachstums wurden an den gefälltten Probebäumen jeweils 2 Äste aus der Schattenkrone und 2 Äste aus der Lichtkrone entnommen. Die Auswahl dieser Äste geschah mit Hilfe des Programmes BRANCH während der Durchführung des RBS-Stichprobenverfahrens ZoZ (s. Kapitel 2.2.2.5.5).

An diesen Probeästen wurden die Triebhöhen der vergangenen Jahre (möglichst bis zum Jahr 2000) ermittelt. Dazu wurden die Längen zwischen den Triebbasisnarben der Äste vermessen. Die Biomasse der Primäräste wurde anschließend im Labor bestimmt. Für die Biomassebestimmung stand auch Datenmaterial von Referenzbäumen zur Ergänzung zur Verfügung.

#### 3.2.3.2.1 Kronenschirmfläche und Kronenradius

##### Allgemein

Die Kronenschirmflächen sind in der ersten Vegetationsperiode nach der Freistellung gemessen worden. Für den Ausgangszustand der Kronenschirmfläche vor der Freistellung gibt es keine Werte. Abbildung 75a bis c zeigt deskriptiv und vergleichend die Veränderung der Kronenschirmfläche für einige ausgewählte Probebäume vor (jeweils schwarze Linie) und zwei Vegetationsperioden nach der Freistellung (jeweils rote Linie). Weiterhin wird das Ergebnis der prozentualen Zu- oder Abnahme der Kronenschirmfläche, errechnet mit Hilfe des Teilkreismodells, dargestellt. Der Baum Nr. 2616 in der Fichtenaltersstufe 26 wird wiederholt

dargestellt und dazu immer vergleichend ein Baum in anderer Konkurrenzsituation, Freistellungsvariante oder Fichtenaltersstufe herangezogen.

Der Baum Nr. 2616 wurde stark freigestellt und ist vor der Freistellung einer hohen Konkurrenzsituation ausgesetzt gewesen. Nach zwei Vegetationsperioden war eine Zunahme der Kronenschirmfläche von 141 % zu verzeichnen (jeweils rote Linie in der Abbildung). Es formte sich eine längliche Krone aus, welche schwerpunktmäßig nach SW und NO ausgelagert war. Insgesamt kann die Krone bezüglich ihrer Position zur Stammmitte aber als ausgeglichener, als vor der Freistellung (Schwerpunkt nur zwischen SW, S, SO und O), beschrieben werden.

Im Vergleich wurde der Baum mit der Nummer 2610 aus der Fichtenaltersstufe 26 nicht freigestellt (Abb. 75a). Die Kronenschirmfläche dieses Baumes hat sich nach zwei Vegetationsperioden nicht erweitert. Es war sogar ein negatives Wachstum von -25 % zu verzeichnen, d.h. es hat eine fortschreitende Kroneneinengung stattgefunden.

Der Baum Nr. 2630 (Abb. 75b) stockte in einer schwachen Konkurrenzsituation. Er hatte eine relativ regelmäßige Kronenschirmfläche, welche sich auch nach schwacher Freistellung weiterhin regelmäßig in fast alle Himmelsrichtungen mit ca. 80 % Zunahme ausgedehnt hat.

Dies trifft auch für Baum Nr. 1608 in der Fichtenaltersstufe 16 zu. Er befand sich in einer starken Konkurrenzsituation und konnte bei starker Freistellung seine Krone nach zwei Vegetationsperioden weiterhin mit 104 % Zunahme relativ regelmäßig ausbilden.

Es wird deutlich, dass die Veränderung der Kronenschirmfläche nach einer Freistellung bezüglich der Himmelsrichtungen sehr variabel sein kann und in der Regel von hohen Zuwachsraten gekennzeichnet ist (im Beispiel fast alle über 100 %).

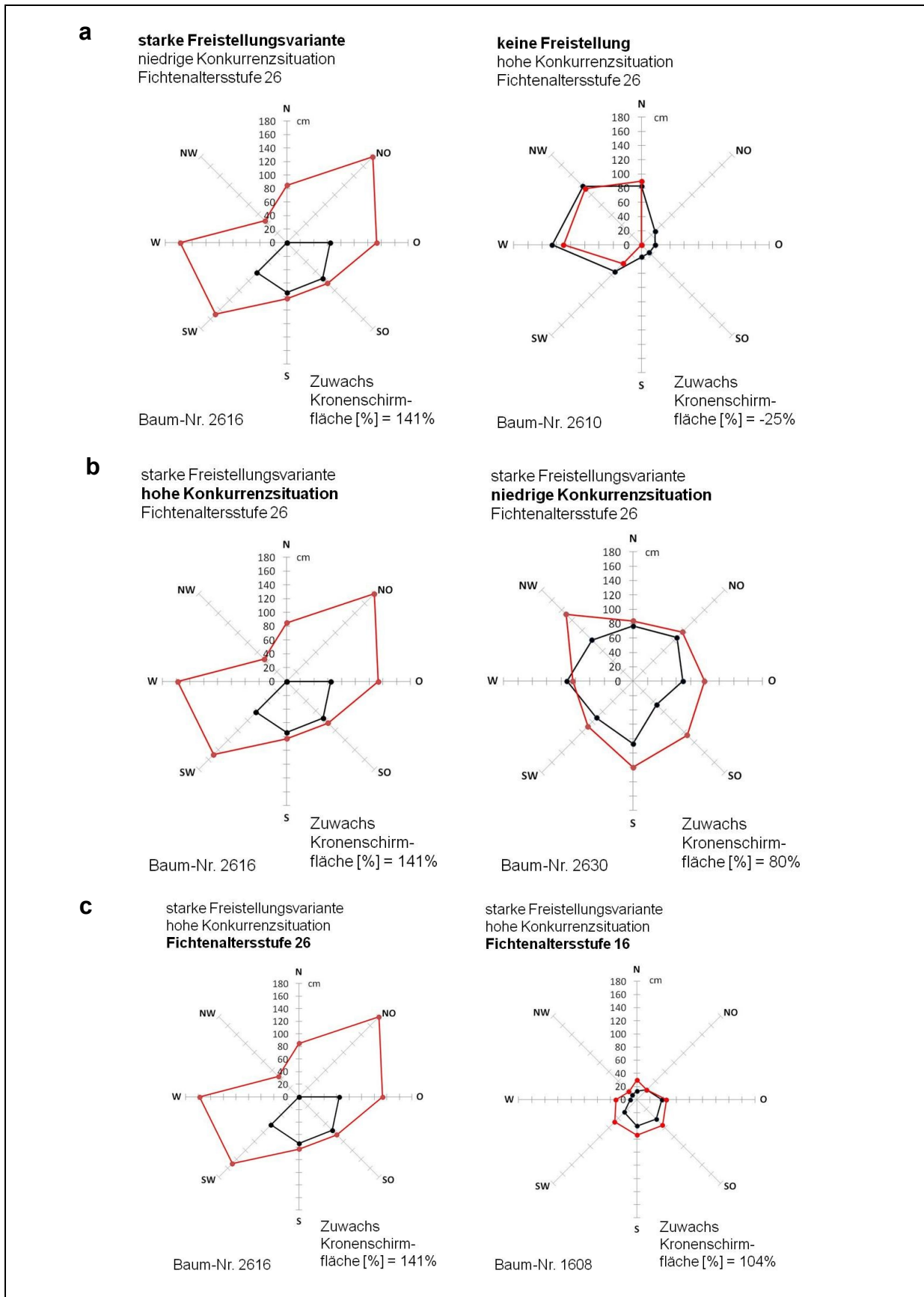


Abb. 75a-c: Gegenüberstellung von Kronenschirmflächen der Versuchsbäume aus verschiedenen Konkurrenzsituationen, — Freistellungsvarianten und — Fichtenaltersstufen mit Angabe des prozentualen Kronenschirmflächenzuwachses (nach Teilkreismodell berechnet) jeweils zwei Vegetationsperioden nach der Freistellung (Kronenfläche vor der Freistellung, Kronenfläche nach der Freistellung)



### Effekt Versuchsdesign

Es konnte kein Effekt der Faktoren Versuchsdesign, Konkurrenzsituation, Freistellungsvariante und Fichtenaltersstufe auf den Kronenschirmflächenzuwachs nachgewiesen werden. Geprüft wurden jeweils der absolute und der relative Zuwachs. Die Daten erfüllen jeweils nicht die Voraussetzungen für eine varianzanalytische Auswertung. Der Levené-Test auf Varianzhomogenität konnte aufgrund einer zu geringen Zellbesetzung nicht berechnet werden. Vor allem die Daten des relativen Kronenschirmflächenzuwachses wiesen sehr hohe Streuungen auf, so dass hier nur eine Auswertung mit den absoluten Daten dargestellt werden soll. Die Normalverteilung der Daten ist in beiden Fällen, für den absoluten und den relativen Zuwachs, nicht für alle Faktorstufen gegeben.

Die Grafiken in Abbildung 76a und b zeigen den Verlauf des absoluten Kronenschirmflächenzuwachses nach zwei Vegetationsperioden (a) und nach drei Vegetationsperioden (b) in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe und Freistellungsvariante (n.s.). Den Abbildungen ist zu entnehmen, dass vor allem die Probestämme der älteren Fichtenaltersstufen mit erhöhtem Zuwachs der Kronenschirmfläche reagieren, wenn sie stark freigestellt werden. Auch hier sind die Datenwerte aber wieder von hohen Streuungen gezeichnet. Nach drei Vegetationsperioden kommen nur noch die Daten der Fichtenaltersstufen 19 und 32 aus den oben genannten Gründen zur Auswertung.

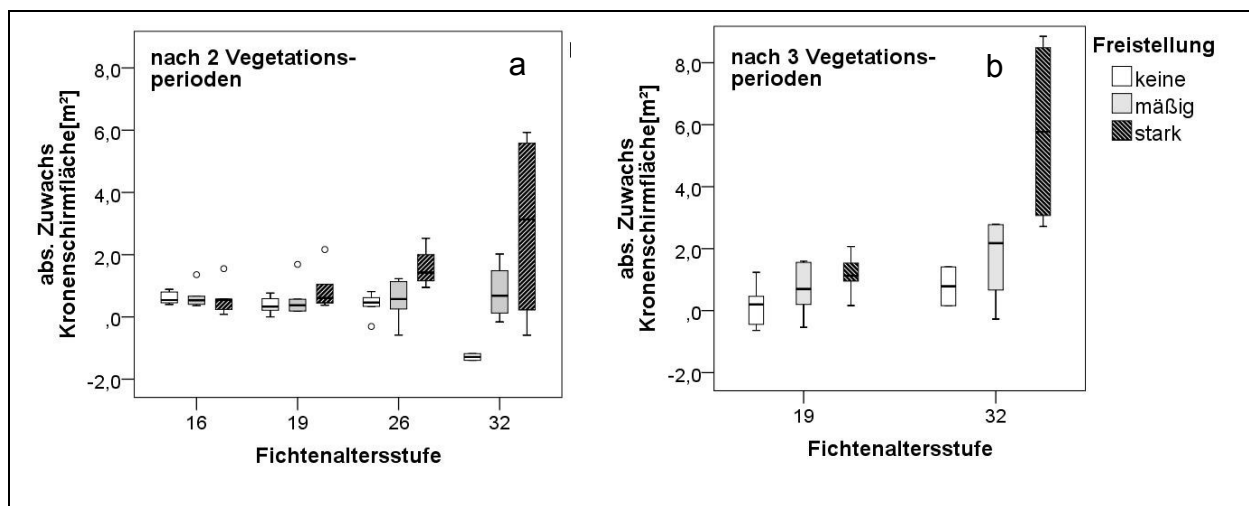


Abb. 76a-b: Absoluter Zuwachs der Kronenschirmfläche nach 2 Vegetationsperioden (a) und nach 3 Vegetationsperioden (b) in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe und der Freistellungsvariante; (a) ALM:  $R^2 = 0,891$  (korr.  $R^2 = 0,759$ ), Modell  $p = 0,000$ , Konstanter Term  $p = 0,000$ , Konkurrenzsituation  $p = 0,001$ , Freistellungsvariante  $p = 0,000$ , Fichtenaltersstufe  $p = 0,021$ , Fichtenaltersstufe x Konkurrenzsituation  $p = 0,000$ , Fichtenaltersstufe x Freistellungsvariante  $p = 0,000$ , Konkurrenzsituation x Freistellungsvariante  $p = 0,138$ , Fichtenaltersstufe x Konkurrenzsituation x Freistellungsvariante  $p = 0,020$ , Levene-Test:  $p = 0,000$ ; (B)  $R^2 = 0,314$  (korr.  $R^2 = 0,009$ ), Modell  $p = 0,449$ , Levene-Test:  $p = 0,001$ )

### Kronenradius

Für die Daten der Kronenradien wurden geringere Streuungen als für die Werte der Kronenschirmfläche erwartet, da der Kronenradius aus dem Mittelwert der acht gemessenen Kronenradien resultiert. Die Daten der Kronenradien waren nur unter den Faktorstufen der Freistellungsvariante normalverteilt. Daher konnte nur für diesen Faktor ein Mittelwertvergleich durchgeführt werden. Nach zwei Vegetationsperioden zeigt sich noch kein deutliches Bild (Abb. 77a). Nur schwach steigen die Daten des Kronenradius mit steigender Freistellungsvariante an. Dabei unterscheiden sich die Varianten „keine“ und „schwache“ Freistellungsvariante signifikant voneinander ( $p = 0,035$ ) und die Varianten „keine“ und „stark“ ( $p = 0,019$ ; jeweils LSD-Prozedur; Tab. 54a). Nach drei Vegetationsperioden ist eine deutlichere Tendenz ersichtlich. Hier steigen die Werte der Kronenradien offensichtlich mit zunehmender Freistellungsstärke an (Abb. 77b). Dennoch sind hier nur die mittleren Werte zwischen „keiner“ und „starker“ Freistellung signifikant voneinander verschieden ( $p = 0,003$ ; LSD-Prozedur; Tab. 54b).

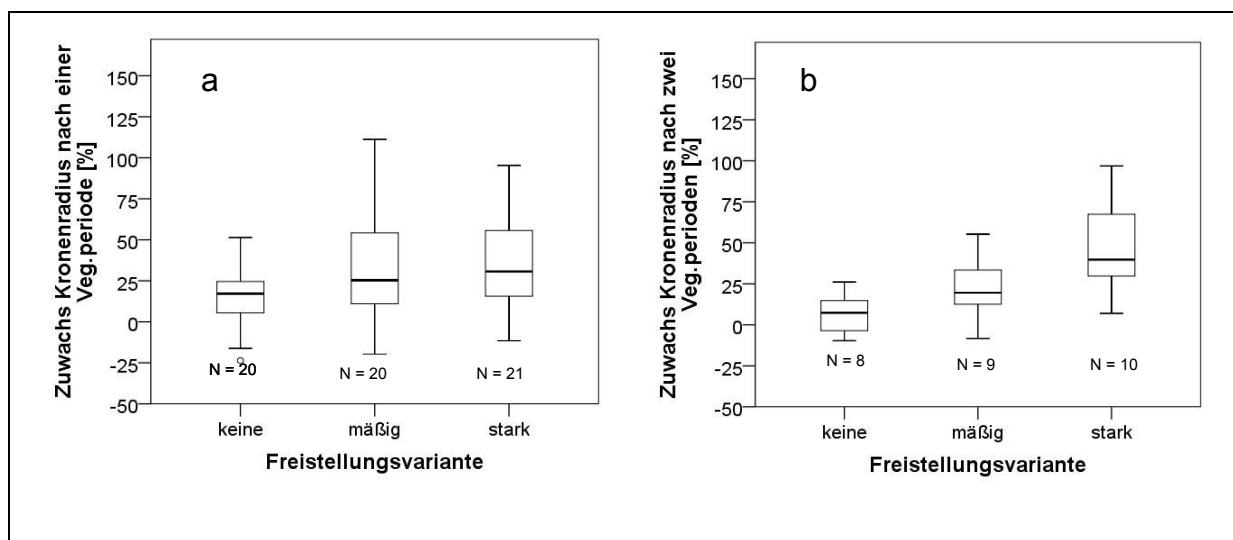


Abb. 77a-b: Prozentualer Zuwachs der Kronenradien der Probestämme nach (a) 1 Vegetationsperiode und (b) nach 2 Vegetationsperioden in Abhängigkeit der Freistellungsvariante (ANOVA; (a) nach 1 Vegetationsperiode: Fichtenaltersstufe:  $p = 0,036$ , Levene:  $p = 0,070$ ; (B) nach 2 Vegetationsperioden: Fichtenaltersstufe:  $p = 0,002$ , Levene:  $p = 0,102$ )

Tab. 54a: Ergebnisse der LSD-Prozedur für den Einfluss der Fichtenaltersstufe auf den prozentualen Zuwachs der Kronenradien-Werte (angegeben sind die Signifikanzniveaus  $p > 0,05$  nicht signifikant, \*  $p \leq 0,05$  signifikant)

Freistellungs- variante	keine	mäßig	stark
keine			
mäßig	0,035		
stark	0,019	0,819	

Tab. 54b: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Fichtenaltersstufe auf den prozentualen Zuwachs der Kronenradien-Werte (angegeben sind die Signifikanzniveaus  $p > 0,05$  nicht signifikant, \*  $p \leq 0,05$  signifikant)

Freistellungs- variante	keine	mäßig	stark
keine			
mäßig	0,296		
stark	0,003	0,085	

### 3.2.3.2.2 Kronenlänge

Die Ausprägung der Kronenlängen für die Probestämme vor der Freistellung ist in Abb. 78 dargestellt. Die Daten sind nach Fichtenaltersstufe und Konkurrenzsituation unterteilt. Die Bäume in der niedrigen Konkurrenzsituation haben eine längere Krone, als in der mittleren und hohen Konkurrenzsituation (ALM,  $p = 0,016$ ). Die Kronenlänge nimmt mit der Fichtenaltersstufe zu ( $p = 0,000$ ). Zwischen den Datenwerten der niedrigen und hohen Konkurrenzsituation sind die Unterschiede signifikant ( $p = 0,003$ ; Scheffé-Prozedur; Tab. 55a). Bezüglich der Fichtenaltersstufe sind, ausgenommen die Werte zwischen den Altersstufen 19 und 26 ( $p = 0,250$ ), alle mittleren Werte voneinander signifikant verschieden (jeweils  $p = 0,000$ ; Tab. 55b).

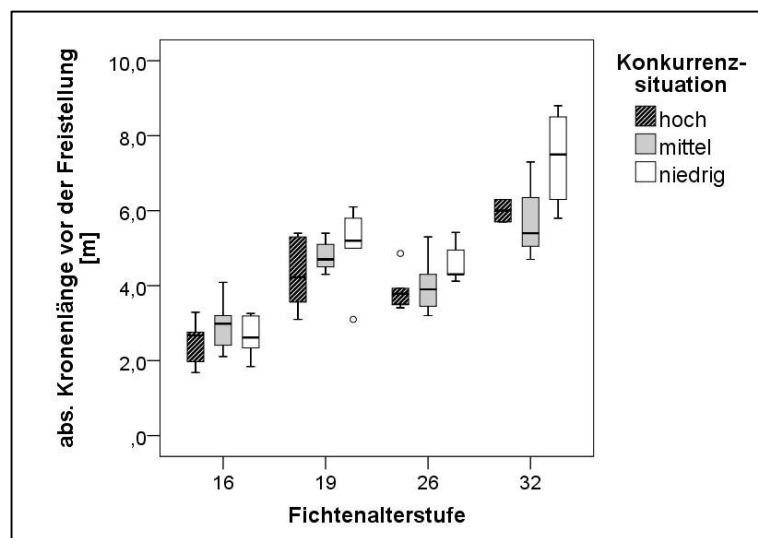


Abb. 78: Ausprägung der Kronenlänge der Probestämme in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe und Konkurrenzsituation vor der Freistellung (ALM / UNIANOVA:  $R^2 = 0,772$  (korr.  $R^2 = 0,720$ ), Modell:  $p = 0,000$ , Konstanter Term:  $p = 0,000$ , Fichtenaltersstufe:  $p = 0,000$ , Konkurrenzsituation:  $p = 0,016$ , Levene-Test:  $p = 0,167$ )

Tab. 55a: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Konkurrenzsituation auf den prozentualen Zuwachs der Kronenradien-Werte (angegeben sind die Signifikanzniveaus  $p > 0,05$  nicht signifikant, \*  $p \leq 0,05$  signifikant)

Konkurrenzsituation	niedrig	mittel	hoch
niedrig			
mittel	0,131		
hoch	0,003	0,297	

Tab. 55b: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Fichtenaltersstufe auf den prozentualen Zuwachs der Kronenradien-Werte (angegeben sind die Signifikanzniveaus  $p > 0,05$  nicht signifikant, \*  $p \leq 0,05$  signifikant)

Fichtenaltersstufe	16	19	26	32
16				
19	0,000			
26	0,000	0,250		
32	0,000	0,000	0,000	

Abbildung 79a und b zeigen die Ausprägung der Kronenlängen in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe und der Konkurrenzsituation nach zwei (a) und nach drei Vegetationsperioden (b).

Ein Einfluss des Faktors Freistellung konnte nicht nachgewiesen werden. Bezieht man nur die Faktoren Konkurrenzsituation und Fichtenaltersstufe in das Modell ein (ALM,  $R^2 = 0,709$  (korr.  $R^2 = 0,612$ )), so zeigen sich in beiden untersuchten Zeiträumen für beide Faktoren signifikante Effekte (Tab. 56a und b und Tab. 57a und b).

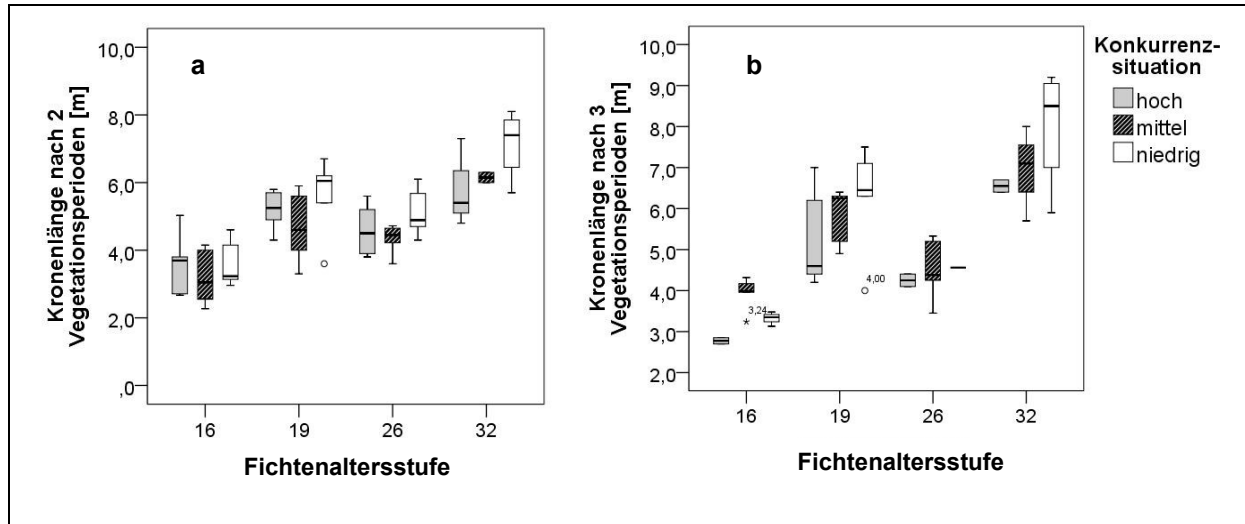


Abb. 79a-b: Ausprägung der absoluten Kronenlänge der Probebäume in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe und Konkurrenzsituation nach 2 Vegetationsperioden (a) und nach 3 Vegetationsperioden (b) (abs. Kronenlänge [m] nach 2 Vegetationsperioden ohne Faktor Freistellung: ALM univariat,  $R^2 = 0,675$  (korr.  $R^2 = 0,602$ ), Modell:  $p = 0,000$ , Konstanter Term:  $p = 0,000$ , Fichtenaltersstufe:  $p = 0,000$ , Konkurrenzsituation:  $p = 0,016$ , Fichtenaltersstufe x Konkurrenzsituation:  $p = 0,749$ , Levene-Test:  $p = 0,217$ ; (B) abs. Kronenlänge [m] nach 3 Vegetationsperioden:  $R^2 = 0,755$  (korr.  $R^2 = 0,673$ ) Modell:  $p = 0,000$ , Konstanter Term:  $p = 0,000$ , Fichtenaltersstufe:  $p = 0,000$ , Konkurrenzsituation:  $p = 0,122$ , Levene-Test:  $p = 0,145$ )

Tab. 56a: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Fichtenaltersstufe auf die absoluten Kronenlängen nach 2 Vegetationsperioden (angegeben sind die Signifikanzniveaus  $p > 0,05$  nicht signifikant, \*  $p \leq 0,05$  signifikant)

Fichtenaltersstufe	16	19	26	32
16				
19	0,000			
26	0,001	0,379		
32	0,000	0,004	0,000	

Tab. 56b: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Fichtenaltersstufe auf die absoluten Kronenlängen nach 3 Vegetationsperioden (angegeben sind die Signifikanzniveaus  $p > 0,05$  nicht signifikant, \*  $p \leq 0,05$  signifikant)

Fichtenaltersstufe	16	19	26	32
16				
19	0,000			
26	0,232	0,021		
32	0,000	0,003	0,000	

Tab. 57a: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Konkurrenzsituation auf die absoluten Kronenlängen nach 2 Vegetationsperioden (angegeben sind die Signifikanzniveaus  $p > 0,05$  nicht signifikant, \*  $p \leq 0,05$  signifikant)

Konkurrenz-situation	niedrig	mittel	hoch
niedrig			
mittel	0,113		
hoch	0,003	0,335	

Tab. 57b: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Konkurrenzsituation auf die absoluten Kronenlängen nach 3 Vegetationsperioden (angegeben sind die Signifikanzniveaus  $p > 0,05$  nicht signifikant, \*  $p \leq 0,05$  signifikant)

Konkurrenz-situation	niedrig	mittel	hoch
niedrig			
mittel	0,047		
hoch	0,011	0,631	

Bis auf die Fichtenaltersstufen 19 und 26 ( $p = 0,379$ ) unterscheiden sich die mittleren Werte zwischen den Altersstufen nach zwei Vegetationsperioden. Nach drei Vegetationsperioden verschiebt sich die Signifikanz. Hier haben die Altersstufen 16 und 26 keine statistisch abgesicherten Unterschiede mehr ( $p = 0,232$ ), während alle anderen Mittelwerte voneinander unterschiedlich sind. Zwischen den Stufen der Konkurrenzsituation existieren signifikante Unterschiede zwischen niedriger und hoher Konkurrenz nach zwei Vegetationsperioden ( $p = 0,003$ ; Scheffé-Prozedur). Nach drei Vegetationsperioden nehmen die Unterschiede zu. Hier bleibt ein signifikanter Unterschied zwischen niedriger und hoher Konkurrenz ( $p = 0,011$ ; Scheffé-Prozedur) und auch die Werte zwischen niedriger und mittlerer Konkurrenzsituation sind signifikant unterschiedlich ( $p = 0,047$ ; Scheffé-Prozedur).

### 3.2.3.2.3 Zuwachs Primärastlänge

Zunächst wurde nur der absolute Zuwachs der Primärastlängen innerhalb der unterschiedlichen Kronenstraten vor der Freistellung, d.h. in der Vegetationsperiode 2000, betrachtet, um einen Eindruck über das unbeeinflusste Wachstum der Primäräste vor der Freistellung gewinnen zu können. Die Primäräste zeigten im Mittel 20 cm Zuwachs im Schattenkronenbereich und 22 cm im Lichtkronenbereich. Die Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ( $p = 0,412$ ) (Tab.58).

Tab. 58: Ergebnisse des einfachen T-Tests für unabhängige Stichproben zur Unterscheidung der Primärastzuwächse zwischen Schattenkrone und Lichtkrone im Jahr 2000 vor der Freistellung

Primärastlängenzuwachs in der Schatten- und Lichtkrone im Jahr 2000 vor der Freistellung								
Test bei unabhängigen Stichproben								
Levené-Test der Varianzgleichheit			T-Test für die Mittelwertgleichheit					
F	p	T	df	p (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
							Untere	Obere
0,216	0,643	-0,824	96	<b>0,412</b>	-1,958	2,376	-6,676	2,759

Ein möglicher Einfluss des Faktors Fichtenaltersstufe konnte nicht analysiert werden. Die Daten sind unter den Faktorstufen nicht normalverteilt. Die Abbildung 80 zeigt eine schwache Tendenz, welche bei den Bäumen in der Fichtenaltersstufe 26 in der Schattenkrone einen höheren und in der Lichtkrone einen geringeren Primärastlängenzuwachs als bei den Bäumen der Fichtenaltersstufe 16 ausweist. Insgesamt überlappen die Werte aber stark.

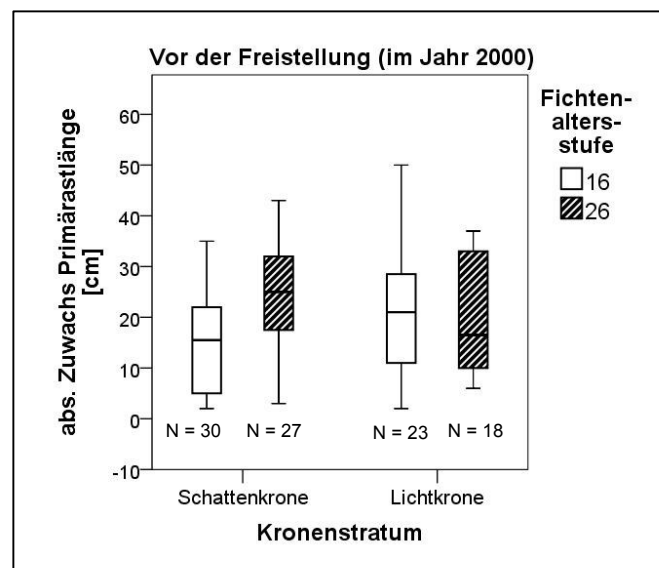


Abb. 80: Absoluter Primärastlängenzuwachs [cm] der Vogelbeeren in der Fichtenaltersstufe 16 und 26 unterteilt nach Schatten- und Lichtkrone im Jahr vor der Freistellung

Abbildung 81 zeigt den aufsummierten Zuwachs der Primärastlängen nach 2 Vegetationsperioden. Auch hier konnte kein Einfluss der Faktoren des Versuchsdesigns auf die Zuwächse nach der Freistellung gefunden werden. Die Varianzhomogenität der Daten ist nicht gegeben.

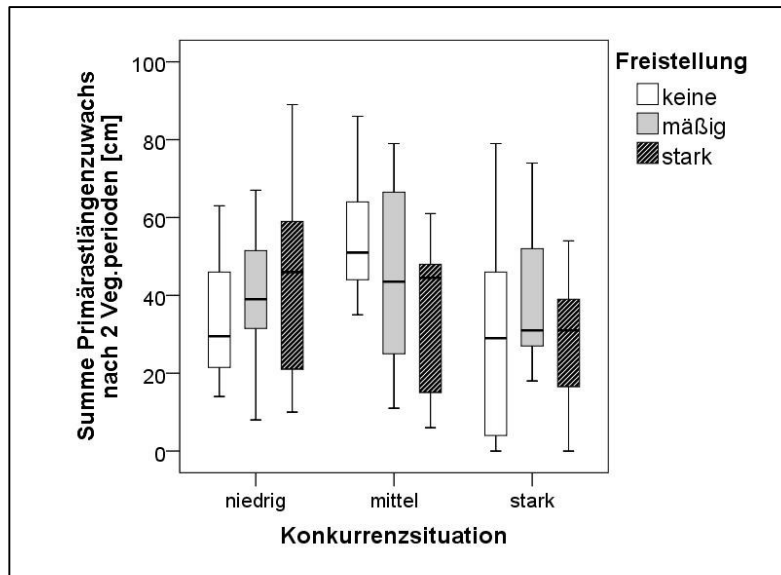


Abb. 81: Summe Zuwachs der Primärastlängen nach 2 Vegetationsperioden in Abhängigkeit der Konkurrenzsituation und Freistellungsvariante (ANOVA:  $R^2 = 0,153$  (korr.  $R^2 = 0,093$ ), Modell:  $p = 0,013$ , Konstanter Term:  $p = 0,000$ , Freistellungsvariante:  $p = 0,460$ , Konkurrenzsituation:  $p = 0,025$ , Freistellungsvariante x Konkurrenzsituation:  $p = 0,041$ , Levene-Test:  $p = 0,012$ )

Die Streuungen der Daten sind hoch und Trends nach den untersuchten Faktoren, hier Freistellungsvariante und Konkurrenzsituation in der Darstellung, sind kaum auszumachen. In der niedrigen Konkurrenzsituation könnte ein Trend vermutet werden, der einen steigenden Zuwachs der Primärastlänge mit zunehmender Freistellung zeigen lässt (n.s.). Betrachtet man den kumulierten absoluten Zuwachs der Primärastlängen nach 3 Vegetationsperioden, so lässt sich ein signifikanter Unterschied ( $p = 0,000$ ) zwischen den Kronenstraten (im Mittel 46 cm in der Schattenkrone und im Mittel 71 cm Zuwachs in der Lichtkrone) feststellen (Abb. 82).

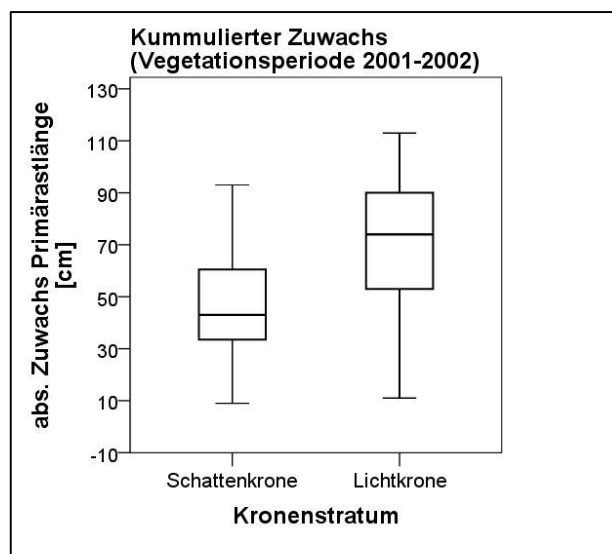


Abb. 82: Summe Zuwachs der Primärastlängen nach 3 Vegetationsperioden in Abhängigkeit des Kronenstratums (\* T-Test bei unabhängigen Stichproben, Ergebnis für ungleiche Varianzen ( $p = 0,000$ ))

#### 3.2.3.2.4 Primärastmasse

Der Zusammenhang zwischen Primärastmasse und Primärastdurchmesser lässt sich durch eine signifikante nichtlineare Funktionen ausdrücken. Die Zusammenhänge sind zwischen den Fichtenaltersstufen unterschiedlich (Abb. 83a-c und Tab. 59). Dargestellt sind hier die Fichtenaltersstufen 16, 19 und 26. Aus diesen Altersstufen sind Primärastproben von Probebäumen und Referenzbäumen entnommen worden. Der Zusammenhang kann in der Fichtenaltersstufe 16 durch eine exponentielle Funktion beschrieben werden ( $p = 0,000$ ;  $R^2 = 0,92$ ). Bei den Werten in den Fichtenaltersstufen 19 und 26 sind es jeweils quadratische Funktionen, die eine Konstante beinhalten.



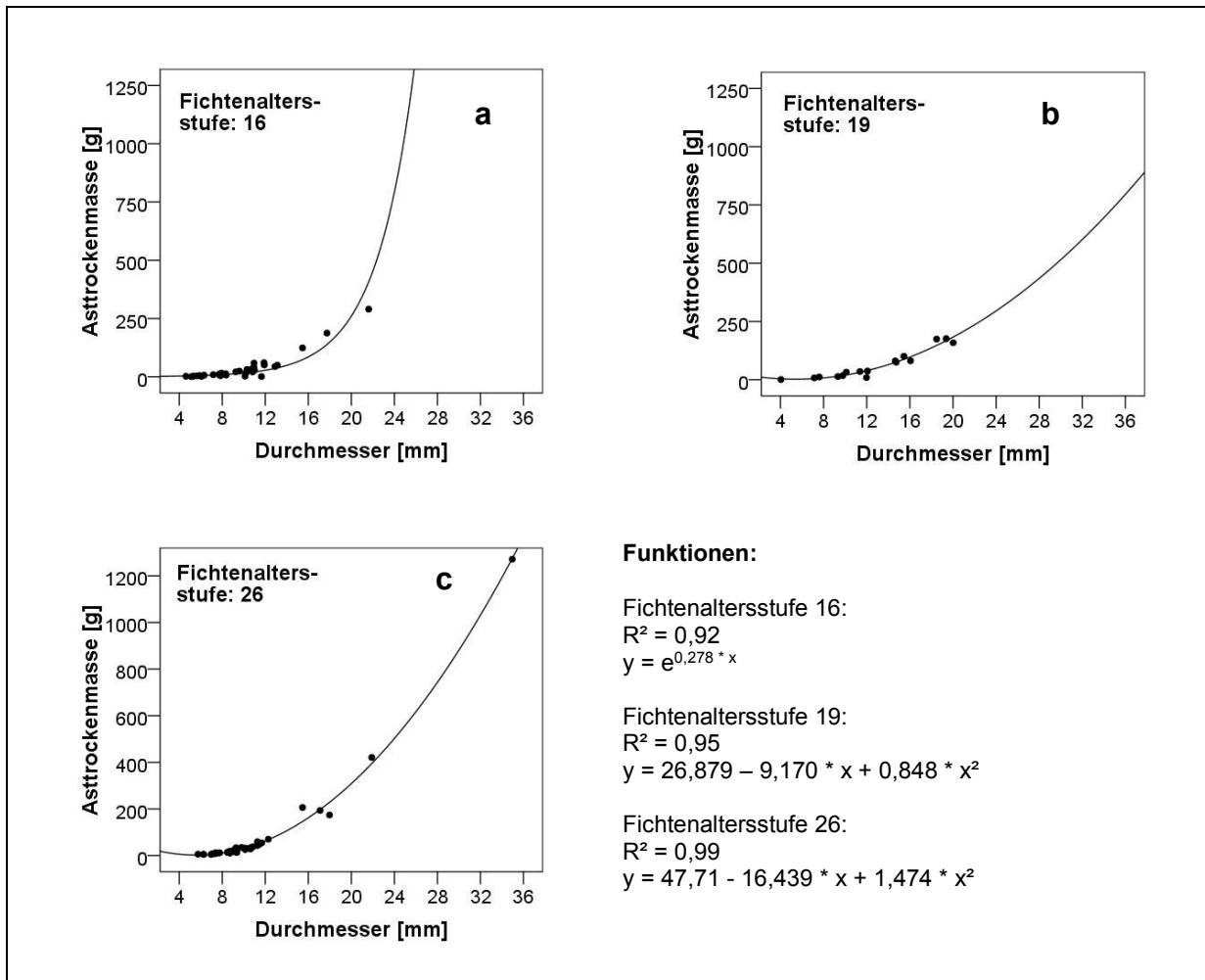


Abb. 83a-c: Zusammenhang zwischen Astdurchmesser und Astrockenmasse der beprobten Primäräste

Tab. 59: Modellzusammenfassung für den Zusammenhang zwischen Astdurchmesser und Astrockenmasse der beprobten Primäräste, Modelle getrennt nach Fichtenaltersstufe

Modellzusammenfassung				Parameterschätzer		
Fichtenaltersstufe	Gleichung	R-Quadrat	Sig.	Konstante	b1	b2
16	exponentiell	0,92	0,000		-0,278	
19	quadratisch	0,95	0,000	26,879	-9,170	0,848
26	quadratisch	0,99	0,000	47,713	-16,439	1,474

Aus den gewonnenen Funktionen lassen sich die Astmassen der Primäräste schätzen und zu einer Gesamtastmasse je Baum aufsummieren. Dies kann nur für die gefälltten Probestämme des Versuchsdesigns berechnet werden, da an diesen jeweils die Durchmesser aller Primäräste erfasst werden konnten. Tendenziell kann die Aussage getroffen werden, dass in der Fichtenaltersstufe 26 die stark freigestellten Bäume eine deutlich höhere Astbiomasse aufweisen (Abb. 84). Die Astmassen in der Freistellungsvariante „mäßig“ sind in dieser Fichtenaltersstufe

fe nur leicht höher als zur Variante „keine Freistellung“. In der Fichtenaltersstufe 16 lässt sich kein deutlicher Trend ausmachen. Die Freistellungsvarianten „keine“ und „starke Freistellung“ haben ähnliche Astbiomassen ausgebildet. Die mäßige Freistellungsvariante besitzt tendenziell die geringsten Astbiomassen.

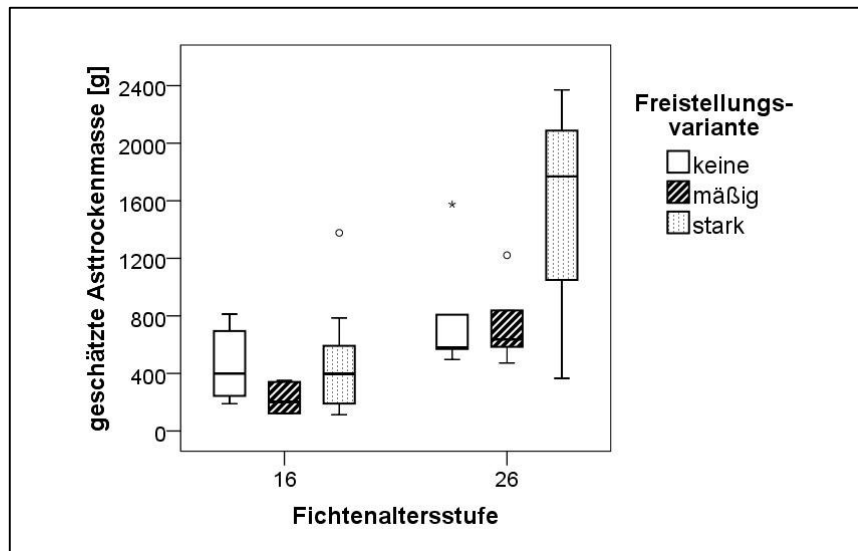


Abb. 84: Geschätzte Gesamtastrockenmasse der Probebäume je Freistellungsvariante in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe

### 3.2.3.3 Blattmasse

Allometrische Beziehungen sind ein geeignetes Hilfsmittel, um bei Biomasseuntersuchungen die gewünschten Zielgrößen aus der Dimension einer anderen Hilfsgröße schätzen zu können. Je nach Fragestellung und Ziel der jeweiligen Studie sind gerade die Beerntung und die Analyse von kompletten Blattbiomassen an Bäumen in der Regel sehr zeit- und arbeitsaufwendig. Bei der vorliegenden Untersuchung sollten die Gesamtblattmassen der Probebäume im Versuchsdesign erfasst bzw. geschätzt werden. Dies geschah zum einen mit Hilfe allometrischer Schätzfunktionen für die Primäräste der Bäume und mit Hilfe des Programms BRANCH, welches mit der RBS-Methode Biomassen schätzen kann. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Schätzfunktionen und –verfahren für die Blattbiomassen vergleichend dargestellt.

#### Ergebnisse der allometrischen Beziehungen

Die Abbildungen 85a und b geben die Beziehung zwischen dem Primärastdurchmesser und der gesamten Blatttrockenmasse des Primärastes wieder. Datengrundlage hierfür sind alle

Blattproben der Äste der Referenz- und Probebäume, an denen Blattmassen gewonnen wurden (N = 240). Die Beziehungen können zwischen Fichtenaltersstufen und dem Kronenbereich (Licht- und Schattenkronen) unterschieden werden. In allen Varianten kann der Zusammenhang durch eine exponentielle Funktion ( $y = e^{b_1 \cdot x}$ ) beschrieben werden. Tabelle 60 listet die zugehörigen Modelle für die Kurvenverläufe auf. Die Konstante wurde in allen Modellen ausgeschlossen.

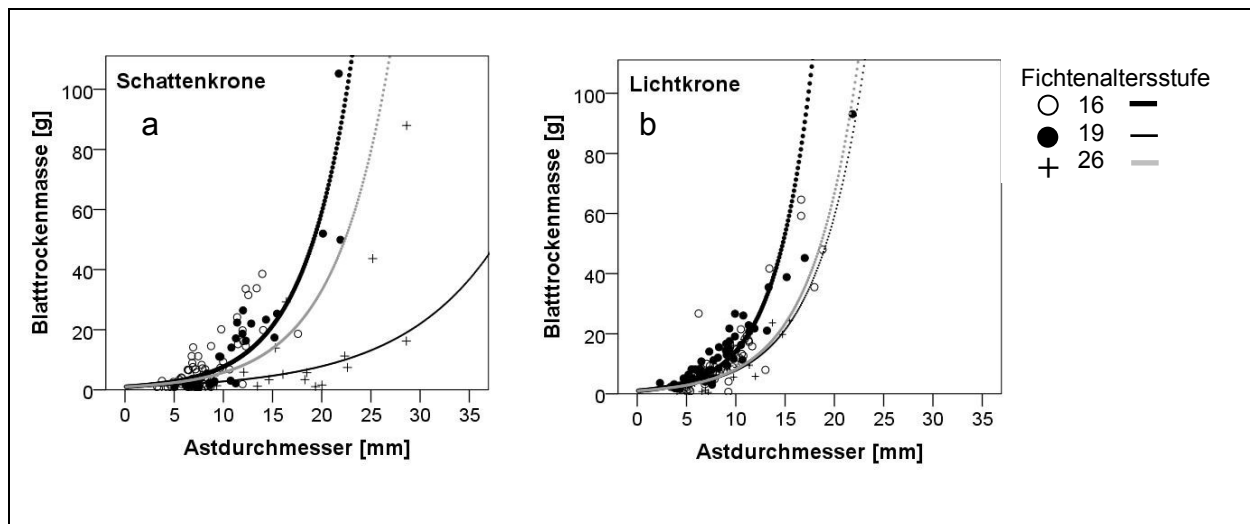


Abb. 85a und b: Zusammenhang zwischen Astdurchmesser und Blatttrockenmasse der beprobten Primäräste in der Schattenkronen (a) und Lichtkronen (b) (Funktion: Fichtenaltersstufe  $y = e^{b_1 \cdot x}$ ,  $e =$  Eulersche Zahl ( $\approx 2,7188$ ),  $b_1 =$  Parameterschätzer)

Tab. 60: Modellzusammenfassung für den Zusammenhang zwischen Durchmesser und Blatttrockenmasse der Primäräste (Modelle getrennt nach Kronenstratum und Fichtenaltersstufe) (Funktion: Fichtenaltersstufe  $y = e^{b_1 \cdot x}$ ,  $e =$  Eulersche Zahl ( $\approx 2,7188$ ),  $b_1 =$  Parameterschätzer)

Fichtenaltersstufe	Kronenstratum	Gleichung	R-Quadrat	Signifikanz	$b_1$
16	Schattenkronen	exponentiell	0,80	0,000	0,204
16	Lichtkronen	exponentiell	0,97	0,000	0,265
19	Schattenkronen	exponentiell	0,79	0,000	0,103
19	Lichtkronen	exponentiell	0,81	0,000	0,204
26	Schattenkronen	exponentiell	0,81	0,000	0,175
26	Lichtkronen	exponentiell	0,90	0,000	0,210

Noch straffer wird der Zusammenhang, wenn die Splintfläche der Primärastbasis der Blatttrockenmasse des Primärastes gegenübergestellt wird (Abb. 86a und b). In diesem Fall wurde jeweils ein quadratischer Funktionsausgleich ( $y = b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2$ ) für die Daten gewählt. Der Kurvenverlauf für die Fichtenaltersstufe 19 Jahre zeigt im Schattenkronenbereich ab einer Splintfläche von ca. 130 mm<sup>2</sup> einen abfallenden Trend. In Tabelle 61 sind die zugehörigen Modell-

daten aufgelistet. Die Ergebnisse sollen veranschaulichen, wie exakt man aus der Splintfläche als Hilfsvariable die gesuchte Zielgröße Blattmasse schätzen kann. Für weitere Modellierungen und Analysen wird in dieser Arbeit die Hilfsvariable Primärastdurchmesser verwendet, da diese im Feld leichter zu erfassen ist als die Splintfläche.

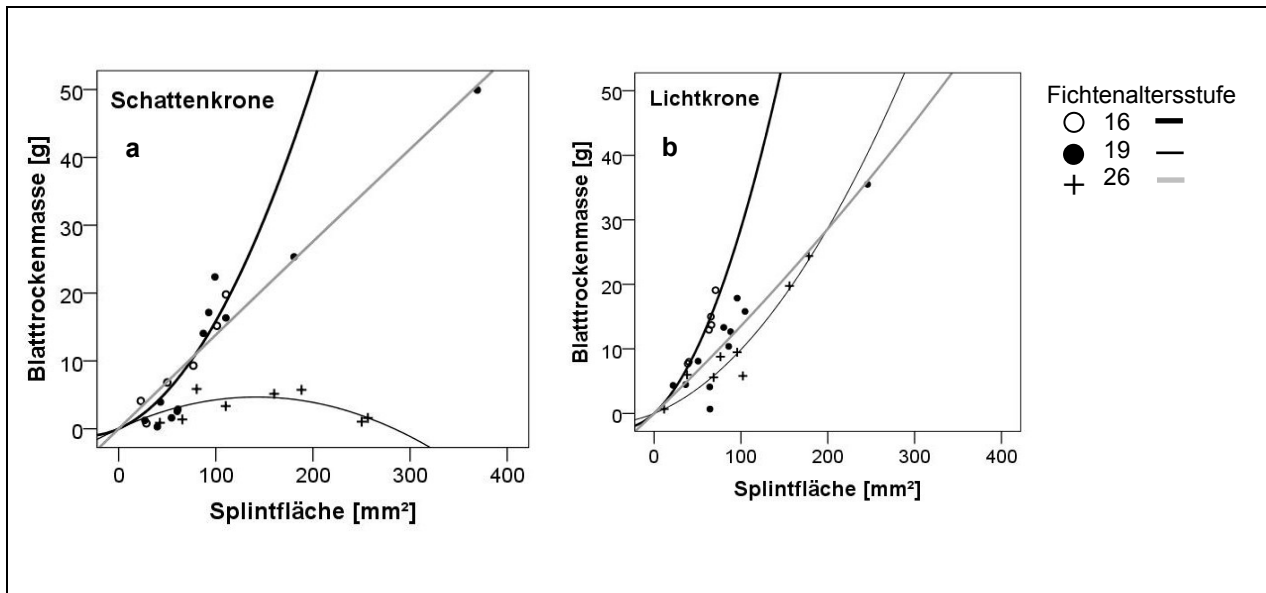


Abb. 86a und b: Zusammenhang zwischen Splintfläche und Blattrockenmasse der beprobten Primäräste in der Schattenkrone (a) und Lichtkrone (b) (Funktion: Fichtenaltersstufe  $y = b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2$ )

Tab. 61: Modellzusammenfassung für den Zusammenhang zwischen Splintfläche und Blattrockenmasse der Primäräste, Modelle getrennt nach Kronenstratum und Fichtenaltersstufe (Funktion: Fichtenaltersstufe  $y = b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2$ )

Fichtenaltersstufe	Modellzusammenfassung				Parameterschätzer	
	Kronenstratum	Gleichung	R-Quadrat	Sig.	b1	b2
16	Schattenkrone	quadratisch	0,98	0,000	0,063	0,000954
16	Lichtkrone	quadratisch	0,99	0,000	0,123	0,001643
19	Schattenkrone	quadratisch	0,86	0,003	0,066	0,000232
19	Lichtkrone	quadratisch	0,97	0,000	0,054	0,000446
26	Schattenkrone	quadratisch	0,99	0,000	0,139	0,000005
26	Lichtkrone	quadratisch	0,95	0,000	0,128	0,000075

Validierung der verwendeten Schätzmodelle für die gesamte Blattmasse anhand der 4 Blattmasse-Vollaufnahmen

Mit den Blattmassedaten eines kompletten Baumes (Vollaufnahme) kann das Programm BRANCH Stichprobensimulationen der verschiedenen möglichen RBS-Schätzmethoden durchführen. Dies konnte mit den Daten der vier Referenzbäume, die im Jahr 2001 vollständig aufgenommen wurden, geschehen. Abbildung 87 und Tabelle 62 zeigen die Ergebnisse einiger Stichprobensimulationen mit den Schätzmethoden ZoZ und klassisches RBS (ZmZ) zur Verdeutlichung der Streuung der Ergebnisse (Kapitel 2.2.2.5.5). Es wurde für beide Verfahren jeweils ein Stichprobenumfang von  $N = 10$  Simulationsläufen eingestellt.

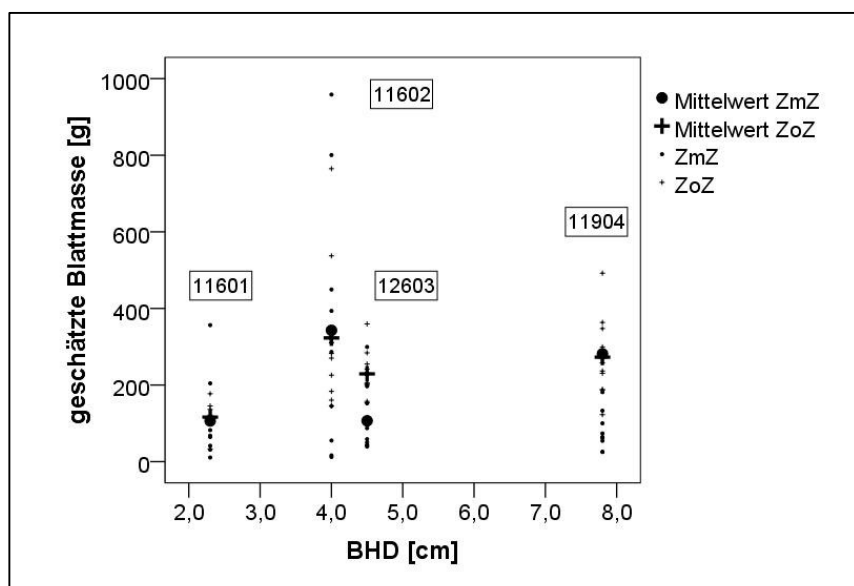


Abb. 87: Ergebnisse der RBS-Simulationsläufe ZmZ ( $N = 10$ ) und ZoZ ( $N = 10$ ), ohne Extremwert der ID 11904 mit 2095,16 g

Ein Extremwert von 2095,16 g wird im Diagramm zur besseren Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Man sieht deutlich, wie die einzelnen Ergebnisse um den Gesamtmittelwert des jeweiligen Schätzverfahrens je Baum streuen. Es ist davon auszugehen, dass der Gesamtmittelwert präziser wird, je mehr Testläufe bzw. Stichproben man im Programm BRANCH einstellt bzw. durchführen lässt (BORTZ 1999, S. 124 ff.). Hier sollen aber die Ergebnisse weniger Testläufe genügen, um die Praxistauglichkeit von BRANCH bei der Schätzung der Blattmasse der Vogelbeeren zu dokumentieren. Bei der praktischen Anwendung im Feld wird nur eine definierte Anzahl von Zielgrößen entnommen, die Daten dieser Stichprobenwerte in das Programm eingegeben und dann ein geschätzter Gesamtwert sowie die Varianz zu dieser Schätzung ausgegeben.

Tab. 62: Ergebnisse der Schätzungen mittels der RBS-Methoden ZmZ und ZoZ

	BHD	N	Mittelwert	sd	Min.	Max.	s	Varianz
ZmZ	2,3	10	106,21	32,50	10,83	356,49	102,79	10.565,27
	4,0	10	342,86	102,45	12,04	958,40	323,98	104.960,94
	4,5	10	106,57	27,08	39,40	299,32	85,65	7.335,50
	7,8	10	281,53	202,08	25,34	2.095,16	639,05	408.380,07
	<b>Gesamt</b>	<b>40</b>	<b>209,29</b>	<b>57,87</b>	<b>10,83</b>	<b>2.095,16</b>	<b>365,97</b>	<b>133.936,94</b>
ZoZ	2,3	10	116,21	11,72	32,99	177,21	37,06	1.373,37
	4,0	10	322,90	60,86	145,29	764,98	192,47	37.044,33
	4,5	10	229,13	19,41	153,54	359,69	61,37	3.765,93
	7,8	10	272,65	33,81	122,71	492,09	106,92	11.431,16
	<b>Gesamt</b>	<b>40</b>	<b>235,22</b>	<b>21,42</b>	<b>32,99</b>	<b>764,98</b>	<b>135,44</b>	<b>18.344,28</b>
Gesamt	2,3	20	111,21	16,85	10,83	356,49	75,38	5.681,45
	4,0	20	332,88	58,04	12,04	958,40	259,56	67.370,50
	4,5	20	167,85	21,46	39,40	359,69	95,98	9.211,40
	7,8	20	277,09	99,72	25,34	2.095,16	445,96	198.878,70
	<b>Gesamt</b>	<b>80</b>	<b>222,26</b>	<b>30,69</b>	<b>10,83</b>	<b>2.095,16</b>	<b>274,49</b>	<b>75.347,02</b>

Wie genau die verschiedenen Schätzmethoden die Gesamtblattmasse je Baum geschätzt haben, zeigt Abbildung 88. Hier ist eine Validierung anhand einer Gegenüberstellung der real ermittelten Gesamtblattmassen möglich.

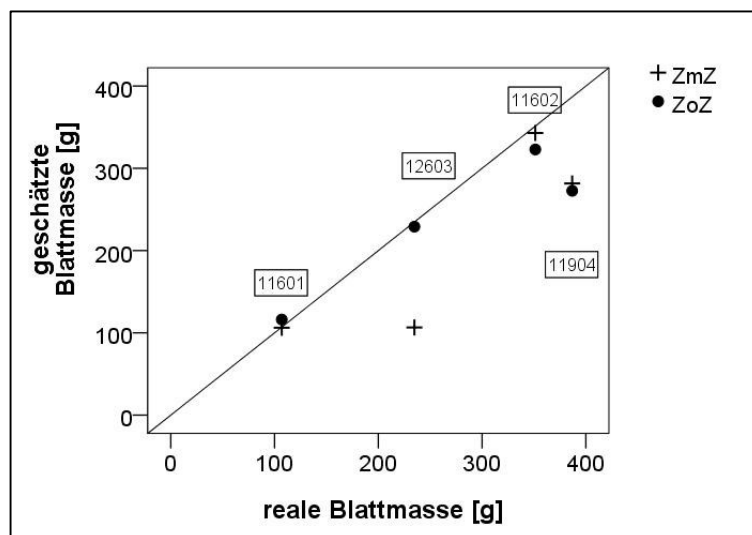


Abb. 88: Gegenüberstellung der Ergebnisse von Blattmasseschätzungen und der realen Blattmasse (Linie) von 4 gefällten Referenzbäumen aus dem Jahr 2001

Auf der x-Achse des Diagramms sind die Ergebnisse der realen Blattmassen aufgetragen. Die Diagonale im Diagramm stellt den theoretischen Verlauf einer absoluten Übereinstimmung zwischen realen und geschätzten Daten dar. Sie soll in diesem Fall lediglich den Vergleich

mit den geschätzten Blattmassen visuell erleichtern. Je mehr sich die Markierungen der verschiedenen Schätzmethode der Diagonalen nähern, desto günstiger fällt das Schätzergebnis hinsichtlich seiner Präzision aus. Demnach sieht man deutlich, dass die RBS-Schätzmethode ZoZ auf den ersten Blick die genauesten Ergebnisse geliefert hat. Die Punkte dieser Methode liegen im Diagramm sehr nah an und für den Baum 12603 nahezu auf der Diagonalen. Für den Baum 11904 liegen die Ergebnisse beider Schätzmethode mit einer ungefähren Differenz von 100 g unter dem realen Wert. Die größte Differenz zeigt der Mittelwert der Methode ZmZ für den Baum Nr. 12603. Dieser liegt mit ca. 120 g Differenz weit unter dem realen Wert.

### Ergebnisse und Vergleich der RBS-Schätzmodelle anhand der Referenzbäume aus dem Jahr 2002

Abbildung 89 zeigt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der RBS-Schätzungen anhand der 9 gefällten Referenzbäume aus dem Jahr 2002. Die verwendeten Stichprobenverfahren sind wiederum ZoZ und ZmZ.

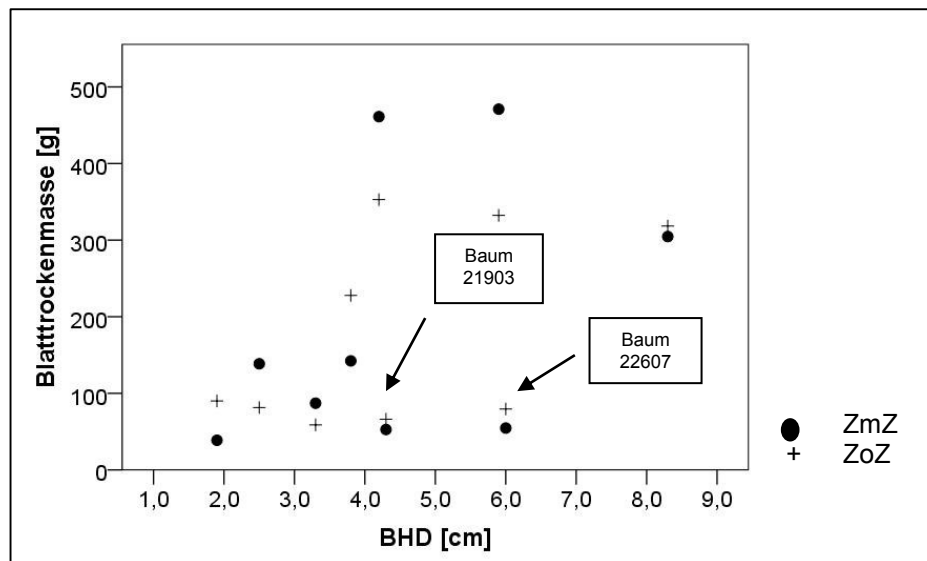


Abb. 89: Gegenüberstellung der Gesamtblattmasseschätzungen mit den RBS-Methoden ZmZ und ZoZ in Abhängigkeit des BHDs für die neun gefällten Referenzbäume aus dem Jahr 2002

Keine der beiden RBS-Methoden zeigt tendenziell ein höheres oder ein niedrigeres Schätzergebnis für die betrachteten Bäume. Der Abbildung ist weiterhin zu entnehmen, dass die Differenz der Schätzungen mit zunehmendem BHD in einigen Fällen größer wird. Lediglich bei dem Baum mit dem stärksten BHD von 8,3 cm fallen beide Schätzergebnisse sehr eng zusammen. Zudem fallen die Ergebnisse von zwei Bäumen der Fichtenaltersstufe 19 (Baum-Nr. 21903) und 26 (Baum-Nr. 22607) auf, die im Vergleich zu den anderen Bäumen mit ähnlich

starkem BHD eine geringere geschätzte Blattmasse besitzen. Tabelle 63 zeigt die Ergebnisse der beiden Schätzmethoden samt Varianzen für alle 10 gefällten Referenzbäume aus dem Jahr 2002. Der Baum mit der Nummer 21904 wurde in der Abbildung 89 aufgrund des fehlenden Wertes zur ZmZ-Schätzung nicht aufgenommen. Die Schätzungen der Blattmassen sind bei der Methode ZoZ im Bereich der Schattenkrone wesentlich unpräziser als in der Lichtkrone, wie Tabelle 64 anhand der Schätzvarianzen zeigt.

Tab. 63: Schätzergebnisse und Varianzen der RBS-Methoden ZmZ und ZoZ für 10 gefällte Referenzbäume aus dem Jahr 2002

ID Referenzbaum	Gesamtblattmasse [g] Schätzverfahren ZmZ	Varianz ZmZ	Gesamtblattmasse [g] Schätzverfahren ZoZ	Varianz ZoZ
21601	461,18	15.320,99	352,83	2.034,26
21602	38,75	108,93	89,98	136,91
21603	138,58	834,50	81,48	92,14
21901	54,64	364,21	79,49	609,46
21902	304,62	16.924,24	318,39	28.222,15
21903	52,68	201,49	66,14	450,38
21904			99,48	497,80
22601	142,32	1.574,54	227,71	774,43
22607	87,14	779,49	58,76	361,40
22635	470,99	44.023,33	332,28	5.508,42

Tab. 64: Schätzergebnisse und Varianzen der RBS-Methode ZoZ unterteilt nach Licht- und Schattenkrone für 10 gefällte Referenzbäume aus dem Jahr 2002

ID Referenzbaum	Kronenstratum	Blattmasse [g] je Kronenstratum, Schätzverfahren ZoZ	Varianz ZoZ
21601	Schattenkrone	138,55	720,42
21602	Schattenkrone	57,14	112,74
21603	Schattenkrone	23,17	38,88
21901	Schattenkrone	7,28	2,12
21902	Schattenkrone	196,64	26.756,85
21903	Schattenkrone	15,79	10,17
21904	Schattenkrone	25,83	149,99
22601	Schattenkrone	25,41	22,32
22607	Schattenkrone	5,50	5,60
22635	Schattenkrone	67,53	641,33
21601	Lichtkrone	214,29	1.313,84
21602	Lichtkrone	32,84	24,16
21603	Lichtkrone	58,31	53,26
21901	Lichtkrone	72,21	607,34
21902	Lichtkrone	121,75	1.465,30
21903	Lichtkrone	50,35	440,21
21904	Lichtkrone	73,65	347,81
22601	Lichtkrone	202,29	752,10
22607	Lichtkrone	53,26	355,80
22635	Lichtkrone	264,76	4.867,09



### Blattmasseschätzungen für Vogelbeeren aus dem Freistellungsexperiment

Die Gesamtblattmassen der Probestämme können nur mit der RBS-Methode ZoZ geschätzt werden, da diese nur nach dem Stichprobenschema ZoZ im Feld beprobt worden sind. Bei 15 Vogelbeeren aus dem Freistellungsexperiment kann ZoZ nicht angewendet werden. Diese Bäume wurden im unbelaubten Zustand gefällt und eine RBS-Schätzung ist hier ohne Blattmassen-Stichproben nicht möglich. Daher soll im Folgenden eine Schätzmethode dargestellt und analysiert werden, welche die Gesamtblatttrockenmasse des Baumes aus der Summe der Primärstblattmassen bezieht. Die Primärstblattmassen werden, wie zu Beginn dieses Kapitels dargestellt, aus den Dimensionen aller baumindividueller Primärstdurchmesser mit Hilfe exponentieller Funktionen, getrennt nach Kronenstratum und Fichtenaltersstufe geschätzt. Die Schätzwerte der Primärstblattmassen werden anschließend je Baum aufsummiert. Diese Methode konnte bei allen 33 beprobten Bäumen eingesetzt werden. Abbildung 90 verdeutlicht die Differenzen der Schätzergebnisse der RBS-Methode ZoZ und der Methode „Schätzung anhand baumindividueller Primärstdurchmesser“ für 18 Vogelbeeren im Freistellungsexperiment, bei denen eine ZoZ-RBS-Schätzung möglich war. Die Diagonale in der Grafik ist wie in Abb. 88 zu verstehen. Je dichter die Lage der Punkte an der Diagonalen, desto geringer sind die Differenzen der Schätzergebnisse zwischen den zwei Methoden. Man kann klar erkennen, dass die Differenzen der Blattrockenmasseschätzungen schon ab ca. 150 g geschätzter Blattrockenmasse je Baum rasch zunehmen. Über diesen Wert hinaus liegen die Ergebnisse bei den meisten Bäumen weit auseinander.

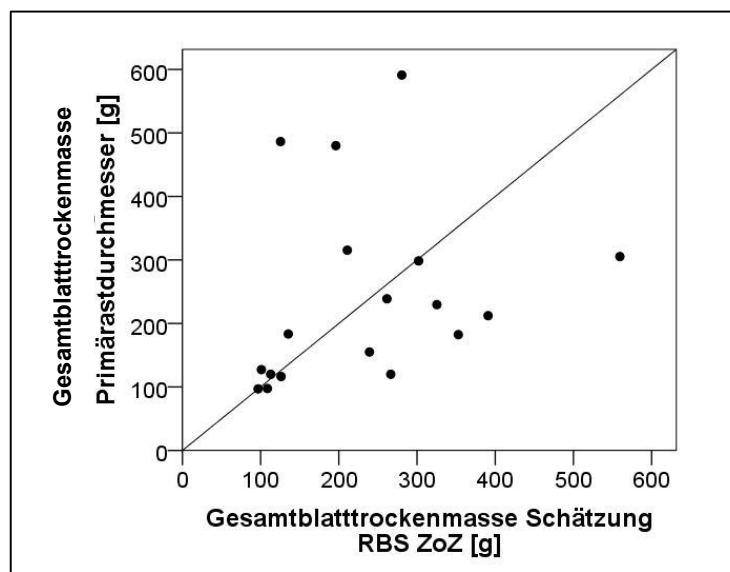


Abb. 90: Differenzen der Schätzergebnisse zwischen RBS-ZoZ und Schätzung der gesamten Blattrockenmasse je eines Baumes mit der Hilfsvariable der baumindividuellen Primärstdurchmesser (exponentiell) für die Vogelbeeren im Freistellungsexperiment

Von besonderem Interesse ist an dieser Stelle auch der Zusammenhang der Ergebnisse mit dem BHD des jeweiligen Baumes. In Abbildung 91a-d werden beide Schätzmethoden vergleichend dargestellt. Man sieht deutlich, dass die Daten in beiden Fällen nach der Fichtenaltersstufe getrennt werden sollten. Auch könnten die Kurvenverläufe durch eine Potenzfunktion am besten dargestellt werden (Schätzung aus dem Primärastdurchmesser:  $R^2 = 0,99$  jeweils für Fichtenaltersstufe 16 und 26; Schätzung RBS-ZoZ:  $R^2 = 0,98$  für Fichtenaltersstufe 16 und  $R^2 = 0,99$  für Fichtenaltersstufe 26; Tab. 65).

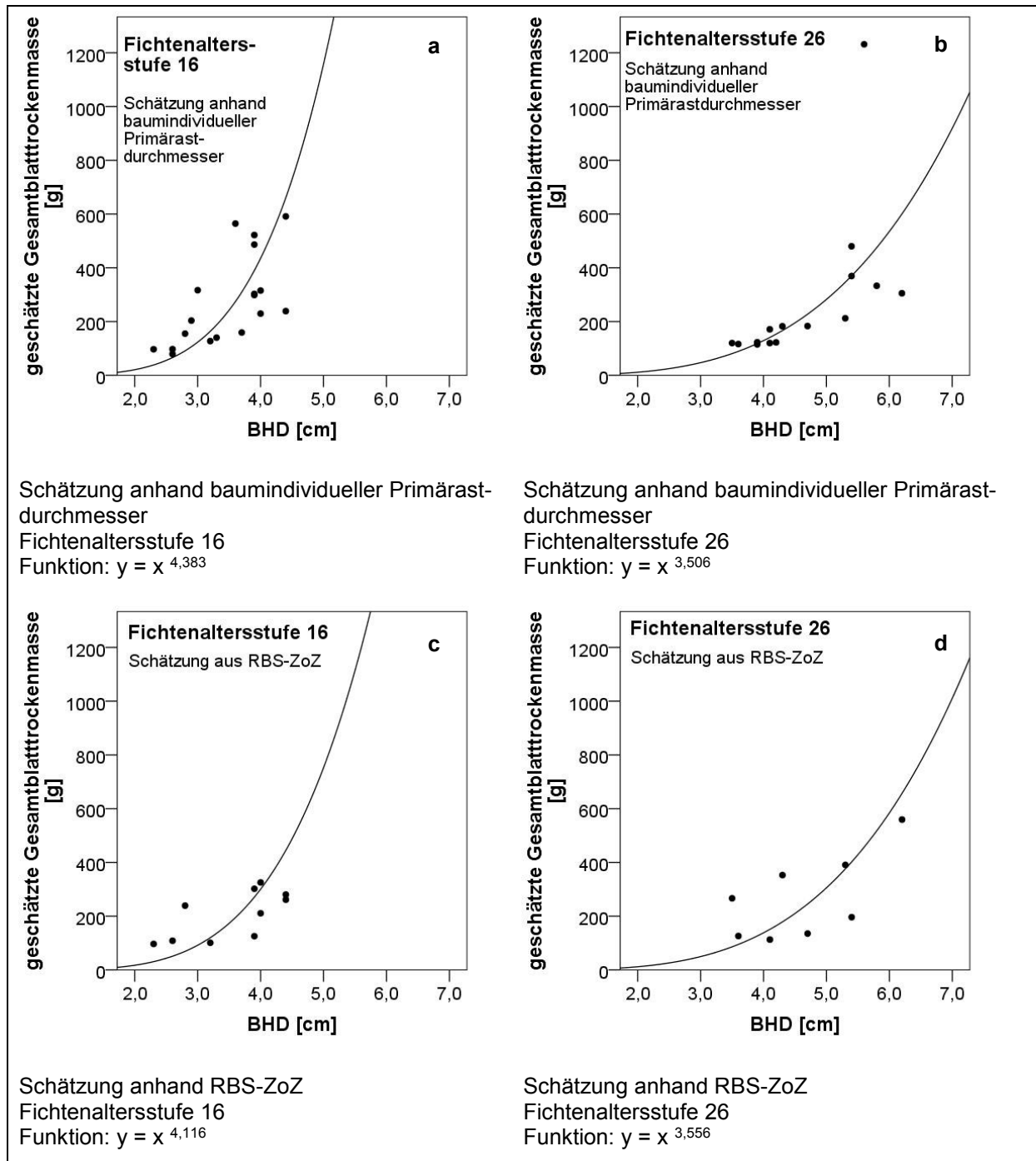


Abb. 91a-d: Zusammenhang zwischen der geschätzten Gesamtblatttrockenmasse (Methode Summe baumindividueller Primärastdurchmesser-Blatttrockenmasse und Methode RBS-ZoZ) und dem BHD (zum Fällzeitpunkt) der Vogelbeeren aus dem Freistellungsexperiment

Tab. 65: Modellzusammenfassung zwischen der geschätzten Gesamtblatttrockenmasse (Methode baumindividuelle Primärastdurchmesser-Blatttrockenmasse und Methode RBS-ZoZ) und dem BHD (zum Fällzeitpunkt) der Vogelbeeren aus dem Freistellungsexperiment

Modellzusammenfassung				Parameterschätzer	
Methode	Fichtenaltersstufe	Gleichung	R-Quadrat	Sig.	b1
baumindividuelle Primärastdurchmesser-Blatttrockenmasse	16	Potenz	0,990	0,000	4,383
	26	Potenz	0,994	0,000	3,506
RBS ZoZ	16	Potenz	0,983	0,000	4,116
	26	Potenz	0,983	0,000	3,556

An dieser Stelle soll mit den Ergebnissen der verschiedenen Modelle keine weiteren Analysen durchgeführt werden, da mit einem Schätzwert weitergerechnet werden müsste.

Eine einfache Darstellung der geschätzten absoluten Ergebnisse der Gesamtblattmassen je Baum, getrennt nach den untersuchten Faktorstufen, ließ nur für die Schätzdaten aus den Primärastdurchmessern einen Trend ersichtlich werden (Abb. 91a-d). Demnach zeichnet sich eine erhöhte Gesamtblattmasse mit zunehmender Freistellungsstärke nur deutlich in der Fichtenaltersstufe 26 ab. Für die Fichtenaltersstufe 16 ist die Tendenz nicht eindeutig. Hier haben stark und nicht freigestellte Bäume ähnliche Blattmassen und die mäßig geförderten Bäume sogar die geringsten Blattmassewerte.

Das Bild wiederholt sich bei den Daten aus der RBS-Schätzung ZoZ für die Fichtenaltersstufe 26. Allerdings gibt es hier nur einen stark freigestellten Baum und somit für diese Kategorie nur einen Datenwert. Mit zunehmender Freistellungsstärke wurden tendenziell zunehmende Blattmassewerte geschätzt (Abb. 92a und b). Die Modelle wurden nicht auf Signifikanz geprüft, da es sich, wie oben schon erwähnt, um Schätzwerte handelt.

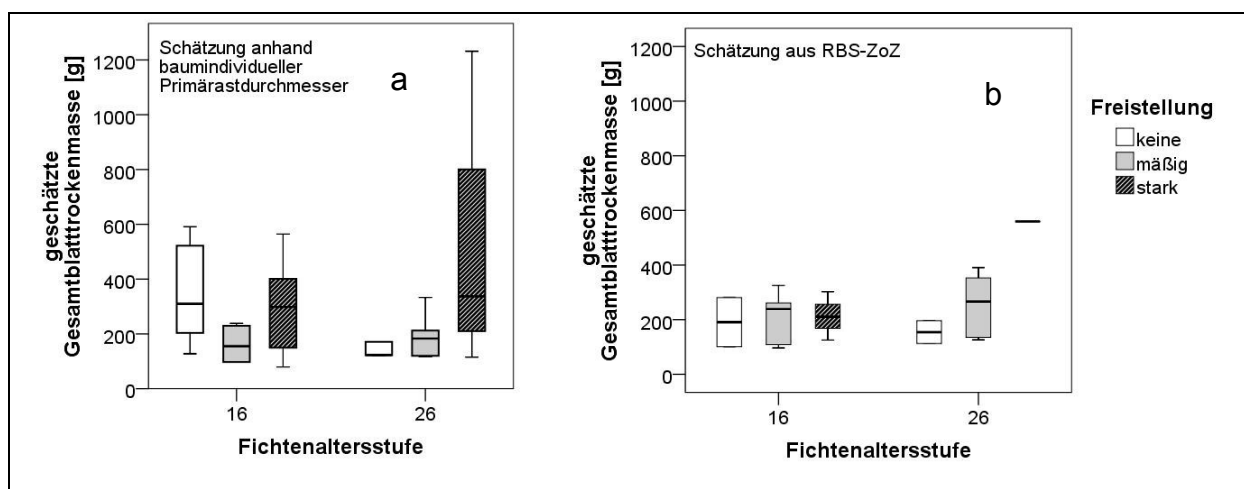


Abb. 92a-b: Zusammenhang zwischen der geschätzten Gesamtblatttrockenmasse der gefällten Vogelbeer-Probeebäume mit der Methode „baumindividuelle Primärastdurchmesser-Blatttrockenmasse“ und der Freistellungsvariante; xb: Zusammenhang zwischen der geschätzten Gesamtblatttrockenmasse der gefällten Vogelbeer-Probeebäume mit der Methode RBS (ZoZ) und der Freistellungsvariante

### 3.2.3.4 Fruchtmasse

Zur Untersuchung der produzierten Fruchttrockenmasse wurden die Fruchtdolden der Probestämme in den Vegetationsperioden 2001 und 2003 beerntet und die dabei gewonnenen Mengen miteinander verglichen. Sowohl durch Hochrechnung geschätzte, als auch komplett beerntete Fruchtmengen pro Baum wurden in die Stichprobe einbezogen. Von der Auswertung ausgenommen sind die in 2002 geernteten Vogelbeeren.

Im Jahr 2001 haben zu Beginn des Experimentes 28 (41 %) von 68 Bäumen Früchte getragen, während im Jahr 2003 sogar 42 Bäume von den im Versuchsdessin übrig gebliebenen 51 Probestämmen (81 %) fruktifiziert haben. Siebzehn Bäume fehlen bei der Stichprobe in 2003, da sie entweder für das Experiment entnommen worden sind oder geschädigt waren (Tab. 66).

Tab. 66: Überblick über die fruchttragenden Probestämme in den Jahren 2001 und 2003

Fichten- alters- stufe	vollständige Beerntung		Hochrechnung der Fruchtmasse mit Hilfe eines mittleren Dol- dengewichtes		Fehlende Bäume (entnommen oder beschädigt)		Summe fruchttra- gender Bäume	
	2001	2003	2001	2003	2001	2003	2001	2003
16	5	6	0	0	0	8	5	6
19	9	0	0	17	0	0	9	17
26	6	8	1	0	0	9	7	8
32	2	0	5	11	0	1	7	11
<b>Gesamt</b>	<b>22</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>28</b>	<b>0</b>	<b>18</b>	<b>28</b>	<b>42</b>

Die Anzahl der fruchttragenden Vogelbeeren verteilt sich zu Anfang des Experimentes relativ gleichmäßig über die Varianten Fichtenaltersstufe und Konkurrenzsituation. Es lässt sich kein Trend nach Altersstufe und Konkurrenz nachvollziehen (Tab. 67). Lediglich die Fichtenaltersstufe 19 sticht mit insgesamt 9 fruchttragenden Bäumen heraus.

Tab. 67: Anzahl Früchte tragender Vogelbeeren in 2001

Fichten- alters- stufe	Konkurrenzsituation						fruchttragende Probestämme gesamt [N]	Anteil fruchttra- gender Probe- bäume [%]	Probe- bäume ge- samt [N]
	hoch		mittel		gering				
	N	[%]	N	[%]	N	[%]			
16	1	5,6	3	16,7	1	5,6	5	27,8	18
19	4	22,2	4	22,2	1	5,6	9	50,0	18
26	2	11,1	1	5,6	4	22,2	7	38,9	18
32	2	13,3	3	20,0	2	13,3	7	46,7	15
<b>Gesamt</b>	<b>9</b>	<b>13,0</b>	<b>11</b>	<b>15,9</b>	<b>8</b>	<b>11,6</b>	<b>28</b>	<b>40,6</b>	<b>69</b>

In 2003 ist dagegen die Anzahl fruchttragender Bäume im Gegensatz zum Jahr 2001 insgesamt deutlich erhöht. Hier fällt vor allem die Fichtenaltersstufe 19 mit insgesamt 17 fruchttragenden Bäumen auf. In der Altersstufe 32 haben im Jahr 2003 alle 11 Probestämme fruktifi-

ziert (Tabelle 68). Zudem ist zu beachten, dass im Jahr 2003 die Anzahl der Probestämme durch die destruktiven Beprobungen von 69 auf 47 Stück verringert ist.

Tab. 68: Anzahl Früchte tragender Vogelbeeren in 2003

Fichten- alters- stufe	Konkurrenzsituation						fruchttragende Probestämme gesamt [N]	Anteil fruchttra- gender Probe- bäume [%]	Probestämme gesamt [N]
	hoch N [%]	mittel N [%]	gering N [%]						
16	0 0,0	4 40,0	2 20,0			6	60,0	10	
19	6 33,3	5 27,8	6 33,3			17	94,4	18	
26	2 25,0	3 37,5	3 37,5			8	100,0	8	
32	5 45,5	3 27,3	3 27,3			11	100,0	11	
<b>Gesamt</b>	<b>13 27,7</b>	<b>15 31,9</b>	<b>14 29,8</b>			<b>42</b>	<b>89,4</b>	<b>47</b>	

Abbildung 93a und b zeigt eine Häufigkeitsverteilung der Probestämme ohne Fruchtmasse aufgeteilt nach BHD-Stärkeklassen. In der Vegetationsperiode 2001 konnten in allen BHD-Größenklassen Bäume gefunden werden, die nicht fruktifiziert haben. Im Jahr 2003 beschränkten sich die Bäume ohne Fruktifikation auf die geringeren BHD-Klassen zwischen 2 cm und 7 cm Stärke.

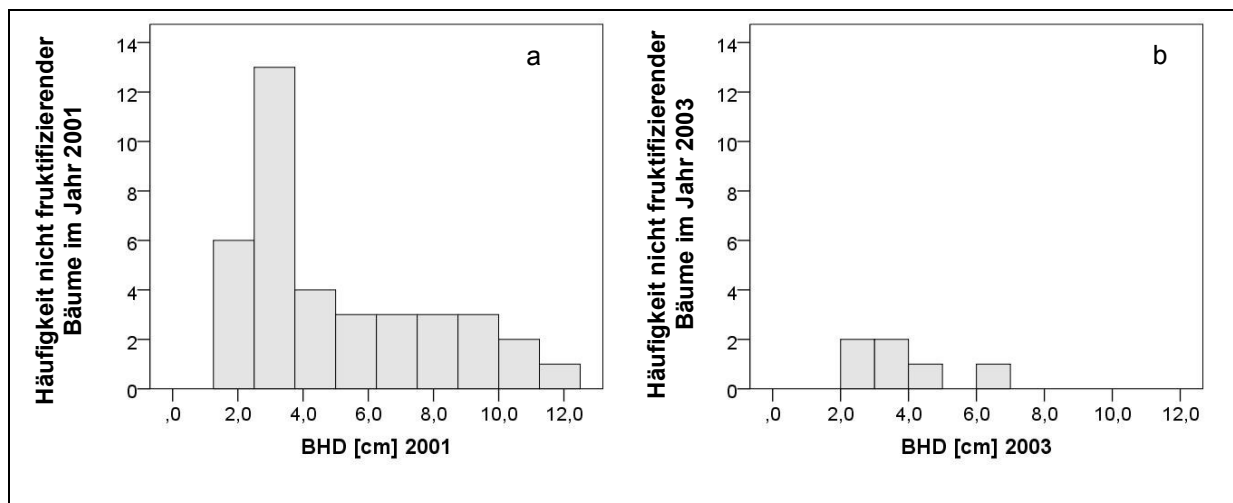


Abb. 93a und b: Häufigkeitsverteilung der BHD-Werte von Probestämmen ohne Fruchtmasse in den Jahren 2001 und 2003

Ein Einfluss der Faktoren Fichtenaltersstufe, Freistellungsvariante und Konkurrenzsituation auf den absoluten Zuwachs der Fruchttrockenmasse der Aufnahmejahre 2001 und 2003 ist aufgrund der geringen Datenmenge (zu geringe Zellbesetzung) und der hohen Streuungen nicht vertrauenswürdig bzw. nicht möglich. Dennoch zeigt Abbildung 94 den Trend, dass die freigestellten Vogelbeeren mehr Fruchttrockenmasse als die nicht freigestellten Vogelbeeren produzierten (Zuwachs Fruchtmasse 2001-2003). In der Fichtenaltersstufe 26 stellt der Baum mit der ID 2634 mit einem Zuwachs von über 1000g Fruchttrockenmasse einen Ausreißer dar.

Er wurde im Diagramm nicht dargestellt. Weiterhin ist offensichtlich, dass stärker freigestellte Bäume mehr Fruchtmasse produzierten, als mäßig freigestellte Bäume. Dies wird in Abbildung 95 verdeutlicht, welche den Einfluss der Freistellungsvariante auf die absolute Fruchtmasse im Jahr 2003 darstellt. Die Freistellungsvarianten „stark“ und „keine“ unterscheiden sich hier signifikant ( $p = 0,005$ ; Tab. 69).

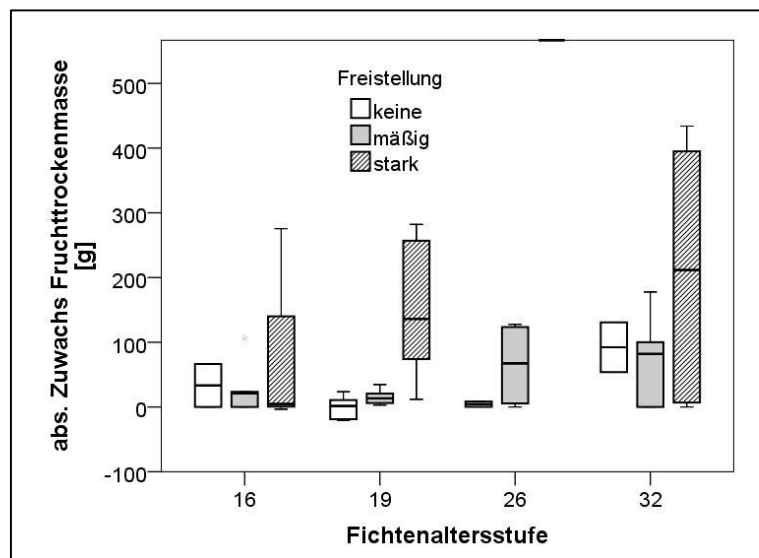


Abb. 94: Absoluter Zuwachs (Vegetationsperiode 2001-2003) der produzierten Fruchttrockenmasse in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe und der Freistellungsvariante

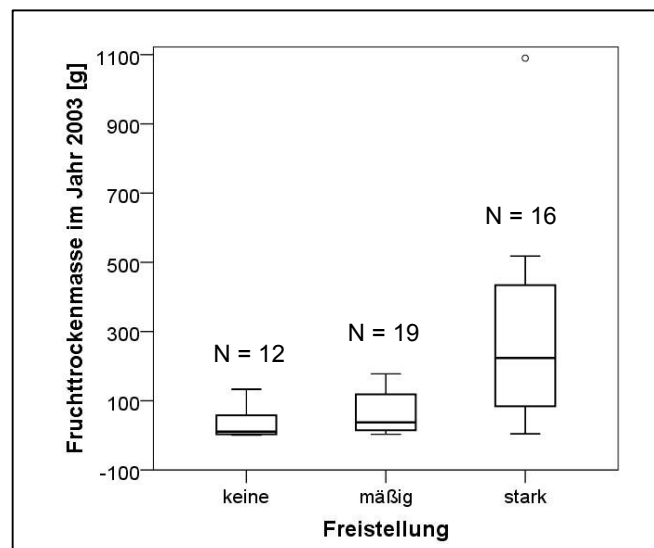


Abb. 95: Absolute Fruchttrockenmasse im Jahr 2003 in Abhängigkeit der Freistellungsvariante

Tab. 69: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests (Signifikanzniveau  $p \leq 0,05$ )

Freistellung	keine	mäßig	stark
keine			
mäßig	0,085		
stark	0,005	0,029	

Abbildungen 96a und b zeigen die Zusammenhänge zwischen der Baumdimension und der produzierten Fruchttrockenmasse im Jahr 2001 und 2003. Es werden nur die Daten der Bäume dargestellt, die fruktifiziert haben, d.h. im Modell sind bei der abhängigen Variable Fruchttrockenmasse keine Nullwerte vorhanden. Die Baumdimension scheint einen Einfluss auf die Menge der produzierten Fruchtmasse zu haben. Es lässt sich ein signifikanter nichtlinearer Ausgleich durch eine Potenzfunktion ( $p = 0,000$ ;  $R^2 = 0,786$ ) zwischen dem BHD und der Fruchttrockenmasse herstellen. Mit zunehmendem BHD nimmt auch die produzierte Fruchttrockenmasse zu. Der Datensatz aus dem Jahr 2003 zeigt größere Streuungen der Datenwerte. Das Modell zwischen BHD und der produzierten Fruchtmasse folgt hier einer exponentiellen Funktion, die aber ebenfalls hoch signifikant ist ( $p = 0,000$ ;  $R^2 = 0,786$ ).

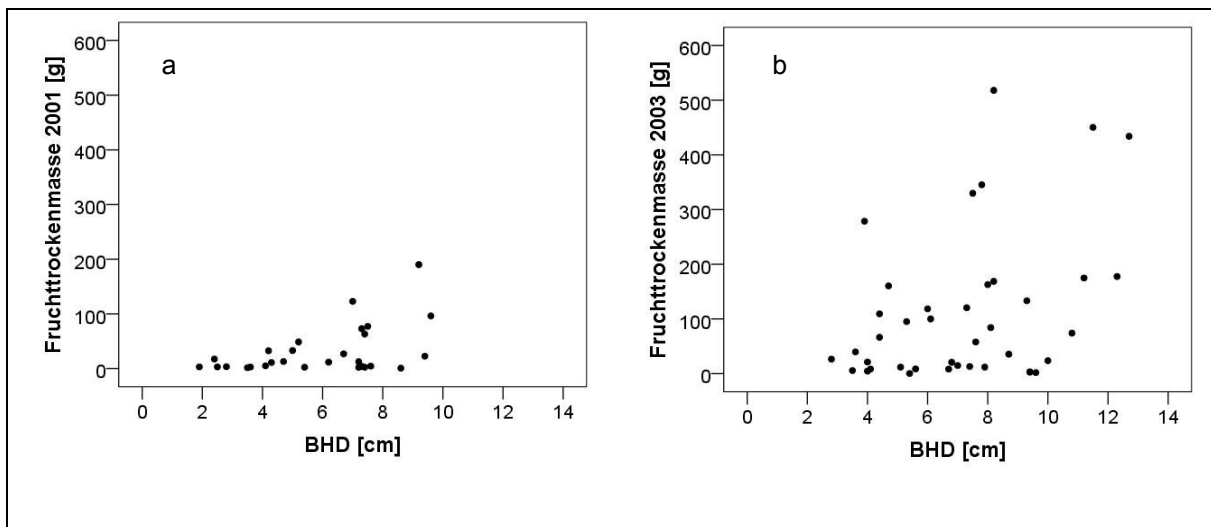


Abb. 96a-b: Produzierte Fruchttrockenmasse in Abhängigkeit des BHD in den Jahren (a) 2001 und (b) 2003 (2001: Potenzfunktion,  $y = x^{1,459}$ ,  $p = 0,000$ ,  $R^2 = 0,776$ ; Konstante ausgenommen; 2003: exponentielle Funktion,  $y = e^{0,489x}$ ,  $p = 0,000$ ,  $R^2 = 0,786$ , Konstante ausgenommen)

Die produzierte Fruchtmasse lässt sich auch mit anderen Wachstumsparametern wie Kronenlänge (Abb. 97a) und Kronenschirmfläche (Abb. 97b) in Beziehung setzen. Dargestellt werden die Werte aus dem Jahr 2001, da für diesen Zeitraum die meisten Datenwerte vorhanden waren. Mit zunehmender Dimension der Kronenlänge und -schirmfläche konnte in beiden Fällen eine Zunahme der produzierten Fruchttrockenmasse beobachtet werden. Bei den Daten der Kronenlänge konnte dies durch eine Potenzfunktion ( $p = 0,000$ ;  $R^2 = 0,754$ ) beschrieben werden. Die Beziehung zwischen Kronenschirmfläche und produzierter Fruchttrockenmasse folgt einer linearen Funktion ( $p = 0,000$ ;  $R^2 = 0,624$ ).

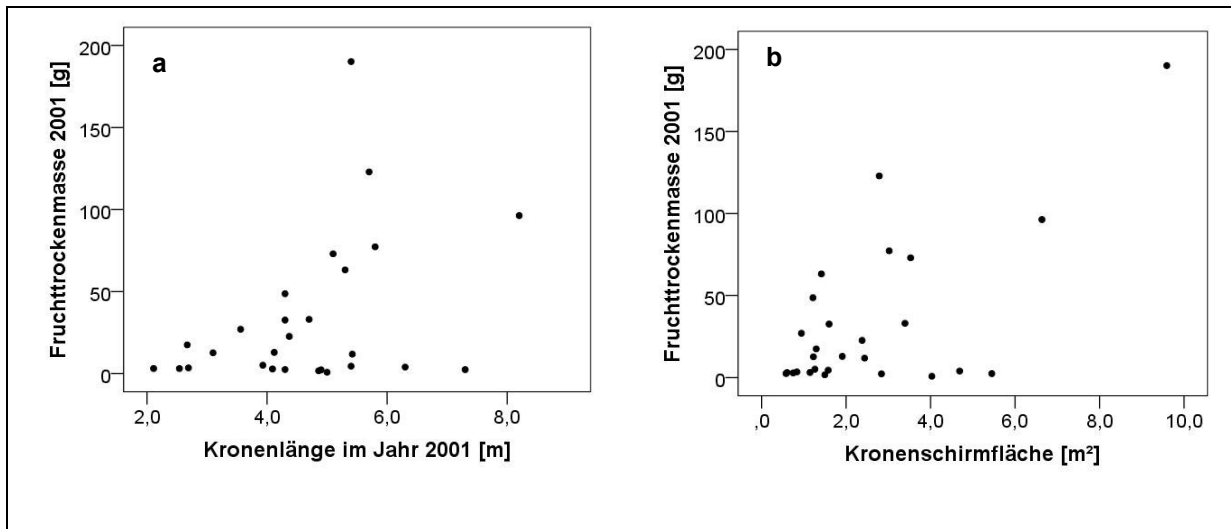


Abb. 97a-b: Produzierte Fruchttrockenmasse in Abhängigkeit der (a) Kronenlänge und (b) der Kronenschirmfläche im Jahr 2001 (Kronenlänge: Potenzfunktion,  $y = x^{1,658}$ ,  $p = 0,000$ ;  $R^2 = 0,754$ , Konstante ausgenommen; Kronenschirmfläche: lineare Funktion,  $y = 13,385 * x$ ,  $p = 0,000$ ;  $R^2 = 0,624$ , Konstante ausgenommen)



### 3.2.4 Modellierung der Feinwurzelbiomasse

Die Feinwurzelbeprobung erfolgte in einem definierten Stichprobenraster, welches sternförmig und konzentrisch um den Probebaum angelegt war. Mit Hilfe verschiedener Modelle wurde versucht, aus den gewonnenen Punktdaten flächige Daten zur Feinwurzelverteilung zu generieren. Die Ergebnisse der benutzten Modelle werden im Folgenden dargestellt.

Die Stichprobenwerte der lebenden Feinwurzelmasse der acht untersuchten Vogelbeeren zeigen in Abhängigkeit der Entfernung von der Stammachse hohe Streuungen (Abb. 98). Auffallend sind vor allem die Werte des Baumes 3202 aus dem 32-jährigen Fichtenbestand und des Baumes 2632 aus dem 26-jährigen Fichtenbestand. So sind z.B. bei Baum 3202 in einer Entfernung von 1,15 m in einer Probe noch ca. 64 g Feinwurzelmasse pro Quadratmeter gemessen worden, was ungefähr der 3- bis 4-fachen Menge der restlichen beobachteten Werte entspricht.

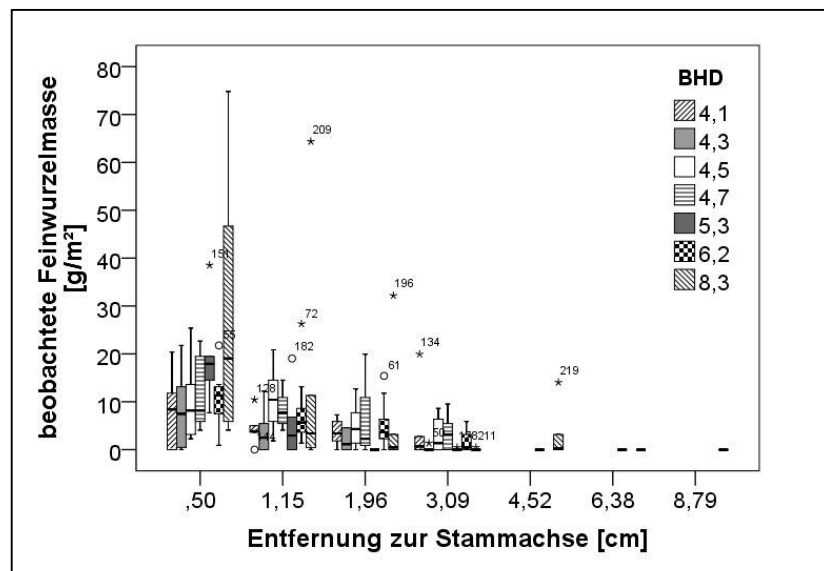


Abb. 98: Beobachtete Feinwurzelmassen je m<sup>2</sup> von sieben Vogelbeeren in Abhängigkeit der Entfernung von der Stammachse und in Abhängigkeit des BHDs

Insgesamt zeichneten sich die Modellierungen der Gesamtfeinwurzelmasse der einzelnen Bäume nur mit geringen Bestimmtheitsmaßen und hohen Korrelationen zwischen den Parameterschätzungen aus. Lediglich für den Baum 3202 aus dem 32-jährigen Fichtenbestand konnte mit dem Ribbensmodell für einzelne BHDs eine geeignete Schätzung mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,32 durchgeführt werden. Demnach besitzt die Vogelbeere 3202 mit einem BHD von 8,3 cm eine geschätzte Feinwurzelgesamtmasse von ca. 255 g. Die maximale Länge der Wurzel ausbreitung (WMA) liegt bei 9,2 m. Betrachtet man 95 % der ermittelten

Wurzelmasse, dann breitet sich diese nur in einem zirkularen Bereich um die Vogelbeere bis zu 4,4 m aus. Die Entfernung der maximalen Wurzelhäufigkeit wurde mit dem Extremwert der Dichtefunktion bei 0,91 m ermittelt, d.h. in dieser durchschnittlichen Entfernung ist die höchste Feinwurzeldichte des Baumes zu finden. Tabelle 70 zeigt die Ergebnisse und die geschätzten Parameter des Modells.

Tab. 70: Ergebnisse der Modellschätzung „Ribbens für einzelne BHDs“ für Baum Nr. 3202

Baum Nr. 3202 BHD 8,3 cm	Parameter	Schätz -wert	Vorgabe- parameter	Standard- fehler	95% Konfidenzintervall		R <sup>2</sup>
					unteres	oberes	
<b>Ribbens- funktion für einzel- ne BHDs</b>	N	255,15	300	284,48	-320,26	830,56	0,32
	D	1,11	0,5	1,99	-2,91	5,12	
	$\theta$	0,99	1,0	1,67	-2,38	4,37	
	DMH	0,91					
	WMA (99%)	9,20					
	WMA (95%)	4,40					

Um die Güte des Modells noch eingehender beurteilen zu können, sollten folgende Aspekte betrachtet werden:

#### Korrelation der geschätzten Modellparameter

Die geschätzten Parameter für Baum 3202 korrelieren im Vergleich zu den geschätzten Parametern der Modellierungen der restlichen Probestämme relativ gering miteinander. Tabelle 71a und b zeigen einen Vergleich der geschätzten Parameter zwischen den Bäumen 3202 und 2625. Die geringeren Korrelationen bei Baum 3202 sind ein Hinweis darauf, dass diese Schätzparameter angepasster sind als in dem Modell des Baumes 2625.

Tab. 71a-b: Korrelation der geschätzten Parameter nach dem Ribbensmodell für einzelne BHDs für (a) Baum Nr. 3202 und (b) für Baum Nr. 2625

Baum 3202	N	D	theta	Baum 2625	N	D	theta
<b>N</b>	1,000	,686	-,843	<b>N</b>	1,000	,950	-,961
<b>D</b>	,686	1,000	-,968	<b>D</b>	,950	1,000	-,999
<b>theta</b>	-,843	-,968	1,000	<b>theta</b>	-,961	-,999	1,000

### Korrelation der geschätzten und beobachteten Werte

Zwischen den Schätzwerten und den beobachteten Werten der Feinwurzelmassen besteht eine signifikante Korrelation (Tab. 72), dies unterstreicht die Eignung des Modells. Abbildung 99 zeigt den Verlauf der geschätzten und beobachteten Werte mit zunehmender Stamm Entfernung.

Tab. 72: Korrelation der beobachteten und geschätzten Messwerte nach dem Ribbensmodell für einzelne BHDs für Baum Nr. 3202 (\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.)

<b>Baum 3202</b> BHD = 8,3 cm	<b>Koeffizient (<math>r_s</math>)</b>	<b>Signifikanz</b>	<b>n</b>
Korrelation nach Pearson	,573(**)	0,000	42

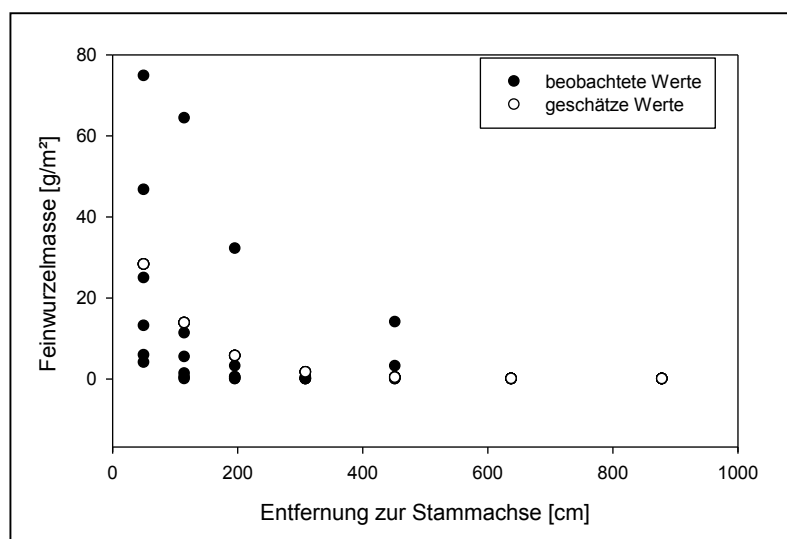


Abb. 99: Verteilung der beobachteten und geschätzten Werte der Feinwurzelmassen nach dem Ribbensmodell für einzelne BHDs mit zunehmender Entfernung zur Stammachse ( $R^2 = 0,32$ ), Baum Nr. 3202

### Residuenanalyse

Ein weiterer Hinweis für die Güte des Modells ist die Analyse der Residuen gegen die unabhängige Variable „Entfernung“. Dieses Verfahren zeigt, ob die Abweichungen an allen Stellen gleichmäßig um die Funktion verteilt sind. Ungünstig wäre es z.B., wenn ein großer Teil der Residuen an einer bestimmten Stelle positiv wäre. Für das vorliegende Modell zeigt Abbildung 100, dass bei den geringen Entfernungen von der Stammachse ein größerer Teil der Residuen negativ ist.

### Konfidenzintervall der Schätzwerte

Das Konfidenzintervall (Tab. 73) des geschätzten Parameters „Gesamtfeinwurzelmasse“ umfasst eine relativ große Spannweite. Dies weist entweder auf einen zu geringen Stichprobenumfang hin oder die untersuchte Zielgröße ist so variabel in ihrer Ausprägung, dass nur durch

eine unrealistisch große Stichprobe ein Konfidenzintervall von akzeptablem Umfang erreicht werden könnte (SACHS 1999).

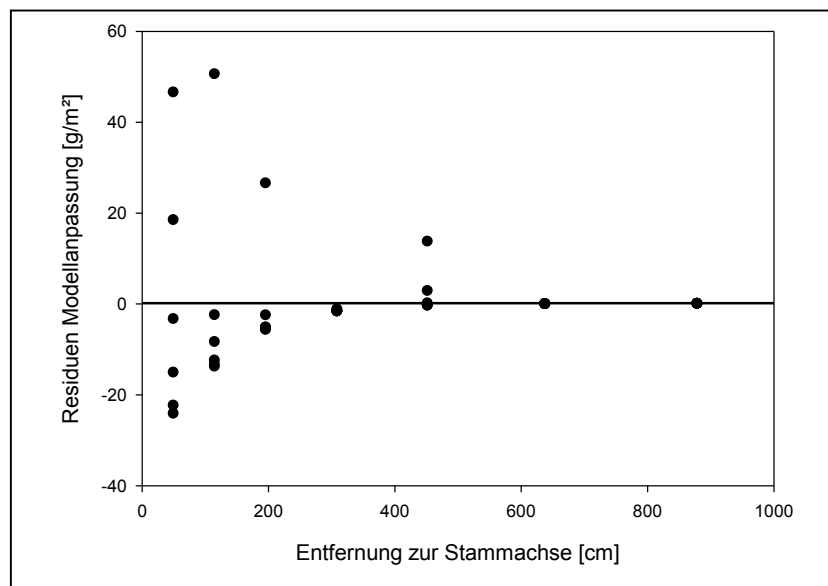


Abb. 100: Verteilung der Residuen des Ribbensmodells für einzelne BHDs mit zunehmender Entfernung zur Stammachse, Baum Nr. 3202

Da die Modellierung der Feinwurzelgesamtmassen für die restlichen sieben beprobten Einzelbäume ungeeignete Schätzwerte zeigte und das Modell des Baumes 3202 relativ gut geeignet erschien, wurden Modelle für einen „mittleren Baum“ aus der gesamten Stichprobe aller 8 Bäume angepasst. Die besten Anpassungen zeigten die Modelle mit BHD-Ausgleich, so dass die Ergebnisse dieser Schätzungen hier aufgeführt werden sollen. Die beiden angewendeten Modelle haben mit einem  $R^2$  von 0,30 das gleiche Bestimmtheitsmaß, aber das Ribbensmodell mit BHD-Ausgleich zeigt die besseren Schätzwerte (Tab. 73). Die Modellparameter zeigen hier auch geringere Korrelationen (Tab. 75). Die Schätzwerte des Log-Normal-Modells fallen mit einem weiteren Vertrauensbereich und hochgradig korrelierenden Modellparametern wesentlich ungünstiger aus (Tab. 73 und Tab. 74). Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen des WMA wider. Demnach breiten sich 99 % der Gesamtwurzelmasse bis zu 63 m und 95 % der Gesamtwurzelmasse bis zu 21m von der Stammachse entfernt aus. Nach dem Ribbensmodell breiten sich 99 % der Gesamtwurzelmasse bis zu 18 m und 95 % der Gesamtwurzelmasse bis zu 8m von der Stammachse entfernt aus.

Tab. 73: Ergebnisse der Modellschätzung „Log-Normal mit BHD-Ausgleich“ und „Ribbens mit BHD-Ausgleich“ für einen mittleren Baum

Modell	Parameter	Schätzwert	Standardfehler	95 % Konfidenzintervall		R <sup>2</sup>
				unteres	oberes	
Log-Normal mit BHD-Ausgleich	N	270,46	242,04	-206,50	747,43	0,30
	$\mu$	1,24	1,04	-0,82	3,29	
	$\sigma$	1,09	0,42	0,26	1,92	
	$\beta$	1,48	0,28	0,93	2,02	
	MDH	1,04				
	WMA (99%)	63,0				
	WMA (95%)	21,0				
Ribbensfunktion mit BHD-Ausgleich	N	202,63	134,90	-63,22	468,47	0,30
	D	1,17	0,88	-0,56	2,90	
	$\beta$	1,48	0,28	0,93	2,02	
	$\theta$	0,77	0,53	-0,27	1,81	
	MDH	1,16				
	WMA (99%)	18,0				
	WMA (95%)	8,0				

Tab. 74: Korrelation der geschätzten Parameter nach dem Modell Log-Normalverteilung mit BHD-Ausgleich

	N	$\mu$	$\sigma$	$\beta$
N	1,00	0,99	0,96	-0,06
$\mu$	0,99	1,00	0,99	-0,01
$\sigma$	0,96	0,99	1,00	-0,01
$\beta$	-0,06	-0,01	-0,01	1,00

Tab. 75: Korrelation der geschätzten Parameter nach dem Ribbensmodell mit BHD-Ausgleich

	N	D	$\beta$	$\theta$
N	1,00	0,81	-0,07	-0,91
D	0,81	1,00	-0,01	-0,98
$\beta$	-0,07	-0,01	1,00	0,01
$\theta$	-0,91	-0,98	0,01	1,00

Die Korrelationen der beobachteten und die mit dem Ribbensmodell geschätzten Werte sind mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,475 nicht so hoch wie beim Baum 3202, aber immer noch signifikant (Tab. 76). Der Verlauf der geschätzten und beobachteten Werte in Abhängigkeit von der Entfernung zur Stammachse (Abb. 101) zeigt wie bei Baum 3202 hohe Feinwurzeldichten in der Stammnähe bis zu einem Abstand von ca. 2m, die dann schnell mit zunehmender Stammentfernung abnehmen. Die Verteilung der Residuen um den Wert 0 mit

zunehmender Stamm Entfernung zeigt ein gleichmäßiges Bild (Abb. 102). Insgesamt sind dies Hinweise, dass die Schätzungen des Modells nach Ribbens mit BHD-Ausgleich vertrauenswürdig sind.

Tab. 76: Korrelation der beobachteten und geschätzten Messwerte nach dem Ribbensmodell für einzelne BHDs (\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau  $p \leq 0,01$  signifikant (zweiseitig)).

	Koeffizient ( $r_s$ )	Signifikanz	n
Korrelation nach Pearson	0,475(**)	0,000	228

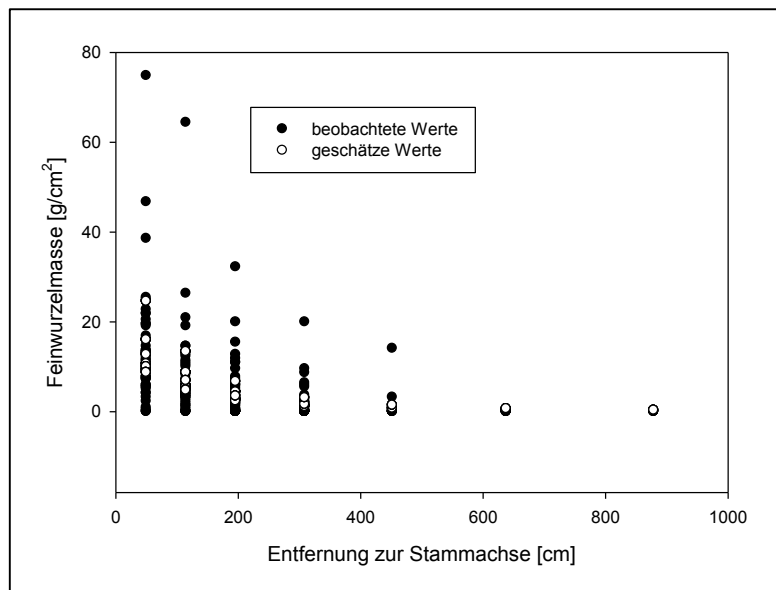


Abb. 101: Verteilung der beobachteten und geschätzten Werte der Feinwurzelmassen nach dem Ribbensmodell mit BHD-Ausgleich mit zunehmender Entfernung zur Stammachse ( $R^2 = 0,23$ )

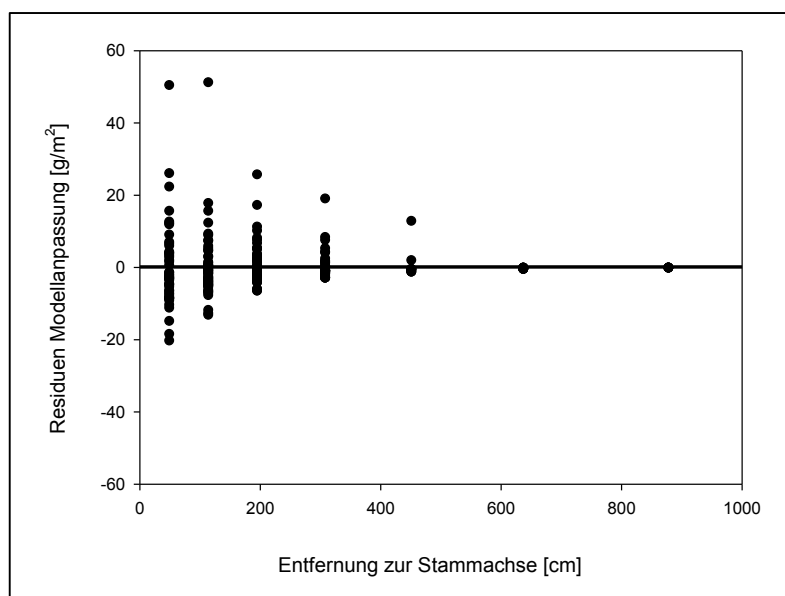


Abb. 102: Verteilung der Residuen des Ribbensmodells mit BHD-Ausgleich mit zunehmender Entfernung zur Stammachse, Referenz-BHD = 5,45cm

Mit dem Term „Baumdimension“ lässt sich nun wieder die Verteilung der Feinwurzel-dichte bei verschiedenen BHDs schätzen. Abb. 103 zeigt diese Verteilung für drei Bäume mit einem BHD von 4,1 cm, 5,45 cm und 8,3 cm. Ebenso lässt sich dann auch die Gesamtfeinwurzel-masse für diese verschiedenen BHDs schätzen. In Tabelle 77 sind die Ergebnisse dargestellt.

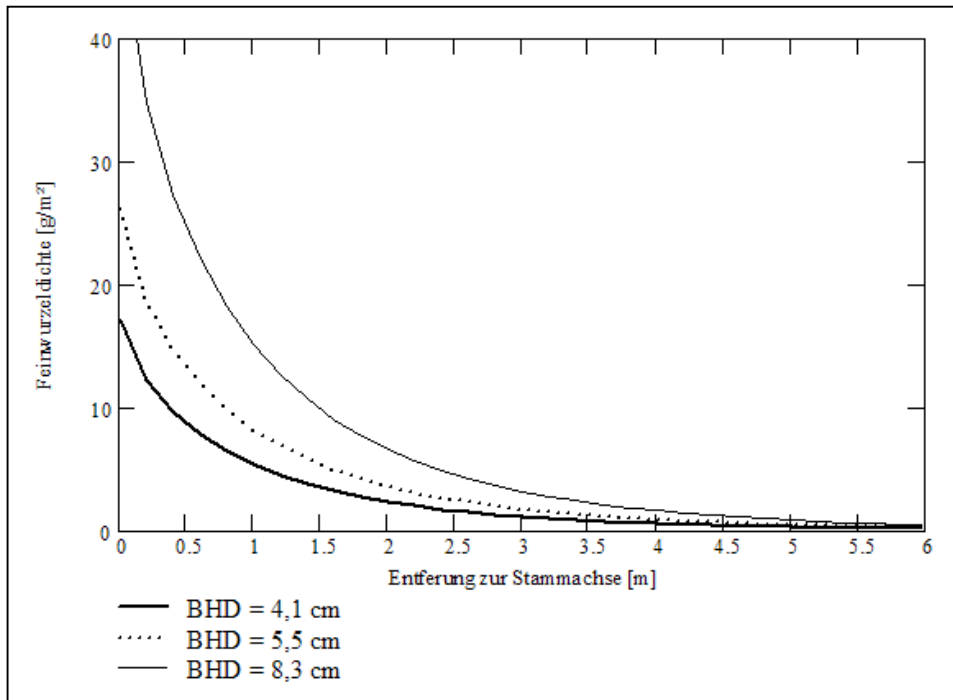


Abb. 103: Feinwurzel-dichte in Abhängigkeit der Entfernung zur Stammachse und der Stärke des BHDs, Modell Ribbens mit BHD-Ausgleich

Tab. 77: Ergebnisse der Schätzung der gesamten Feinwurzelmasse nach dem Modell Ribbens mit BHD-Ausgleich

BHD [cm]	Schätzung Feinwurzelmasse gesamt [g]
4,1	133,16
5,5	202,63
8,3	376,84

### 3.2.5 Allokationsmodell

Im Folgenden soll ein Allokationsmuster der oberirdisch produzierten Bio- bzw. Trockenmasse der Probebäume je Behandlungsvariante im Versuchsdesign dargestellt werden. Dies geschieht durch einen einfachen Vergleich der produzierten Biomassen der untersuchten Baumkompartimente miteinander. Von einer statistischen Analyse muss aufgrund des geringen Datenumfangs an dieser Stelle abgesehen werden. Die Biomassen der verholzten Baumkompartimente (Stamm und Äste) sind aus dem Produkt der ermittelten Trockenmasse und der im Versuch berechneten mittleren Holzdichte von  $0,64 \text{ g/cm}^3$  berechnet worden.

Die Abbildungen 104 zeigt die Verteilung der Biomasse auf die untersuchten Baumkompartimente Stamm, Äste aus der Licht- und Schattenkrone sowie Blattmasse unterteilt nach den Versuchsvarianten der Konkurrenzsituation, der Freistellung und der Fichtenaltersstufe zum Fällungszeitpunkt der jeweiligen Probebäume. Folglich fließen je nach Fällungstermin unterschiedliche Biomassendaten, nämlich für die Jahre 2002 und 2003, in die Auswertung ein. Die Daten der Früchte wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. In der Vegetationsperiode des Jahres 2002, dem Zeitpunkt der ersten destruktiven Probennahme, sind keine Fruchtmassen erfasst worden. Im Jahr 2003 war zur Fruchtreife das Versuchsdesign nicht mehr komplett, d.h. nicht mehr alle Bäume vorhanden. Der Baum mit der ID 2632 (Fichtenaltersstufe 26, niedrige Konkurrenzsituation, keine Freistellung) fehlt in der Auswertung. Für diesen Baum konnte keine Gesamtblattmasse geschätzt werden, da keine Daten der Primärastdurchmesser vorhanden waren. Da dies der einzige Baum in seiner Variante war (s. Kapitel 2.2.2.4.4), sind im Diagramm nur die Varianten der hohen und mittleren Konkurrenzsituation darstellbar.

Die höchsten Anteile über alle betrachteten Varianten hat jeweils das Kompartiment „Stamm“ mit Biomasseanteilen zwischen 67 und 86 %. Darauf folgen bei fast allen Versuchsvarianten die Trockenmassen der Äste aus der Lichtkrone (ca. 5,5 bis 15,5 %). Ausgenommen sind hier die Werte der Astmassen in den Varianten Fichtenaltersstufe 26 „keine Freistellung“, „mittlere Konkurrenzsituation“ und „mäßige Freistellung“ sowie „hohe Konkurrenzsituation“. Hier ist das Verhältnis zwischen den Astmassen aus der Licht- und Schattenkrone umgekehrt. Jeweils die Astmassen aus der Schattenkrone haben den höheren relativen Anteil an der Gesamtbiomasse des Baumes (14 % zu 2,6 % bei „keine Freistellung“ und „mäßige Konkurrenzsituation“ und 9,4 zu 7,5 % bei „mäßige Freistellung“ und „hohe Konkurrenzsituation“). Die Blattbiomasse nimmt am Gesamtbaum einen verhältnismäßig geringen Anteil ein (zwischen 3,1 und 12,4 % über alle Varianten).



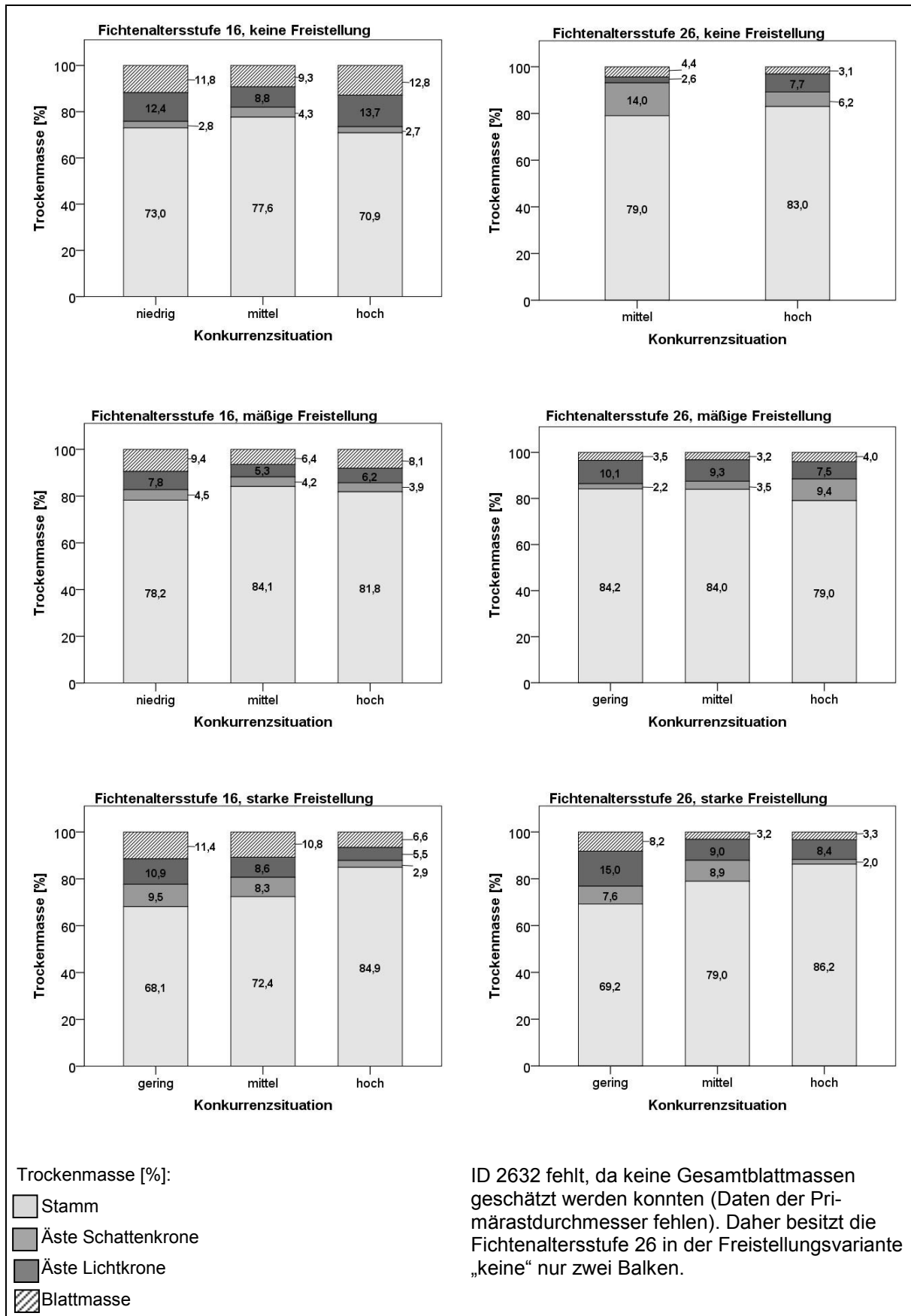


Abb. 104: Allokationsmuster der produzierten Biomasse der Probestämme in Abhängigkeit der Freistellungsvariante, Konkurrenzsituation und Fichtenaltersstufe

Auffallend ist, dass die Bäume der Fichtenaltersstufe 16 im Verhältnis höhere Blattmassenanteile als die Bäume der Fichtenaltersstufe 26 haben. Die tendenzielle Zunahme der Blattmasse mit zunehmender Freistellungsstärke (s.a. Kapitel 3.1.5.3) ist für die Fichtenaltersstufe 16 auch im Allokationsmodell zu erkennen. In beiden Altersstufen scheint die starke Freistellung bei geringer Konkurrenzsituation das Verhältnis der Biomasse zugunsten der Astmasse zu verschieben.

## 4 Diskussion

### 4.1 Diskussion Inventur

Das waldbauliche Experiment bildet den Hauptschwerpunkt der Arbeit, welches auf Freistellungsversuchen von Vogelbeeren in Einzelmischungen basiert. Andere Mischungsformen, wie z.B. Gruppen oder Trupps, wurden nicht beachtet. Demnach kann auch nur für Vogelbeereinzelmischungen eine waldbauliche Aussage aus dem Experiment gezogen werden. Daraus folgernd sollte auch nur das Potential dieser Mischungsform bei den gewählten Inventurverfahren erfasst und näher beleuchtet werden. Eine Analyse eines gesamten Vogelbeerenpotentials in Fichtenjungbeständen war nicht das Ziel der Untersuchungen.

#### Grundsätzliche Bemerkungen zu den gewählten Verfahren der Datenbankabfrage und der terrestrischen Inventur

Für das Untersuchungsziel „Potentialerfassung“ wurde zunächst evaluiert, ob die Erfassung der Vogelbeer-Einzelmischungen in den jungen Fichtenbeständen auch per Luftbildanalyse möglich gewesen wäre. Dies wurde als eine wünschenswerte Methode angenommen, um das Mischungspotential großräumig und objektiv zu erfassen. Zur Verfügung standen damals CIR-Bilder im Maßstab 1:7.000 aus einer 1998er-Befliegung. Die probeweise Sichtung von Luftbildern ausgewählter Bestände (u.a. der Versuchsbestände) zeigte, dass die überwiegend unterständigen Vogelbeeren sich in Fichtenjungbeständen auf einem Luftbild kaum identifizieren lassen. Die Kronendächer der jungen Fichtenbestände präsentierten sich dabei überwiegend als homogenes geschlossenes Bild. Weiterhin war eine Unterscheidung der Vogelbeeren von anderen Laubbäumen kaum möglich gewesen. Selbst in Rand- und Störungsbereichen (Blößen) der Bestände konnten die Ebereschen nicht als solche erkannt werden, da eine Artunterscheidung nicht möglich war. Zum damaligen Wissensstand beschränkte sich die Baumartenerkennung anhand von Luftbildern auf die Unterscheidung von Hauptbaumarten, und auch hier konnte nicht jede Art genau bestimmt und von anderen Arten unterschieden werden (AFL 1998 und 1999).

Aus diesen Gründen wurde für die großräumige Potentialerfassung auf eine Datenbankabfrage umgeschwenkt. Mit dem Zugriff auf die Forsteinrichtungsdaten des Landes Sachsen im Programm FESA konnten ebenfalls ein großer Teil an Waldflächen angesprochen werden.

Allerdings beschränkten sich die Informationen dann nur auf Bestände des Staatswaldes. Vorteilhaft war hier aber die Möglichkeit der Einschränkung der Abfrage durch Filtereinstellungen (M-Standorte, Altersklassen, etc.). Insgesamt stellte die Datenbankabfrage ein sehr pragmatisches Verfahren dar. Es wurde vergleichsweise zügig ein umfangreicher Informationsgewinn erzielt, der sich im Nachgang in vielfältiger Weise analysieren ließ.

Im Endeffekt wurde dann für die vorliegende Untersuchung eine Kombination aus Datenbankabfrage (FESA) und terrestrischer Inventur gewählt. Die terrestrische Inventur diente hierbei aber nicht zur Überprüfung der erfassten Potentiale aus den Forsteinrichtungsdaten. Vielmehr sollte sie als „Vorsichtung“ bzw. „Vorstufe“ im Algorithmus der Potentialerfassung eingeordnet sein. Aus dem Datensatz der Abfrage im Programm FESA wurde dann schrittweise eine Stichprobe an Bestände für die terrestrische Erfassung gezogen

Das Abfrageergebnis setzte sich dann aus einer Liste an Fichtenjungbeständen bis zum Alter 50 zusammen, in welchen Vogelbeeren in der Mischungsform „einzelbaumweise“ in den Oberstand eingemischt, oder innerhalb der Bestände oder an Bestandesrändern als „weitere Baumart“ gesichtet worden waren. Dieser Vorgang unterliegt aber auch einer gewissen Subjektivität, da dem Forsteinrichter die inhaltliche Gestaltung des Textfeldes beim Inventurverfahren weitestgehend freigestellt ist (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN 1995). Wurden die Vogelbeeren als „weitere Baumart“ erfasst, so wurde dies im Forsteinrichtungsverfahren in einem Textfeld vermerkt, welches ebenfalls bei einer Abfrage nach dem Eintrag „GEB“, „Eberesche“ oder „Vogelbeere“ durchsucht werden kann.

Das Ziel der Textabfragen bestand darin, das Vorkommen von vereinzelt Vogelbeeren, deren quantitativer Anteil nicht in die Forsteinrichtungsdaten eingegangen ist, für die vorliegende Untersuchung einzuschätzen und gleichzeitig die Liste der Bestände für die Stichprobe der terrestrischen Inventur zu erweitern. Für die Bestände, in denen die Vogelbeere nur in der Textzeile der Forsteinrichtungsdaten eine Erwähnung fand, wurde angenommen, dass möglicherweise vereinzelt Vogelbeeren oder Vogelbeerentrupps an den Bestandesrändern als Verjüngungsquellen bzw. Samenmutterbäume dienten und eine weitere Verbreitung der Vogelbeere innerhalb der Bestände ermöglicht haben. Bei der terrestrischen Inventur sind diese Bestände dann gezielt aufgesucht worden, um diese Annahme überprüfen zu können.

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen konnten für sieben Forstämter keine Textfeldabfragen erfolgen. Diese Forstämter waren bei der damaligen Abfrage noch nicht nach dem aktuellen Forsteinrichtungsverfahren eingerichtet und somit existierten für diese keine Datenbankeinträge mit zugeordneten Textfeldern. Dies waren die damaligen Forstamtsbereiche Lauter, Heinzebank, Leubnitz, Stollberg, Adorf, Bad Gottleuba und Grünhain.

Die grundlegende Stichprobe an auswertbaren Beständen wurde zum einen durch die bewusst gewählten Ziel- und Abfragekriterien, aber auch durch oben genannten Einschränkungen bei der Datenbankabfrage, welche nicht beeinflusst werden konnten, eingeschränkt. Dies lässt die Existenz einer höheren Dunkelziffer an einzelbaumweisen eingemischten Vogelbeeren vermuten. Die Datenbankabfrage ergab letztendlich eine Fläche von ca. 700 ha, in denen die Vogelbeere in Fichtenjungbeständen einzelbaumweise vorkommt. Ähnliche Untersuchungen aus anderen Ländern sind der Autorin nicht bekannt, so dass die gefundenen Ergebnisse schwer zu vergleichen sind. Es können hier nur die Befunde von SPELSBERG (1997) aus einem 1995 durchgeführten Testlauf der Landeswaldinventur Nordrhein-Westfalens genannt werden, welcher insgesamt 411 ha reine Holzbodenfläche für die Baumart Vogelbeere auswerten konnte. Das sind 0,4 % der gesamten Holzbodenfläche Nordrhein-Westfalens. Die Landeswaldinventur Nordrhein-Westfalens geschah auf Stichprobenbasis.

Vergleichende aktuelle Auswertungen zu den Befunden SPELSBERGS (1997) sind durch Abfragen der aktuellen Datenbanken der dritten Bundeswaldinventur möglich. Tabelle 78 zeigt die Baumartenanteile, den Holzbodenanteil und die ideelle Fläche der Baumart Vogelbeere für die einzelnen Bundesländer und für Gesamtdeutschland aus den Ergebnissen der dritten Bundeswaldinventur (BWI III) aus dem Jahr 2012. Dazu ist jeweils der absolute oder relative Stichprobenfehler bei einem Vertrauensintervall von 95% angegeben. Die Ergebnisse der Länder mit bedeutenden Anteilen sind fett hervorgehoben.

Tab. 78: Vorkommen der Vogelbeere in den einzelnen Bundesländern (Abfrage aus der dritten Bundeswaldinventur, Thünen-Institut, Stand 2012<sup>7</sup>)

Bundesland	Baumartenanteil		Holzbodenanteil		ideelle Fläche <sup>1</sup>	
	[%]	SE 95 ±	[%]	SE 95 ±	[ha]	SE 95 ± [%]
Baden-Württemberg	0,7	0,12	<b>0,7</b>	0,11	<b>9.070</b>	16,7
Bayern	0,7	0,17	<b>0,7</b>	0,16	<b>17.721</b>	22,9
Brandenburg und Berlin	0,0	0,03	0,0	0,03	299	91,5
Hessen	0,6	0,27	0,6	0,26	4.829	46,0
Mecklenburg-Vorpommern	0,2	0,07	0,2	0,07	825	41,6
Niedersachsen	0,3	0,13	0,3	0,13	3.569	40,7
Nordrhein-Westfalen	<b>0,8</b>	0,30	<b>0,7</b>	0,29	<b>6.500</b>	39,3
Rheinland-Pfalz	0,5	0,13	0,5	0,13	3.757	27,1
Saarland	0,5	0,78	0,5	0,77	463	168,5
Sachsen	<b>0,9</b>	0,32	<b>0,9</b>	0,32	4.405	36,5
Sachsen-Anhalt	0,3	0,14	0,3	0,14	1.519	44,5
Schleswig-Holstein	0,4	0,17	0,4	0,17	615	46,4
Thüringen	<b>1,0</b>	0,34	<b>1,0</b>	0,34	5.002	34,6
Hamburg und Bremen						
<b>Deutschland</b>	0,6	0,06	0,5	0,06	58.575	10,8

<sup>1</sup>die ideelle Fläche errechnet sich aus den Standflächenanteilen des rechnerischen Reinbestandes (Thünen-Institut, [https://bwi.info/Hilfe/DEUTSCH\\_WichtigFuerDasVerstaendnis.pdf](https://bwi.info/Hilfe/DEUTSCH_WichtigFuerDasVerstaendnis.pdf); Abruf am 05.06.2015).

**SE 95 ±** = absoluter Stichprobenfehler bei einem Vertrauensintervall von 95% (SE = sample error (Anmerk. der Verfasserin))

**SE 95 ± [%]** = relativer Stichprobenfehler bei einem Vertrauensintervall von 95%  
der relative Stichprobenfehler ist das Verhältnis aus absolutem Stichprobenfehler (SE95±) und Schätzwert

(Thünen-Institut, [https://bwi.info/Hilfe/DEUTSCH\\_WichtigFuerDasVerstaendnis.pdf](https://bwi.info/Hilfe/DEUTSCH_WichtigFuerDasVerstaendnis.pdf); Abruf am 05.06.2015)

Diese Tabelle soll nur einen informativen Anhalt geben, die Stichprobenfehler sind in den meisten Fällen sehr hoch. Bezüglich des Baumartenanteils für die Vogelbeere liegen Thüringen (1%) und Sachsen (0,9%), gefolgt von Nordrhein-Westfalen (0,8%) vorn. Dieses Bild wiederholt sich auch beim Holzbodenanteil (Thüringen = 1,0% und Sachsen = 0,9%), wobei Nordrhein-Westfalen hier mit Baden-Württemberg und Bayern mit jeweils 0,7% gleichauf liegt. Bei den absoluten Hektarwerten steht das Bundesland Bayern mit ca. 17.700 ha an der Spitze, gefolgt von Baden-Württemberg (ca. 9.100 ha) und Nordrhein-Westfalen (6.500 ha).

<sup>7</sup> Abfrage vom 02.06.2015 mit freundlicher Unterstützung von Petra Hennig, Thünen-Institut

Die relativen Stichprobenfehler sind für Bayern (16,7%) und Baden-Württemberg (22,9%) im Falle der ideellen Fläche noch am geringsten einzustufen, so dass diese Ergebnisse noch am verlässlichsten erscheinen. Weiterhin sind natürlich die unterschiedlichen Rastergrößen der Inventur je nach Bundesland zu beachten. Weitere Informationen dazu unter <https://bwi.info/>. Der Baumartenanteil der Vogelbeere von 0,6% und der Holzbodenanteil von 0,5% für Gesamtdeutschland sind vergleichsweise gering.

Nach den Ergebnissen der dritten Bundeswaldinventur stockt die die Vogelbeere auf einer ideellen Fläche von insgesamt ca. 58.600 ha (relativer Stichprobenfehler von 10,8% bei einem Vertrauensintervall von 95%).

Der insgesamt ermittelte Anteil von 2 % Fichtenjungbeständen mit Vogelbeere in Einzelmischung für den Landeswald Sachsen erscheint vergleichsweise gering. Doch auch hier muss wiederholt auf die gestellten Abfragekriterien und die Einschränkungen bei der Datenbankanalyse hingewiesen werden. So ist sicherlich davon auszugehen, dass die Vogelbeere auf einer größeren Standortsamplitude zu finden ist. Gerade für die höheren Lagen und die Kammlagen ist davon auszugehen, dass dort noch beachtliche Flächenanteile derartiger Bestände zu finden sind (PRIEN 1964). Dies konnte bei der Suche nach geeigneten Versuchsflächen für den waldbaulichen Versuch selbst festgestellt werden.

Bei der Sichtung der Daten war weiterhin auffallend, dass die Vogelbeere häufig Eingang in Form einer eigenen Bestandeszeile in die Forsteinrichtungsdaten gefunden hat, obwohl für sie ein Mischungsanteil unter 5 % ausgewiesen worden ist. Es ist folglich anzunehmen, dass sie in diesen Fällen als wertvolle Baumart mit einer Mindestfläche 0,1 ha erfasst werden konnte. Dies sollte an dieser Stelle positiv hervorgehoben werden.

Die Aufnahmeanweisung zur terrestrischen Inventur sah ebenfalls nur die Erfassung der einzelbaumweisen Vogelbeeren vor. Andere Mischungsformen, wie „trupp- und streifenweise“ Mischungen, wurden dabei außer Acht gelassen. Mit dem gewählten Verfahren können daher keine Einschätzungen zum gesamten Vogelbeerenpotential in Fichtenjungbeständen gegeben werden. Es sollten hier nur Aussagen speziell für Einzelmischungen getroffen werden, denn nur für diese Mischungsform konnten aufgrund des gewählten Versuchsdesigns des waldbaulichen Experiments spezifische Erkenntnisse zum Wuchsverhalten nach Freistellungen gewonnen werden. Das Wuchsverhalten von Vogelbeeren innerhalb von Trupps und Gruppen

ist aufgrund des Zusammenwirkens von intra- als auch interspezifischen Konkurrenzverhältnissen anders zu beurteilen und zu untersuchen (HILLEBRAND 1998).

### Ergebnisse der FESA-Abfrage

Das Vorkommen von Vogelbeeren in den Fichtenjungbeständen kann von vielen Faktoren beeinflusst sein. Hier spielen z.B. die zurückliegende waldbauliche Behandlung und / oder die herrschenden Konkurrenzverhältnisse in den verschiedenen Wuchsstadien der Fichtenbestände (Ausdunkelungseffekte, PRIEN 1964), aber auch die räumliche Verteilung der Samenmutterbäume bei der Etablierung eine große Rolle.

Die Verteilung der Fichtenbestände, welche eine Einzelbaumbeimischung von Vogelbeere aufweisen, zeigt ein uneinheitliches Bild (Kapitel 3.1). Insgesamt könnte eine ansteigende Verteilung zu den älteren Fichtenbeständen der Altersklasse 4 und 5 vermutet werden, wenn die Verteilung bei der Altersklasse 3 nicht stark einbrechen würde. Für Erklärungen liegen hier zu wenig Hintergrundinformationen über die Größe und räumliche Verteilung dieser Bestände vor, um diesen Einbruch beurteilen zu können. Möglicherweise liegen die Bestände der Altersklasse 3 überwiegend in größeren Fichtenkomplexen, in denen eine Vogelbeerenverbreitung erschwert gewesen ist. Für die höheren Anteile der älteren Bestände mit Vogelbeerenbeimischung kann vermutet werden, dass diese, nach ersten stärkeren Durchforstungen und evtl. Erschließungshieben in der Fichte, eine Veränderung der Mischungsanteile zugunsten der Vogelbeere entwickelten.

Grundlegend kann auch der Anteil der 30- bis 50-jährigen Fichtenbestände im Landeswald Sachsens insgesamt hoch sein. Dies wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht ausgewertet und gegenübergestellt. Eine Begründung dafür könnte sein, dass in vielen Forstbetrieben der Mittelgebirge ein hoher Anteil an Beständen in diesen jungen Altersklassen vorherrscht. Im Thüringer Wald sind dies nachweislich Bestände, welche aus den Kahlfächen der Reparationshiebe nach dem Krieg und z.B. für den Thüringer Wald auch aus der großen Sturm- und Borkenkäferkatastrophe (SCHREIBER et al. 1996) hervorgegangen sind.

Insgesamt sind die bei der Forsteinrichtung erfassten Mischungsanteile der einzelbaumweise eingemischten Vogelbeeren von durchschnittlich 16 % erfreulich hoch. Grundsätzlich könnte man bei diesem Mischungsprozent davon ausgehen, dass hier ein waldbaulich und wirtschaftlich nutzbares Potential an Vogelbeeren vorliegt, ohne zunächst die vorherrschenden Qualitä-



ten zu beurteilen. Interessanterweise ist hier zu bewerten, dass die Mischungsanteile der Vogelbeere in der Altersklasse 3 mit durchschnittlich 22 % am höchsten sind. Obwohl es vergleichsweise wenig Fichtenbestände in der Altersklasse 3 mit einer Vogelbeerenbeimischung gibt, weisen diese aber einen vergleichsweise hohen Mischungsanteil der Vogelbeere auf. Das Ergebnis der FESA-Abfrage erlaubt auch, Aussagen zum Wachstumsgang der Vogelbeere in Fichtenbeständen zu treffen. Der Abbildung 32 ist zu entnehmen, dass die einzelbaumweise eingemischten Vogelbeeren scheinbar in der Fichtenaltersklasse 4 im Höhenzuwachs kulminieren. Die von HILLEBRAND (1998) aufgestellten Wachstumsverläufe zeigen dagegen, dass je nach Bonität ein wesentlich frühzeitigeres Kulminieren des Höhenzuwachses zwischen 5-15 Jahren zu erwarten ist. HILLEBRAND (1998) warnt aber vor der Anwendung der modellierten Daten in jungen Altersstadien und den daraus folgenden Interpretationen. Zumal er für die Aufstellung der Wachstumsgänge nur Vogelbeeren aus Mischbeständen untersuchen konnte und dies bekanntlich mit waldwachstumskundlichen Problemen behaftet sei.

#### Ergebnisse der terrestrischen Inventur

Das Ergebnis der relativen Stammzahlverteilung zeigt einen zunehmenden Abfall der Stammzahlen mit ansteigender Fichtenaltersklassen (Abb. 31). Dieses Bild ist erwartungsgemäß, wenn man an natürliche Mortalitätsraten durch sich verändernde Konkurrenzverhältnisse und auch künstliche Entnahmen der Vogelbeeren denkt. Interessant wären an dieser Stelle vergleichende Untersuchungen, welche die natürliche Entwicklung von Vogelbeeranteilen in den ersten Jahrzehnten von Fichtenreinbeständen beobachtet und belegt hätten. Aufgrund der bisherigen geringen wirtschaftlichen Verwendung und der schwachen Konkurrenzwirkung für die Fichte (PRIEN 1964), werden sicherlich kaum Vogelbeeren in diesen Entwicklungsphasen gezielt entnommen. In der Altersklasse 1 kommt ihr aber auch eine positive Wirkung als Vorwaldschirm für die Fichte zu (PRIEN 1967), was die Bedeutung ihres Erhalts und ihrer waldbauliche Förderung in diesem Stadium unterstreichen soll.

Die damals gültigen Waldbau-Richtlinien (MINISTERIUM FÜR LAND-, FORST- UND NHRUNGSGÜTERWIRTSCHAFT 1985), welche einen konsequenten Aushieb von Weichlaubebäumen in den Nadelbaumkulturen gefordert hatten, könnten ebenfalls eine Erklärung für die geringen Vogelbeerenstammzahlen in den älteren Fichtenbeständen sein. Interessant ist an dieser Stelle der Befund, dass im Mittel die höchsten Vogelbeerenstammzahlen in den kleinflächigen Fichtenbeständen mit einer Teilflächengröße zwischen 0,1 bis 2 ha Größe gezählt worden sind.

Dies könnte die oben ausgeführten Gedanken zur möglichen schlechten Verbreitung der Vogelbeere in großen und geschlossenen Fichtenkomplexen (z.B. auf Hochebenen) unterstützen. In Teilflächen über 6 ha Größe sank sogar der Anteil der Vogelbeeren je Hektar im Mittel um 4 einzelbaumweise eingemischte Vogelbeeren je Hektar auffallend stark. LEDER (1992) stellte in seinen Untersuchungen fest, dass das Maximum Vogelbeerenverjüngung bis zu 50m vom Standpunkt des Samenmutterbaums auftritt.

Die Verbreitung durch Vögel ist an strukturierte Verhältnisse (Freiflächen, Abflugschneisen und Sitzbäume) gebunden (HOWE 1989, SCHUPP et al. 2002, HERRERA und GARCÍA 2009). Die Ansprache der Exposition der Bestände und eine Einschätzung zur räumlichen Lage hätte das gefundene Ergebnis evtl. noch genauer erklären können.

Die Bestockungsgrade der Fichtenbestände sind erst ab der Altersklasse 3 aufgenommen worden, da die Erfassung erst ab diesem Wuchsstadium bzw. Baumdimensionen zu verlässlichen Ergebnissen führt (KRAMER und AKÇA 1987). Die Bestände wiesen im Mittel einen Bestockungsgrad von 1,0 auf. Dieses Ergebnis ist für die betrachteten Wuchsstadien als waldbaulich und ertragskundlich normal einzustufen, es zeigt aber auch deutlich die hohen Konkurrenzverhältnisse, unter denen die Vogelbeere sich behaupten muss.

Die ermittelten Volumenwerte der Vogelbeere erscheinen mit durchschnittlich 2,3 m<sup>3</sup>/ha wirtschaftlich unbedeutend. Hier muss aber wiederum betont werden, dass die ermittelten Werte schwer vergleichbar sind, da sich die Ergebnisse nur auf die Einzelbäume beziehen und größere Mischungsformen bei der Aufnahme nicht beachtet wurden.

Für den Aufnahmeparameter der „soziologischen Stellung“ gilt hier der selbst gesetzte Aufnahmeschwellenwert, nach dem nur Vogelbeeren betrachtet wurden, die mit ihrem Terminaltrieb mindestens bis zum Grünastbereich des Fichtenbestandes reichten. Die Ansprache erfolgte gemäß den selbst gesetzten Definitionen für das waldbauliche Experiment. Demnach sind die drei Kategorien *unterdrückt* (< 50 % der oberen Bestandeshöhe), *beherrscht* (< 70 %) und *mitherrschend* (> 70 %) ausgeschieden worden.

Die Ansprache der soziologischen Stellung war somit „von unten her“ eingegrenzt auf Bäume, welche mindestens einer Kraft'schen Klasse 3 (gering mitherrschende Stellung) entsprachen, d.h. dieser selbst gewählte Höhen-Schwellenwert schloss Vogelbeeren der Kraft'schen Klasse 4 (beherrschte Stellung) und 5 (ganz unterständige Stellung) von vorneherein aus. Man kann davon ausgehen, dass Vogelbeeren der Kraft'schen Klasse 4 und 5 in Fichtenjungbe-

ständen so stark von den Fichtenkonkurrenten bedrängt sind, dass sie keine ausreichende Vitalität für eine waldbauliche Behandlung mehr aufweisen, bzw. schon Absterbeerscheinungen zeigen.

Die Vogelbeeren sind in der Altersklasse 2 noch relativ gleich verteilt über die drei Kategorien der soziologischen Stellung, wobei in der Kategorie „bedrängt“ der größte Anteil der Bäume zu finden ist (Abb. 37a-d, Kapitel 3.1.2). In der nächsten Altersklasse gibt es eine klare Verteilung, bei der die Anteile der Bäume von der Kategorie „mitherrschend“ zur Kategorie „unterdrückt“ hin deutlich zunimmt. Dieses Bild hält sich noch in der Altersklasse 4, jedoch wird schon deutlich, dass die unterdrückten Bäume abnehmen. In der Altersklasse 5 findet man dann am meisten bedrängte Vogelbeeren, aber auch Vogelbeeren in der Kategorie „mitherrschend“ haben wieder leicht zugenommen. Eine Erklärung könnte sein, dass Vogelbeeren in der Kategorie „unterdrückt“ ab der Altersklasse 4 absterben und evtl. so die Anteile in den beiden anderen Kategorien wieder erhöhen. Zudem gewinnt man in den Beständen den Eindruck, dass einige wenige mitherrschende Vogelbeeren ihre Position bzw. soziologische Stellung noch länger behaupten können, da sie an einer für sie günstigen Position stocken (Bestandesrand, Säume, Rückegassen und Lücken).

Der Zustand der Krone wurde nach den Vitalitätsstufen von ROLOFF (2001) angesprochen. Die Vitalitätsstufen sind grundlegend zur Ansprache des Gesundheitszustandes von Bäumen entwickelt worden. Der Schlüssel ist sowohl für Stadt- und Straßenbäume als auch für Waldbäume gültig. Für die Vogelbeere existiert kein Vitalitätsstufenschlüssel. ROLOFF (2001) bietet für diese Fälle auch einen baumartenunabhängigen Vitalitätsstufenschlüssel an. Dieser kam bei der terrestrischen Inventur der Vogelbeeren zum Einsatz. ROLOFF (2001) gibt für die Anwendung des baumartenunabhängigen Vitalitätsstufenschlüssels zu bedenken, dass dieser für schnellwachsende Baumarten (Pappeln und Weiden) und für Rosaceae (z.B. für Obstgewächse) nur eingeschränkt möglich ist. Im Falle der schnell wachsenden Baumarten können z.B. sehr lange Triebe (ein Zeichen hoher Vitalität) die Belaubung als transparent erscheinen lassen. Umgekehrt könnten bei stagnierendem Wachstum die vielen Blätter in der Kronenperipherie eine hohe Vitalität vortäuschen.

Für die Vitalitätseinschätzung sollten immer die Triebspitzen der unbeeinflussten Kronenbereiche, d.h. die Wipfeltrieblängen, betrachtet werden. Die hier untersuchten Vogelbeeren stockten überwiegend in dichten und geschlossenen Fichtenbeständen. Die Bäume erreichten selten eine mitherrschende soziologische Stellung. Die Kronen waren in der Regel eingengt

und man muss davon ausgehen, dass die Kronenbereiche dieser Bäume nicht unbeeinflusst gewesen sind. Der Vitalitätsschlüssel „geschwächt“ bis „merklich geschwächt“ wurde aus diesem Grunde wahrscheinlich dementsprechend häufig in allen Altersklassen angesprochen. Dennoch wurde die Kronenvitalitätsansprache nach ROLOFF (2001) auch für die hier untersuchten Vogelbeeren als brauchbare Methode angesehen. Zeigte sie doch, dass sich ältere Bäume scheinbar auch wieder revitalisieren können (Abb. 38a-d, Kapitel 3.1.2), hier verdoppelte sich fast der Anteil an vitalen und ungeschädigten Kronen von der Altersklasse 4 zur 5. Die Ergebnisse des waldbaulichen Experiments unterstützen diese Vermutung, in dem sie der Vogelbeere eine hohe Kronenplastizität bescheinigen (Abb. 75, Kapitel 3.1.2). Das aktuell nach ROLOFF (2001) angesprochene Kronenstadium sollte daher den örtlichen Wirtschaftler nicht über die Eingriffslage entscheiden lassen. Es ist aber für die hier durchgeführten Untersuchungen der Beweis, dass auch scheinbar geschwächte Bäume sich revitalisieren können. Wenn auch Freistellungen bzw. Förderungen speziell für die inventarisierten Bäume als Auslöser für eine Revitalisierung nicht nachgewiesen wurden, sondern eine insgesamt bessere Ausgangssituation (Position an Gassen, Lücken und Rändern) dieser älteren Bäume im Verlauf der Bestandesentwicklung vermutet wird.

Bezüglich der Stammform ist auffallend, dass in den jüngeren Altersklassen die Bäume noch überwiegend als geradschaftig angesprochen werden konnten. Ab der Altersklasse 4 nehmen dann vor allem die Anteile der einschnürigen Bäume zu, aber auch die zweischnürigen kommen vermehrt vor. Im Alter wechselt die Vogelbeere von einer Halbschatt- zur Lichtbaumart. Sie neigt durch Phototropismus in die Lichtschächte der Bestände hineinzuwachsen und dabei exzentrische Kronenformen und krumme Stämme auszubilden (HILLEBRAND 1998 und MÜLLER 1998). Dies wird gerade in den älteren Beständen deutlich, wenn der Konkurrenzdruck der Fichtennachbarn zunimmt und die Vogelbeere nicht entsprechend freigestellt wird. Umgekehrt erfährt sie wahrscheinlich „an falscher Stelle“ und unbewusst eine Förderung durch die Anlage von Rückegassen und die ersten Durchforstungen in der Fichte.

HILLEBRAND und LEDER (1995) untersuchten 50 Vogelbeeren-Alt bäume in den Hochlagen des Sauerlandes hinsichtlich ihrer Stammqualitäten. Etwa 52 % der untersuchten Bäume besaßen die Schaftform „einschnürig mit geringem Bogen“, 37 % wurden als zweischnürig angesprochen. Desweiteren wurde in der Studie auch die Ästigkeit angesprochen, die zu 82% mit „mittel“ (bei den existierenden Kategorien „sehr fein“, „fein“, „mittel“, „grob“, „sehr grob“) zugeordnet wurde.

Weiterhin wurde oft ein Garbenwuchs bei den untersuchten Vogelbeeren in den jüngeren Altersklassen festgestellt. Das hohe Vorkommen von Garben bzw. Mehrstämmigkeit (Polykormie) ist für die Vogelbeere nicht ungewöhnlich. Manche Autoren berichten, dass die Art ihrer Samenverbreitung und die hohe Bereitschaft sich vegetativ (Adventivsprosse) zu vermehren zur Ausbildung von Polykormie beitragen und waldbaulich nicht zu beeinflussen wären (RASPÉ et al. 2000, ZERBE 2000). UNGER (1997) führt die Ausbildung der Mehrstämmigkeit auf die Genetik des Einzelbaumes zurück.

Auch MÜLLER (1998) sprach bei seinen Untersuchungen in einem Fichten-Vogelbeeren-Jungwuchs zu 44 % einen Garbenwuchs und zu 22 % einen Verwachsungszwiesel bei den Vogelbeeren an. Im weiteren Verlauf ihrer Entwicklung gehen der Garbenwuchs meist verloren, da sich in der Regel ein bis zwei Stämme durchsetzen. Dies können dann durch die Stockausschlagsfähigkeit wesentlich jüngere Stämme als die ursprünglichen „Ausgangsstämme“ sein (ŻYWIEC 2012). Umgekehrt treten dann eher Verwachsungs- und Gabelungszwiesel in Erscheinung, wie es auch bei den hier durchgeführten Untersuchungen deutlich wird. Vor allem die Gabelungszwiesel nahmen ab der Altersklasse 5 zu. Hier werden wahrscheinlich durch die veränderten Lichtbedingungen in den Fichtenbeständen, wie sie oben schon beschrieben wurden, auch einzelne Seitenäste vermehrt gefördert. Um möglichst viel Licht zu gewinnen, baut die Vogelbeere ihre Krone aus. Hinsichtlich der Erhaltung der Stammqualität muss dies sicherlich beachtet werden, wenn man Vogelbeeren in den jüngeren Altersklassen fördert. Eine zu einseitige Förderung könnte sicherlich die Ausbildung einer Verzweiselung fördern.

Die hier gefundenen Ergebnisse zur Inventur der Schälsschäden erscheinen sehr gering. Bekanntlich leidet die Vogelbeere gerade in Fichtenbeständen stark unter der Schale durch Rotwild (PRIEN und LEMME 1997, BIEDERMANN 1991, zit. in LEDER und PETRAK 2000, MYSTERUD et al. 2010). In den Altersklassen 2 und 3 wurden ca. 23% Vogelbeeren gefunden, die eine geringe Schale aufwiesen. Gewöhnlich haben die Vogelbeeren in diesem Wuchsstadium noch eine geringe Dimension. Sie bieten dem Rotwild noch wenig Angriffsfläche bzw. Schälmasse. Zudem haben sie beim Schälen wenig Widerstand aufgrund ihrer geringen Stabilität und biegen oftmals weg (MÜLLER 1998). Das verringert ihre Schäl-Attraktivität. Die Schälprozente nehmen dann ab der Altersklasse 4 zu, es finden sich aber keine Anteile von mäßig und stark geschälten Vogelbeeren. Sicherlich kann auch die formulierte Definition zur Aufnahme des Schälsschadens unzureichend gewesen sein. Eine geringe Schale sollte ange-

sprochen werden, wenn bis ein Drittel des Stammes von Schale betroffen gewesen ist. In der Regel werden die Stämme rundherum geschält, wenn sich die Gelegenheit ergibt. Alte überwallte Schälstellen erscheinen allerdings für das Rotwild auch weniger attraktiv für eine Neuschale. Für die Auswertung und Beurteilung der Schälchäden wäre es wäre hilfreich gewesen, nach alter oder neuer Schale zu unterscheiden. Über Erfolg und Nicht-Erfolg der Wildbestandsregulierung in den betroffenen Gebieten kann an dieser Stelle nicht diskutiert und dies nicht in die Betrachtung der Ergebnisse mit einbezogen werden. Dies wäre Material für eine zusätzliche Studie. Auch die Vermutung, dass die stark geschälten Bäume evtl. schon ausgefallen und daher nicht in die Stichprobe einbezogen worden sind, ist an dieser Stelle eine gewagte These.

Für MÜLLER (1998) sind Schälwunden bis ein Drittel des Stammumfangs waldbaulich tolerierbar. Grundsätzlich kann aber auch ein Schaden, der nur ein Drittel des Stammumfangs betrifft, durch Eintritt von Fäulepilzen zu einer Beschädigung und zum langfristigen Absterben des Baumes führen. Die Vogelbeere besitzt zwar im Vergleich zu anderen Hauptbaumarten ein hartes Holz, aber sie ist sehr empfindlich gegenüber einer Infektion mit Fäulepilzen (SACHSSE et al. 1988). Daher ist schon ein einmaliges Schälereignis aus waldbaulicher Sicht als negativ zu bewerten, da die Stabilität des Baumes und auch seine Holzqualität leiden.

## 4.1.1 Methodendiskussion zum waldbaulichen Experiment

### 4.1.1.1 Versuchsaufbau

#### Untersuchungsgebiet

Der vorliegende Versuchsaufbau war in das BMBF-Verbundprojekt „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“ eingebettet, dessen Zielstellungen in der Einleitung dieser Arbeit dargestellt werden. Demzufolge sollten sich auch die Ergebnisse und Erkenntnisse des Versuchs in den Kontext und die Zielstellung des Projektes einfügen lassen. Eine wichtige Zielstellung war dabei unter anderem die Aufstellung von zukünftigen waldbaulichen Empfehlungen. Dies konnte nur mit der Installation einer Versuchsanlage auf waldbaulich repräsentativen Standorten realisiert werden. Die mittleren Lagen des Erzgebirges wurden in diesem Sinne als repräsentativ eingeschätzt, um aufgrund der Ergebnisse Aussagen zur Behandlung von Fichtenjungbeständen (für Waldflächen des Landes Sachsen) geben zu können. Die Ausführungen im Kapitel 2.2.1 enthalten die Gründe für diese Auswahl. Vor diesem Hintergrund wurde dann nach mündlichen Befragungen und Recherchen der Forstbezirk Bärenfels für die Installation einer Versuchsanlage empfohlen.

#### Wuchsreihe

Die vorliegende Untersuchung sollte die Frage klären, wie sich einzelbaumweise eingemischte Vogelbeeren in Fichtenjungbeständen unterschiedlichen Alters nach Freistellung entwickeln. Dazu wurde zunächst ein Flächenpotential, zum einen per FESA-Datenbankabfrage (mit landesweiter Gültigkeit), als auch durch gezielte Vor-Ort-Recherche (mit wesentlicher praktischer Unterstützung der Verwaltung des Forstbezirkes Bärenfels) ermittelt. Die praktische Vor-Ort-Recherche war der FESA-Datenabfrage zeitlich vorgelagert, um mit dem Aufbau der experimentellen Versuchsanlage (Wuchsreihe) im Forstbezirk Bärenfels zeitnah beginnen zu können.

Die Untersuchungen sollten innerhalb eines Zeitraumes von ca. 3 Jahren durchgeführt werden. Diese Zeitspanne war zu kurz, um z.B. erwartete altersbedingte Zuwachskulminationen (HILLEBRAND 1998) aufdecken zu können. Um diesem Mangel entgegenwirken zu können, wurde das Design grundlegend nach der Methode einer unechten Zeitreihe (Wuchsreihe) angelegt. Die Einbeziehung und Analyse von „älteren“ Beständen bzw. Einzelbäumen in die

Wuchsreihe sollte dann die gewünschten Rückschlüsse auf vermutete altersbedingte Zuwachsreaktionen geben (WENK et al. 1990). Dabei muss betont werden, dass mit „älteren“ Beständen hier ca. 30-jährige Fichtenreinbestände gemeint sind. In dieser Altersstufe wären Zuwachskulminationen für die Baumartart Fichte nicht zu erwarten (SCHMIDT-VOGT 1977), wohingegen für die Baumart Vogelbeere je nach Bonität schon eine Kulmination des Höhenzuwachses zwischen 5 und 15 Jahren erwartet werden kann (HILLEBRAND 1998). Für die Untersuchungen wäre der Aufbau einer Fichten-Vogelbeeren-Wuchsreihe bis zum Alter 50 zielführender gewesen wäre. Diese Altersspanne wurde auch bei der FESA-Datenabfrage und der Durchführung der terrestrischen Inventur einbezogen bzw. realisiert. Für den praktischen experimentellen Versuch konnten jedoch keine geeigneten 40 bis 50-jährige Fichtenbestände im Untersuchungsgebiet gefunden werden. Die Suchkriterien für das experimentelle Design waren strenger gefasst, als für die landesweite Datenabfrage per FESA. Neben den Kriterien „mittlere Lagen“ und „M-Standorte“ waren hier vor allem die räumliche Nähe der Bestände, eine ausreichende Anzahl geeigneter einzelbaumweise eingemischter Vogelbeeren als potentielle Prohebäume in den Beständen und eine möglichst vergleichbare Höhenlage und Exposition vordergründig. Bei den Recherchen nach geeigneten Versuchs-Flächen wurden ältere Fichtenbestände (> 30 Jahre) mit Vogelbeerenbeimischung vor allem in den höheren Lagen gesichtet. Diese Höhenlage war aber eben auch ein Ausschlussgrund für eine potentielle Auswahl. Grundlegende Kritiken zur Anlage und Analyse von Wuchsreihen werden z.B. in KRAMER (1988), WENK et al. (1990), BIBER (1996) und GUERICKE (2005) diskutiert, wobei hier vor allem ertragskundliche Erkenntnisse im Fokus stehen. Dabei wird häufig die mangelnde Unterlegung mit realen Zuwachsmessungen kritisch angemerkt (BIBER 1996, GUERICKE, 2005). Wuchsreihen werden in der Regel nur zu einem einmaligen Zeitpunkt aufgenommen, um anschließend aus den nach Alter sortierten Ergebnissen Wachstumskurven und Ertragskennziffer ableiten zu können (WENK et al. 1990). Dies sollte bei vorliegender Studie durch die wiederholte Untersuchung und Analyse der Reaktionsmuster der Prohebäume nach 2 und 3 Vegetationsperioden aufgewertet werden. Somit wurde aus der unechten Zeitreihe (Wuchsreihe) eine „kleine“ echte Zeitreihe gestaltet, die etwa 3 Vegetationsperioden umfasst. Zusätzlich konnten anhand der durchgeführten Jahrringanalysen und Triebblängenrückmessungen Rückschlüsse auf das Zuwachsverhalten vor dem Zeitpunkt der Versuchsanlage gegeben werden.

Ein weiterer Kritikpunkt in der Diskussion der Wuchsreihenmethode befasst sich mit den Auswahlkriterien. Die Bestände sollten möglichst in räumlicher Nähe, auf gleichen Standorten und bei gleicher Exposition angelegt sein (WENK et al. 1990, BIBER 1996, GUERICKE



2005). Diese Forderung ist in der Realität kaum erfüllbar, zumal die Vereinheitlichung bzw. Vergleichbarkeit von Standorten stets begrenzt bleibt (BIBER 1996). Tatsächlich befanden sich bei vorliegender Studie nur drei von vier Versuchsbeständen in unmittelbarer räumlicher Nähe. Gleiche Exposition und Höhenlage konnten auch nur bei den drei benachbarten Beständen realisiert werden (s. Kapitel 2.2). Dennoch wurde diese Ausgangslage als ausreichend geeignet für das waldbauliche Untersuchungsziel erachtet, zumal der Fokus für das experimentelle Design auch auf einer idealen räumlichen Verteilung und einer angemessenen qualitativen bzw. vitalen Beschaffenheit der potentiellen Probestämme innerhalb der Bestände liegen musste.

Bezüglich der Einbeziehung von Jungbeständen in Wuchsreihen wird der Hinweis bei RÖHLE (1995 zit. in BIBER 1996) gegeben, dass heutzutage allgemein für Jungbestände eine höhere Höhenbonität nachgewiesen werden kann, als für Altbestände auf gleichem Standort. Da für die vorliegende Untersuchung nur Fichtenjungbestände bis zum Alter 30 Jahre ausgewählt wurden, wird diesem Umstand keine Relevanz beigemessen.

Eine weitere wesentliche Kritik zur Wuchsreihenmethodik wird in KRAMER (1988) angeführt. KRAMER (1988) stellt fest, dass die vergangenen Nutzungen der Bestände oftmals nicht eindeutig definiert oder sogar unbekannt sind, so dass bezüglich der Nutzungen zwischen den Beständen (Altersstufen) keine Vergleichbarkeit besteht. Für die vorliegende Untersuchung wurden die zurückliegenden Nutzungen bzw. Nutzungsmengen nicht recherchiert. Bezüglich der waldbaulichen Behandlung können nach aktueller Waldbaurichtlinie (SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN 1999) für einen 30-jährigen Fichtenbestand die Nutzungsarten Jungwuchs- und evtl. noch Jungbestandspflege genannt werden, von denen anzunehmen ist, dass diese in der Vergangenheit durchgeführt wurden. Diese Nutzungsarten waren auch in der Waldbaurichtlinie der DDR (MINISTERIUM FÜR LAND-, FORST- UND NAHRUNGSGÜTERWIRTSCHAFT 1985) vorgeschrieben. Diese Richtlinie hatte für alle vier ausgewählten Versuchsbestände in ihrem damaligen Wuchsstadium noch Geltung. Nutzungsmengen fallen erst ab der Jungbestandspflege an, welche je nach Standort und Bonität ab 7 m Bestandeshöhe für Fichtenjungbestände angenommen werden kann. Von größerem Interesse als die vergangenen Nutzungsmengen wäre an dieser Stelle die waldbauliche Behandlung der natürlich angesamten Weichlaubhölzer in Reinbeständen, welche fest in der letzten aktuellen Waldbaurichtlinie der DDR verankert war (MINISTERIUM FÜR LAND-, FORST- UND NAHRUNGSGÜTERWIRTSCHAFT 1985). Demnach waren die Reinbestände der Hauptbaumarten konsequent von Weichlaubhölzern frei zu halten. Dies wurde durch eine Qualitätskontrolle alle 5 Jahre geprüft und abge-

nommen (THOMASIUŠ, 1990). Nach KLAUSCH<sup>8</sup> (2000, mündl. Mitteilung) erfolgte diese Inspektion in den ausgewiesenen Versuchsbeständen nicht mehr. Der älteste Fichtenbestand in der Wuchsreihe des vorliegenden Versuchsdesigns war zum Zeitpunkt der politischen Wende ca. 22 Jahre alt, also dem Dickungsstadium vermutlich gerade entwachsen. Nur für diesen Bestand könnte eine derartige „Bereinigung von Weichlaubhölzern in der Kultur-, Jungwuchs- und Dickungsphase“ noch vermutet werden. Die Recherche der vergangenen Nutzungen in den Fichtenbeständen hätte evtl. auch die unterschiedlichen Dimensionen bzw. Ausgangszustände der Vogelbeeren zwischen den Beständen erklären können. Vor allem die Vogelbeeren in der Fichtenaltersstufe 19 zeigten im gesamten Versuchsdesign vergleichsweise hohe Ausgangsdimensionen.

#### Auswahl der Versuchsglieder und Konkurrenzsituationen

Es konnten je Faktorstufe immer nur 2 Bäume ausgewählt bzw. gefunden werden. Eine höhere Anzahl wäre für statistisch aussagekräftigere Ergebnisse wünschenswert gewesen. Als Alternative hätte man die Varianten verringern können, um die Wiederholungen zu erhöhen. Eventuell wäre es z.B. günstiger gewesen, sich auf eine soziologische Stellung zu konzentrieren oder nur zwei Freistellungsvarianten anzuwenden, und dabei die Anzahl der Wiederholungen, sprich Anzahl der Probestämme je Variante, zu erhöhen. Im Grunde sollte innerhalb des Versuchsdesigns die waldbauliche Frage geklärt werden, welche Vogelbeeren in welchen Konkurrenzsituationen noch förderungswürdig bzw. reaktionsfähig sind. Daher war z.B. gerade die Untersuchung der unterschiedlichen Konkurrenzsituation in einer feineren Aufteilung von Interesse.

Eine sofortige Bestimmung der Konkurrenzsituation mit Hilfe eines errechneten Indexes wäre mit einem hohen Messaufwand verbunden gewesen. Daher wurde zunächst aus praktikablen Gründen eine Vorstratifizierung in Anlehnung an ASSMANN (1961) (s. Kapitel 2.2.2.2) durch optische Ansprache und einfache Höhenmessung durchgeführt, um die soziologische Stellung der Probestämme zu ermitteln. Bei LÜPKE (1991) hat sich die einfache Ansprache der soziologischen Stellung nach KRAFT gegenüber errechneten Konkurrenzindizes als überlegen erwiesen, um Wachstumsreaktion auf Behandlungen hin zu erklären. Die genannte Untersuchung wurde aber bei 4-jährigen Traubeneichen durchgeführt. Der Parameter „soziologische Stellung“ entsprechend der Schichteinteilung von Mischbeständen nach ASSMANN (1961) diente

---

<sup>8</sup> damaliger zuständiger Revierleiter im Forstrevier Bärenfels des Forstbezirkes Bärenfels

in der vorliegenden Studie nur der repräsentativen Vorauswahl der Bäume. Dieser Parameter sollte keine weitere Berechnungsgrundlage für die anschließenden Analysen sein.

Bei der Auswahl wurde weiterhin darauf geachtet, dass die Vogelbeer-Probepflanzen eine gewisse Vitalität, so z.B. durch einen ausreichend grünen Kronenanteil, aufwiesen, um noch ausreichende Wachstumsreaktionen leisten zu können. Das Kriterium Qualität war vor dem waldbaulichen Ziel „Mischungsförderung aus ökologischen Gründen“, zunächst nachrangig. Auffallend war weiterhin, dass viele Vogelbeeren in den aufgesuchten Beständen alte und teilweise neue Schälsschäden aufwiesen. Ein Schälsschaden konnte auch bei einigen Probepflanzen nicht ausgeschlossen werden. Eine evtl. Wuchsminderung durch einen Schälsschaden musste für den waldbaulichen Versuch in Betracht gezogen werden, ist aber nicht gesondert ausgewertet worden.

Das reale Alter der Probepflanzen wurde bei der Versuchsanlage nicht exakt ermittelt. Die Alterseinstufung der Vogelbeeren war für den Versuchsaufbau zunächst an dem Alter des Fichtenbestandes ausgerichtet. Ein destruktives Vorgehen (Bohrkernentnahme oder Fällung) zur Altersermittlung wurde vor dem Versuchsaufbau nicht in Erwägung gezogen, um evtl. negative Wuchsreaktionen oder Schäden durch die Bohrung auszuschließen. Das „Fehlen“ des exakten Alters der Probepflanzen erschien aus dem Blickwinkel der waldbaulichen Praxis im Vorfeld vernachlässigbar. Es ist anzunehmen, dass im Allgemeinen das reale Alter einzelbaumweiser eingemischter Vogelbeeren in Fichtenbeständen dem forstlichen Praktiker vor Ort ebenfalls unbekannt ist. Die Jahrringauszählungen der gefälltten Probepflanzen in den Fichtenaltersstufen 16 und 26 ergaben aber, dass die Bäume im Mittel gerade einen Altersunterschied von ca. 3 Jahren (im Mittel 13 Jahre in der Fichtenaltersstufe 16 und 16 Jahre in der in der Fichtenaltersstufe 26) hatten. Auch ist die Altersspanne der Vogelbeeren vor allem in der Fichtenaltersstufe 26 zwischen 13 und 21 Jahren verhältnismäßig groß (in der Fichtenaltersstufe 16 lag die Spanne zwischen 10 und 16 Jahren). Dies legt die Vermutung nahe, dass sich die Eberesche evtl. in einem Mastjahr gleichzeitig in beiden Beständen angesamt haben könnte. Die Bestände liegen in unmittelbarer Nachbarschaft und werden nur durch eine Straße voneinander getrennt (Abb. 7, Kapitel 2.2.1).

Es wurden nur Kernwüchse als Probepflanzen ausgewählt. Einige vitale Stockausschläge innerhalb der Fichtenbestände wären aufgrund ihres Wuchses phänotypisch als Probepflanze geeignet gewesen. Die Auswahl von Stockausschlägen als Probepflanze hätte aber ein eigenes Feld bzw. eine eigene Kategorie innerhalb der Untersuchung eröffnet. So muss man davon ausgehen, dass das Reaktionsverhalten von Stockausschlägen nach Freistellungen evtl. anders verläuft als bei Kernwüchsen. LEDER (1992 und 1997) berichtet, dass Stockausschläge in der

Regel in den ersten Jahren schneller als Kernwüchse wachsen. LEDER (1992) trennt in seinen Untersuchungen nach Kernwüchsen und Stockausschlägen. Weiterhin ist anzunehmen, dass in den meisten Fällen das Alter der Stockausschläge in den beobachteten Fichtenbeständen nicht in allen Fällen mit dem Alter der Kernwüchse übereinstimmt (ŻYWIEC und HOLEKSA 2012).

Die Wuchseinheiten, d.h. Vogelbeer-Probebaum und Fichtenkonkurrenten wurden beim Versuchsaufbau in einem ausreichenden Abstand gewählt, so dass sich die Einheiten keinen Fichtenkonkurrenten teilten.

### Konkurrenzindex

Für die ausgewählten Probebäume wurde ein Konkurrenzindex ermittelt, der in vorliegender Arbeit als „K-Index“ bezeichnet wird. Mit Konkurrenzindizes können wesentlich präzisere Erfassungen der jeweiligen Konkurrenzsituation von Einzelbäumen erreicht werden (TOMÉ und BURKHART 1989, BIGING und DOBBERTIN 1992, BURTON 1993, AMMER 1996). BIGING und DOBBERTIN (1992) geben folgende Definition des Konkurrenzindex: *„A competition index for an individual tree is any index that estimates the total competition from adjacent trees thought to be affecting the growth of the subject tree.“* Die Anwendung von Konkurrenzindizes wird in zahlreichen Arbeiten seit etwa den 1960er Jahren beschrieben (HEGYI 1974, BACHMANN 1998, RIVAS et al. 2005). Das Feld der Konkurrenzforschung innerhalb der ertragskundlichen und waldbaulichen Wissenschaft ist seitdem sehr weit geworden. Der Fokus liegt dabei vermehrt auf dem Einzelbaum (PRETZSCH 2002). Gerade die Anwendung von Konkurrenzindizes wird für die Konkurrenzquantifizierung in Mischbestockungen empfohlen. So führt SCHÜTZ (1989) aus *„[...] , dass die Konkurrenzverhältnisse in Mischbestockungen erst verstanden werden können, wenn die Phänomene der kleinräumigen Ausnützung des Raumes sowie der gegenseitigen Einwirkungen der unmittelbaren Nachbarn, also des Wettbewerbes, einigermaßen erfasst werden.“*

Den Ausführungen von BURTON (1993) ist aber grundsätzlich zu entnehmen, dass die Ableitung waldbaulicher Maßnahmen auf Grundlage von Konkurrenzindizes jedoch nur mit lokal begrenzter Gültigkeit möglich ist. Die verschiedenen Baumarten zeigten auch verschiedene Konkurrenzwirkungen in Abhängigkeit ihrer kleinstandörtlichen Verhältnisse und klimatischen Einflüsse.

Konkurrenzindizes können durch Einbeziehung unterschiedlicher und gezielt ausgewählter Messgrößen für die Berechnung der Konkurrenzsituationen von Einzelbäumen aus unterschiedlichen Blickwinkeln analysieren. Die Ausführungen lassen aber schon erkennen, dass es nicht einen („den“) universalen Konkurrenzindex gibt. Viele Untersuchungen haben gezeigt, dass es immer noch Wissenslücken und Spielräume gibt, K-Indizes zu verwenden und auch zu modifizieren. Auch TOMÉ und BURKHART (1989, S. 818) führen speziell für die Verwendung von distanzabhängigen Konkurrenzindizes aus: *„No distance-dependent index has been found to be universally superior to all the others.“* Nach Prüfung der bisherigen Studien folgern sie: *„[...] it is evident that no single index has been shown to be a superior competition index, and some indices perform better with specific species in specific situations.“* Auch geben sie zu bedenken, dass die Anwendung von Konkurrenzindizes nicht „ein Allheilmittel“ sein kann. Viele Faktoren beeinflussen das Wachstum zusätzlich, so z.B. die genetische Anpassungsfähigkeit jedes Einzelbaumes und auch sein Mikrostandort, bis hin zu globalen klimatischen Entwicklungen (AMMER, 1996).

Durch die Berechnung und die Verwendung des „K-Indexes“ konnten in der vorliegenden Studie in vorteilhafter Weise mehrere Schritte im Algorithmus des Versuchsaufbaus und der anschließenden Freistellung zusammengeführt werden:

- a) Bestimmung der Konkurrenten,
- b) Konkurrenzquantifizierung und
- c) Dosierung der definierten Freistellungsstärke.

a) Nach AMMER (1996) sollte vor dem analytischen Einsatz eines Konkurrenzindex die am stärksten nachgefragte Wachstumsressource zuerst hinterfragt und festgelegt werden. Auf dieser Ressource sollte dann der verwendete Konkurrenzindex basieren. Die Ressource Licht wird in vielen Studien als wichtigster Konkurrenzparameter (MC DONALD et al. 1990, BIGING und DOBBERTIN 1992, LEDER 1992, AMMER 1996) genannt. RÖHRIG et al. (2006) beschreiben die Lichtkonkurrenz gerade in geschlossenen Wäldern als bedeutungsvollsten Faktor für das Wachstum. Die Konkurrenz um Nährstoffe und Wasser machte sich nur dort bemerkbar, wo genügend Licht vorhanden war. AMMER (1996) listet Studien zur Konkurrenz um Wachstumsressourcen und die dabei verwendeten Konkurrenzindizes auf. Bei allen aufgezählten Studien wird auch hier der Faktor Licht am häufigsten als Gegenstand der Konkurrenz angegeben, danach das Wasser. SCHÜTZ (1989) führt zur Bedeutung des Lichts noch weiter aus: *„Das Wuchspotential eines Baumes in einer Bestockung, seien seine Nachbarn Artgenossen*

oder nicht, hängt im wesentlichen von der Grösse seiner photosynthetisch aktiven Krone mit einigermaßen direktem Zugang zum Licht ab sowie vom Bedrängungsgrad durch Nachbarn, welche die Entwicklung dieser Krone einengen oder sie gar derart beeinflussen, dass sie sich zurückbildet.“ Auch WAGNER und SPELLMANN (1995) bemerken, dass das Licht ein Mechanismus der Konkurrenzeinwirkung und somit eine waldbauliche Steuerungsgröße ist. Für die vorliegende Untersuchung ist dies ein Leitmotiv.

Aufgrund der Aussagen der oben genannten Studien bot sich für die vorliegende Arbeit eine Methode an, welche die Konkurrenzsituation der zentralen Probestämme über das Maß der Einengung ihrer Lichtkrone durch Nachbarkonkurrenten beschreibt (und so gleichzeitig über das Maß des einfallenden Lichtes bemisst). Der Lichtbedarf der Vogelbeere wird bei PRIEN (1961) und bei HILLEBRAND (1998) in der Jugend mit einer Halbschattbaumart verglichen. Die Autoren berichten, dass aber mit zunehmendem Baumalter die Lichtbedürfnisse ansteigen. NAMVAR und SPETHMANN (1985) machen die Lichtbedürftigkeit vom Standort abhängig. Die Vogelbeere wachse allgemein als Lichtbaumart und auf günstigen Standort als Halbschattbaumart. Auch andere Autoren beschreiben die Vogelbeere als lichtbedürftig oder kategorisieren sie als Lichtbaumart ein (DÜLL 1959; ZERBE 1993). HILLEBRAND (1998) zitiert aus KLEIN (1913), dass junge Vogelbeeren jegliche Übershirmungen vertragen würden und jahrelang unter dichten Fichtenschirmen ausharren können. Wenn die Vogelbeere in diesem Zustand keine Lichtzufuhr erfährt, stockt sie bei 3 bis 4 m Höhe. In diesem Stadium könnte sie als Halbschattbaumart bezeichnet werden. HILLEBRAND (1998) führt weiterhin aus, dass die Vogelbeere auf direkte Übershirmung von Kronenteilen zunehmend mit Absterberscheinungen reagiert und somit zur Halblichtbaumart wird: „(Ältere) Vogelbeere will den Himmel sehen“. Daraus ergibt sich eine unmittelbare Anknüpfung zur waldbaulichen Behandlung der Vogelbeere (s. Kapitel 4.2.3).

Die oben genannten Aussagen unterstützen die Wahl der Lichtwinkel-Methode für die vorliegenden Untersuchungen, da sie der Lichtbedürftigkeit der Vogelbeere bei der waldbaulichen Behandlung gerecht wird. Die Ausführungen von SCHÜTZ (1989), dass die Lichtkrone 90 % der Gesamtphotosyntheseleistung erbringt, unterstreichen an dieser Stelle noch einmal die Beachtung der Lichtkrone im vorliegenden methodischen Verfahren. Bei PRETZSCH (2002) sind in diesem Zusammenhang auch baumartenspezifische Angaben für die Länge der Lichtkrone von Hauptbaumarten in Prozent zu finden (Anteil Kronenlänge von der Baumspitze, z.B. 40 % für die Baumart Buche, 39 % für die Traubeneiche).

Auch PUKKALA und KOLSTRÖM (1987) und PUKKALA et al. (1998) testeten verschiedene Konkurrenzindizes in Kiefernbeständen Finnlands. In ihren Untersuchungen hat sich ein Index bestätigt, der zu Ermittlung der Konkurrenzstärke ebenfalls die Summe des Winkels tangens  $\alpha$  gebildet hat. Allerdings wurde der Winkel rechnerisch auf einer Horizontalen bzw. Basis von 90 % der relativen Höhe des Zentralbaumes ermittelt. Hier galten auch nur Bäume als Konkurrenten, die in einem Radius von 4m zum Zentralbaum standen. Untersuchungsgegenstand war ein ca. 22-jähriger Kiefernbestand.

MÄKINEN (1997) gibt zu bedenken, dass allgemein bei Verfahren, die zur Identifizierung von Konkurrenten genutzt werden, die Größe des Raumes, in der Konkurrenten gesucht und ausgewählt werden, einer gewissen Subjektivität unterliegen. Es könnten dabei je nach Größe dieses Raumes entweder zu viele oder zu wenige Konkurrenten ausgewählt werden, so dass das Maß der Konkurrenzsituation bei der Berechnung zu hoch oder zu niedrig ausfällt. In vorliegender Untersuchung wird durch eine definierte Lichtkegelweite, welche sich an der Höhe der Lichtkrone ausrichtet, versucht diesem Umstand entgegenzusteuern. Dazu wurde sich methodisch bezüglich der Kegelweite auf die Arbeit von BIGING und DOBBERTIN (1992) gestützt. Die Autoren hatten im Vorfeld ihrer Untersuchungen, welche einen Vergleich von distanzabhängigen Konkurrenzindizes verschiedener Nadelbaumarten Süd-Kaliforniens verfolgen, keine Studien zur Hand, welche Empfehlungen und Angaben zur Verwendung eines speziellen Winkels geben. Sie haben die Winkelwerte  $50^\circ$  und  $60^\circ$  intuitiv für ihre Analysen gewählt. Der Lichtkegel wurde in ihrer Untersuchung virtuell am Stammfuß und an der Kronenbasis des Zentralbaumes positioniert (*height angle gauge*). Diese Methode der Konkurrentenauswahl verbesserte bei ihnen die „Performance“ der Wachstumsmodelle für Höhe und BHD. Hierbei war es unwesentlich, ob ein Winkel von  $50^\circ$  oder von  $60^\circ$  für die Weite des Lichtkegels verwendet wurde. Auch PRETZSCH (2002) schlägt allgemein diese Methode zur Konkurrentenauswahl vor und empfiehlt eine Kegelweite von  $60^\circ$ . Auch die ELFLEIN et al. (2008) nutzen in ihren Studien diesen Winkel und positionierten den Kegel auf  $2/3$  der Baumhöhe bei Freistellungsversuchen für die Baumart Elsbeere.

An dieser Stelle muss die Ansatzhöhe des Lichtkegels hinterfragt werden. Hätte man diese z.B. an der Kronenbasis festgelegt, hätte sich ein größerer Suchradius bei der Konkurrentenauswahl ergeben, d.h. es wären mehr Fichtenkonkurrenten je Vogelbeer-Probebaum ausgewählt worden. Ebenso wären bei der Freistellung auch mehr Konkurrenten entnommen worden. Die Möglichkeit wurde bei der Versuchsanlage geprüft. Die Anzahl der zu entnehmenden

den Konkurrenten, vor allem bei der starken Freistellungsvariante, wurden aus waldbaulich praktischer und gutachterlicher Sicht als zu hoch eingestuft. Die Ansatzhöhe auf der Lichtkronenbasis wurde aus diesen Gründen als ideal angesehen.

In den Untersuchungen von BIGING und DOBBERTIN (1992) konnten aber die Lichtkegelmodelle, welche höhenbasiert (*height angle gauge*, virtuell am Stamm) eingesetzt wurden, vor allem den Einfluss der Konkurrenz auf das Höhenwachstum am besten erklären. Insgesamt muss natürlich kritisch hinterfragt werden, wie es auch AMMER (1996) tut, ob die Betrachtung des Lichtes als alleiniger Konkurrenzparameter ausreichend war. Methodisch wäre es für den Versuchsaufbau aber auch schwierig gewesen, einen anderen Konkurrenzparameter, wie z.B. Wasserverfügbarkeit oder Wurzelkonkurrenz, zu erfassen.

b) Der hier berechnete K-Index ist ein distanzabhängiger Konkurrenzindex. Die Höhe und der Abstand der Fichtenkonkurrenten zum Vogelbeer-Probebaum beeinflussen den Grad der Konkurrenzstärke, der dem Konkurrenten zugeschrieben wird. Es ist kein artspezifischer Konkurrenzindex, d.h. es wurden keine artspezifischen Komponenten, wie z.B. die Kronenschirmfläche, benutzt. AMMER et al. (2005) raten bei der Berechnung artspezifischer Komponenten davon ab, Konkurrenzindizes innerhalb von Mischbeständen zu verwenden. Im Vergleich dazu hält LINNERT (2009) den Einfluss der Kronenränder der Konkurrenten für entscheidender als die Stamm Entfernung und berechnet deshalb einen eigenen K-Index.

Die weitere Eignung des hier benutzten „K-Indexes“ wird im Kapitel 4.2 „Diskussion der Ergebnisse zum waldbaulichen Experiment“ diskutiert.

Abschließend erfolgte je nach Stärke des ermittelten Konkurrenzindex eine Einteilung bzw. Stratifikation der Versuchsbäume in drei Stufen der Konkurrenzsituation (mäßig, mittel, hoch). Somit konnte die Konkurrenzsituation des Probebaumes für weitere varianzanalytische Untersuchungen sowohl als unabhängiger kategorialer Faktor als auch als intervallskalierte Variable einbezogen werden. Die Vergleichsmaße FKI und DIFFSF wurden ebenfalls als intervallskalierte Kovariate getestet.

AMMER (1996) gibt zu bedenken, dass die Berechnung eines Konkurrenzindex nach einer gewissen Zeitspanne (2 bis 3 Jahre) neu erfolgen müsste, wenn weitere Analysen mit Zuwachswerten aus Folgejahren erfolgen soll, die diese Zeitspanne überschreiten. Man würde sonst nur die Zuwachswerte mit einem „Ausgangs-Konkurrenzindex“ vergleichen, welcher sich selbst aber über die Folgejahre wieder verändern kann.



### Fisheye und Fishplot

Zusätzlich zum verwendeten Konkurrenzindex sollten bei den Untersuchungen noch andere lichtbasierte Verfahren zur Konkurrenzeinschätzung getestet werden. Gleichzeitig wurden diese Verfahren genutzt, um den errechneten „K-Index“ zu validieren. Dieses Vorgehen wird auch bei AMMER und DINGEL (1997) empfohlen. Zum Einsatz kamen das Fisheye-Verfahren und die Simulation von Fisheye-Bildern mit Hilfe des Programmes FISHPLOT von BIBER (1996). Für BIBER (1996) gilt die Anwendung von Techniken mit dem Fisheye-Ansatz als „[...] eine biologisch gut interpretierbare Methode zur positionsabhängigen Konkurrenzeinschätzung für Einzelbäume“. Im Vorfeld der Untersuchungen wurde davon ausgegangen, dass die Ergebnisse der Fisheye-Techniken exaktere Ergebnisse zur Konkurrenzeinschätzung und Erklärung der Wachstumsreaktionen der Vogelbeer-Probeebäume liefern. Die Arbeit von MC DONALD et al. (1990) belegt ebenfalls gute Korrelationen zwischen Ergebnissen aus hemisphärischen Bildern und Zuwachsreaktionen von Bäumen.

Zum damaligen Zeitpunkt des Versuchsaufbaues war die Technik der Fisheye-Aufnahme noch vergleichsweise aufwendig zu handhaben. Bezüglich des Zeitpunktes der Aufnahmen war man an spezielle Witterungsbedingungen gebunden (homogen bewölkter Himmel, kein Niederschlagsereignis) und somit in der Flexibilität stark eingeschränkt. Die Aufnahmen konnten aus diesen Gründen aufgrund der vorherrschenden Witterung im Winter 2000/2001 nur nach der Freistellung umgesetzt werden. Daraus ergeben sich für die vorliegende Studie wesentliche Einschränkungen. Informationen aus Fisheye-Aufnahmen zu beiden Zeitpunkten (vor und nach der Freistellung) hätten die Aussagefähigkeit deutlich verbessert. Weiterhin ist sicherlich die Aufnahmetechnik mit Blick auf die Aufnahmehöhe der Kamera kritisch zu hinterfragen. Diese konnte nicht in jedem Fall auf die Höhe der Lichtkronenbasis der Probeebäume gebracht werden.

Das verwendete Programm FISHPLOT nach BIBER (1996) sollte den Mangel der fehlenden DIFFSF-Werte nach der Freistellung verringern. Mit dem FISHPLOT-Verfahren lassen sich Fisheye-Aufnahmen simulieren und somit die Konkurrenzsituation vor und nach der Freistellung darstellen.

Gegenwärtig werden digitale Kameras für das Verfahren eingesetzt, welche auch Aufnahmen bei nicht homogen bewölktem Himmel ermöglichen (PRYOR 2010). Die Vor- und Nachteile werden bei FRAZER et al. (2001) diskutiert.

Insgesamt bildete der Einsatz der beiden Methoden keinen Schwerpunkt der Arbeit. Sie dienten vorrangig zur Validierung des verwendeten „K-Indexes“. Der allgemeine Praxisbezug, d.h. die Entwicklung von waldbaulichen Empfehlungen zum Umgang mit Vogelbeereneinzelmischungen standen im Vordergrund, um z.B. zahlenmäßige Angaben für die zu entnehmenden Bedränger machen zu können, oder eine gewissen Sensibilisierung für freizustellende Kronenbereiche der Vogelbeeren zu bewirken.

### *Freistellung*

Die vorliegende Studie hatte zum Ziel, die ausgewählten einzelbaumweise eingemischten Vogelbeeren zu fördern. Der Fichtenbestand wurde hinsichtlich seiner Freistellungsreaktionen nicht näher untersucht.

Mit Freistellungen werden die Konkurrenzverhältnisse reguliert (PLAUBORG 2002; PRETZSCH 2002, WAGNER und FISCHER 2008). Konkurrenzindizes können dabei die Frage beantworten, ob eine Notwendigkeit für konkurrenzregulierende Maßnahmen, d.h. Freistellungen, besteht (BRAND 1986 zitiert in AMMER 1996). Für die vorliegende Studie war es zudem wichtig, dass mit Hilfe von Konkurrenzindizes auch die Stärke von konkurrenzregulierenden Maßnahmen bestimmt und anschließend umgesetzt werden kann. Eine Lichtzufuhr kann dann definiert und „dosiert“ erfolgen. Die möglicherweise unterschiedlichen Wachstumsreaktionen der Probestämme sollten einer bestimmten Freistellungsvariante zugeordnet werden können. Die Methode der „einzelbaumorientierten Steuerung der Freistellung“ anhand Konkurrenzindizes ist nach PRETZSCH (2002) eine etablierte Methode zur Steuerung von Versuchen.

Vor allem war es hier methodisch beabsichtigt (s. Kapitel 3.1.4 und Kapitel 4.1.1.1.) die Lichtkrone der Probestämme bei der Freistellung eindeutig zu fördern. Dies geschah durch eine starke (alle Konkurrenten wurden entnommen) und eine mäßige Freistellungsvariante (es werden diejenigen Konkurrenten entnommen, die den K-Index um 50 % reduzieren, dabei wurde beim stärksten Konkurrenten angefangen). Die Aufnahme einer mäßigen Freistellungsvariante in das Versuchsdesign beruhte auf schon im Vorfeld getätigten Überlegungen, dass nach einer starken Freistellung evtl. mit Stabilitätsproblemen bei den Vogelbeer-Probestämmen zu rechnen sein würde. Die mäßige Freistellungsvariante war daher auch aus der allgemeinen waldbaulichen Sicht von besonderem Interesse. Gerade die Frage, ob Vogelbeeren in hohen Konkurrenzsituationen auch noch von einer mäßigen Freistellung profitieren

können, galt es dabei zu beantworten. Die Null- bzw. Kontrollvariante (keine Freistellung) ist eine bei wissenschaftlichen Untersuchungen eine unabdingbare Variante, welche den anderen Varianten und Maßnahmen gegenüberzustellen ist. Sie bildet eine Referenz für die Bewertung aller anderen Varianten und unterstützt die Identifizierung relevanter Einflussfaktoren (PRETZSCH 2002).

#### Anmerkungen zur Kronenschirmflächenerfassung

Zur Bestimmung der Kronenschirmflächen der Vogelbeeren im Experiment wurde das Teilkreismodell nach RÖHLE und HUBER (1985) mit einer Auslotung von 8 Kronenradien angewandt. Dies ist ein vergleichsweise einfaches Verfahren und erschien zielführend für die Ziele der vorliegenden Untersuchung. Nach RÖHLE und HUBER (1985) wird ein Stichprobenfehler von ca. 4% erwartet, wenn man 8 anstatt 32 Radien auslotet. Das erscheint für die vorliegende Untersuchung absolut tolerierbar, wenn man bedenkt, dass bei der Ablotung ein Aufnahmefehler von mindestens gleichem Ausmaß anzunehmen ist. RÖHLE und HUBER (1985) empfehlen für die Erfassung von Einzelbaumkronen mind. 8 Radien, besser 16. Gerade bei ungleichmäßig ausgeformten Kronen, wie sie bei den untersuchten Vogelbeeren vorkamen, sollten mindesten acht Radien ausgelotet werden. Auch andere Studien schätzten die Auslotung von 8 Kronenradien als ausreichend ein (GUERICKE 1999, BADOUX 1939 zit. in EULE 1959, BURGER (1939) zit. in EULE 1959).

#### Anmerkungen zur Verwendung der RBS-Methode

Bezüglich der Wahl des RBS-Verfahrens gab es im Vorfeld der Untersuchungen keine erweiterten Überlegungen, ob eine andere Methode zur Biomassenbeprobung evtl. effektiver gewesen wäre. Es ergab sich eine Forschungskooperation mit der Georg-August-Universität Göttingen (Abteilung Ökoinformatik, Biometrie und Waldwachstum<sup>9</sup>; Prof. Dr. Joachim Saborowski und Dr. Jorge Cancino) zur Weiterentwicklung der RBS-Methode mit Hilfe einer Beprobungssoftware namens BRANCH, die im Feld den Beprobungsalgorithmus bestimmen und die Umsetzung der Aufnahmen erleichtern soll. Das Programm BRANCH wurde von CANCINO (2003) entwickelt. Das Programm wurde in der Beta-Phase bei den Außenaufnahmen in der vorliegenden Studie erprobt und weiterentwickelt. Die Nutzung einer eigens zur Durchführung von RBS-Stichproben entwickelten Software war zu damaliger Zeit neu. Die Software zeigte sich sehr anwenderfreundlich bei der Feldbeprobung. Eine Beprobung von

---

<sup>9</sup> früher“ Institut für forstliche Biometrie und Informatik“

Vogelbeeren per RBS wurde bisher nicht nachweislich angewandt, vergleichbare Studien existieren deshalb nicht.

RBS wird schon seit über 40 Jahren ohne Modifikationen zur Schätzung von Biomassen benutzt (GREGOIRE et al. 1995 und PARRESOL 1999, GOOD et al. 2001, SNOWDON et al. 2001, alle drei zitiert in CANCINO und SABOROWSKI 2007). Die Besonderheit an RBS ist, dass man mit wenig destruktiven Maßnahmen eine Schätzung von Biomassen durchführen kann, bzw. die Biomasseprobenentnahme vor Ort relativ gering ist. Aufnahmen sind sowohl an kleinen und jungen Bäumen als auch an großen und alten Bäumen möglich (GAFFREY und SABOROWSKI 1999a). Zudem erlangt man eine gute Zeitersparnis bei der Beprobung (GOOD et al. 2001). Es gilt lediglich eine gewisse Anzahl an Hilfsgrößen zu erfassen, die im Zusammenhang mit der interessierenden Zielgröße bzw. der Biomasse stehen. Das kann z.B. aufgrund der allometrischen Beziehung der Stamm- oder Astdurchmesser, oder die sich daraus entsprechend zu berechnende Fläche sein. Allerdings darf nicht unerwähnt bleiben, dass sich die Arbeiten, je nach Größe des zu untersuchenden Baumes, nur an gefälltten Exemplaren problemlos durchführen lassen.

Ein weiterer Vorteil ist, dass der Bias des RBS-Verfahrens im Gegensatz zu anderen Schätzmethoden bekannt ist, und daher kontrolliert effektiv durch eine erhöhte Stichprobe beim Probeverfahren verringert werden kann (GAFFREY und SABOROWSKI 1999a).

Zur Ausübung der Methode konnte CANCINO (2003) die hier vorgenommene Einteilung in Licht- und Schattenkrone empfehlen. Speziell für die Blattbiomassedaten der Vogelbeeren brachte die hier vorgenommene Stratenbildung 10-20% Varianzverringern. Es hat sich für die vorliegenden Daten herausgestellt, dass insgesamt die Schätzungen der Blattmassen in der Schattenkrone unpräziser sind. Hier ist sicherlich die Seneszenz ein wesentlicher Grund (natürliche Astreinigung). Dies wird durch die wesentlich schwächeren Beziehungen zwischen Astdurchmesser und Blattmasse für die Äste aus der Schattenkrone untermauert, da hier bei gleichem Astdurchmesser geringere Blattmassewerte geschätzt werden. Auch GAFFREY und SABOROWSKI (1999a) konnten dies bei ihren Beprobungen an 66-jährigen Douglasien feststellen und empfehlen sogar eine höhere Stichprobe in der Lichtkrone, um den Schätzfehler zu verringern.

Für weitere methodische Hinweise, z.B. zur Wahl der Hilfsgröße und zur Notwendigkeit der Löschung von Segmenten bei der Beprobung, wird an dieser Stelle auf Cancino (2003) verwiesen.

#### Anmerkungen zu den Allometriefunktionen

Für die Berechnung der allometrischen Funktionen in der vorliegenden Arbeit wurden keine Konstanten (intercept) in die Modelle einbezogen. Es wird angenommen, dass bei einem Durchmesser von „Null“ auch keine Biomasse zu erwarten ist. Bei Ausschluss der Konstante verläuft die Funktion für die abhängige Variable (Biomasse) durch Null, wenn die unabhängige Variable (Durchmesser) gleich Null ist.

BOND-LAMBERTY et al. (2002) empfehlen dagegen den Einbezug einer Konstante für die Berechnung von allometrischen Funktionen. Als Grund wird der „inflating factor“ des  $R^2$  angegeben, d.h. bei Ausschluss der Konstante erhöht sich künstlich das  $R^2$  (ARNOLD und GOOD 1981, zit. in BOND-LAMBERTY et al. 2002).

In der vorliegenden Arbeit wurden keine Transformationen der Daten durchgeführt. Die einzelnen Verläufe der Kurven wurden durch Kurvenanpassungen, getrennt nach den Faktoren wie Fichtenaltersstufe und Kronenbereich, analysiert.

Die Log-log-Transformation ist eine akzeptierte Standardmethode für die Untersuchung von Allometrieverhältnissen (NIKLAS 1994). Die Transformation der Daten erleichtert durch die Linearisierung und Bereinigung von Ausreißern die statistische Behandlung und Analyse. SMITH (1980) gibt Anregungen den standardmäßigen Gebrauch von Allometrie-Funktionen zu überdenken. In den Untersuchungen von SMITH (1980) hatten die meisten untransformierten Beziehungen einen höheren Korrelationskoeffizienten, als die transformierten Modelle. Weiterhin sei es bei den Log-log-Modellen ein Problem, dass die ursprünglichen Einheiten der untersuchten Daten wegfallen. Dies würde die Betrachtung der Allometrieverhältnisse nach seiner Meinung verfremden bzw. verzerren. SMITH (1980) gibt zu bedenken, dass man Transformationen vor der Ausführung gut überdenken und nicht als gesetzte Standardmethode betrachten soll. Eine genaue visuelle Prüfung der transformierten Daten sei unerlässlich. Weiterhin betont er die Bedeutung der Residuenanalyse neben der Analyse des Korrelationskoeffizienten und warnt vor *post hoc* Interpretationen der gefundenen Beziehungen. Besser

wäre es, eine theoretische *a priori* Vorstellung vom Verlauf der zu untersuchenden Beziehung zu haben, um fundierter an die gewünschte Analyse gehen zu können.

#### Wurzelbeprobung und Wurzelmodellierung

Die Probenaufbereitung im Labor entsprach weitestgehend den Aufnahmen von BEBLER (2003) und MÜLLER (2004), welche am selben Lehrstuhl durchgeführt wurden. Die mikro- und makroskopische Arttrennung der beiden Baumarten Fichte und Vogelbeere war methodisch vergleichsweise leicht durchführbar (s. Tab. 20, Kapitel 2.2.2.2.4.4). Die Unterscheidung von lebender und toter Feinwurzelbiomasse orientierte sich an den Definitionen von MURACH (1984) und HERTEL (1999). Dennoch muss natürlich mit einem gewissen Fehler bei der Arttrennung gerechnet werden, der hier aber nicht näher bestimmt wurde.

Insgesamt ist die Methode der Beprobung mit dem Wurzelbohrer und die anschließende Probengewinnung durch Auswaschung als sehr aufwendig und zeitintensiv einzuschätzen. Dies sollte bei geplanten Versuchsaufbauten beachtet werden. Auch kommt es bei zu langer Probenlagerung zu Zersetzungen des Probenmaterials (MÜLLER 2004). Der Autor weist weiterhin auf einige methodische Probleme der Probenentnahme und -aufbereitung hin, so z.B. auf eine „Stauchung des Volumens“ im Wurzelbohrer und einem daraus entstehenden Messfehler für die Flächenberechnung, welcher nicht zu beheben war.

Für die Parametrisierung und Modellierung wurde in der vorliegenden Untersuchung kein Programm benutzt. In den vergangenen Jahren sind einige Programme zur Erleichterung und Anpassung von Modellierungen benutzt worden, wie z.B. SORTIE (RIBBENS et al. 1996), und WALDSTAT (WÄLDER 2005, NÄTHER und WÄLDER 2007, FRISCHBIER 2011). WALDSTAT kann z.B. den Einfluss umstehender Bäume auf den konkreten Messpunkt prognostizieren (WÄLDER 2005, NÄTHER und WÄLDER 2007, FRISCHBIER und ZEIBIG 2008, FRISCHBIER 2011).

Der Einzelbaumansatz erlaubte hier die Nutzung einer iterativen Programmroutine im Statistikprogramm SPSS, um eine einfache nichtlineare Regressionsanalyse mit der Methode der kleinsten Quadrate durchzuführen (s. Kapitel 2.2.3). Der Vorteil des isotropen Ansatzes ist aber, dass nicht zu viele Parameter anzupassen sind. Bei anisotropen Modellen z.B. kommt dies gelegentlich vor und die Anwendung von Straftermen (AIC, AKAIKE 1973) wird empfohlen (FRISCHBIER und ZEIBIG 2008).

## 4.2 Ergebnisse des waldbaulichen Experimentes

### 4.2.1 Vergleich der Konkurrenzindizes und Effekte der Freistellung

#### Konkurrenzindex

Die vor der Freistellung ermittelten Konkurrenzindizes zeigen deutlich, wie die Konkurrenzsituation für die Probebäume mit zunehmendem Alter der Fichtenaltersstufe ansteigt. Im Detail scheint dies vor allem für die Konkurrenzindizes der Probebäume in der hohen Konkurrenzsituation (unterdrückte Vogelbeeren) zu gelten. Bei den Werten der Vogelbeeren in den niedrigen Konkurrenzsituationen „verschwimmen“ die Werte, d.h. die mitherrschenden Vogelbeeren unterscheiden sich hinsichtlich der Konkurrenzsituation zwischen den Fichtenaltersstufen kaum. Daraus kann gefolgert werden, dass vorwiegend den unterdrückten Vogelbeeren bei Freistellungsmaßnahmen eine höhere Aufmerksamkeit geschenkt werden müsste. Auch die Anzahl der zu entnehmenden Konkurrenten steigt bei diesen Bäumen mit zunehmendem Alter des Fichtenbestandes.

Die Definition der „asymmetrischen Konkurrenz“ nach WEINER und THOMAS (1986 zitiert in AMMER 1996) unterstreicht diesen Befund. Demnach verläuft die oberirdische Konkurrenz um eine Ressource, wie z.B. dem Licht, zwischen ungleichgroßen Pflanzen bzw. Bäumen asymmetrisch. Kleinere Bäume und / oder Pflanzen könnten aufgrund ihrer Größe unterproportional mit der entsprechenden Ressource versorgt werden.

Die Werte des berechneten K-Indexes wurden in die weiteren Analysen nicht einbezogen, da dies nicht zielführend erschien. Der Konkurrenzindex diente allein als Stellschraube für die Freistellung. Die Vorgaben bzw. Definitionen für die Freistellungsvarianten führten dazu, dass die Konkurrenzindizes nach der Freistellung für die einzelnen Probebäume relativ fix waren und für die starke Freistellungsvariante bezüglich des Konkurrenzindex „gleich Null gesetzt“ wurden. Dieser Effekt kann auch den FKI-Werten entnommen werden, welche für einen simulierten Objektivwinkel von 60° „gleich Null“ werden, wenn in der starken Freistellungsvariante alle Konkurrenten entfernt worden sind.

### Anzahl entnommener Fichtenkonkurrenten

Erwartungsgemäß stieg die Anzahl der entnommenen Fichtenkonkurrenten mit der Stärke der Freistellung in allen untersuchten Fichtenaltersklassen. Dennoch waren zwischen den Fichtenaltersklassen auch Unterschiede zu verzeichnen. Mit zunehmendem Alter sind durchschnittlich mehr Fichtenkonkurrenten entnommen worden, um den anvisierten Konkurrenzindex „einzustellen“. In der ältesten Fichtenaltersstufe waren dies im Durchschnitt 5 Konkurrenten. Der Wachstumsgang der Vogelbeere, welcher sich im Vergleich zur Fichte durch eine wesentlich frühzeitigere Kulmination des Höhenwachstums auszeichnet (HILLEBRAND 1998), produziert diesen Effekt. Der Abfall der Baumhöhen der Vogelbeeren wirkt sich auch auf die Höhe ihrer Lichtkronenbasis aus. Dementsprechend erweitert sich der Licht- bzw. Suchkegel für die Fichtenkonkurrenten, von denen in der Folge mehr identifiziert werden (s. Kapitel 2.2.2.2.2).

Bezüglich der Anzahl der entnommenen Fichtenkonkurrenten wurden keine weiteren Analysen durchgeführt. WOOD et al. (1996) beschreiben in diesem Zusammenhang, dass die Größe der Öffnung rund um die Zielbäume, welche bei einer Freistellung entstehen, am besten mit den Zuwachsreaktionen der Bäume korrelieren. Während dagegen die in einem definierten Abstand zum Zielbaum entnommenen Konkurrentenanzahl nach ihren Aussagen ein weniger geeignetes Maß sei. Entscheidend sei die freigewordene Fläche, in welche die Krone des freigestellten Zielbaumes expandieren kann.

### Auswirkungen auf die Konkurrenzfaktoren DIFFSF und FKI

Für die vorliegenden Untersuchungen war es von besonderem Interesse, ob die durchgeführten Freistellungsvarianten eine deutliche Veränderung der untersuchten Konkurrenzindizes bzw. der Konkurrenzverhältnisse für den einzelnen Probebaum bewirkt haben. Durch die veränderten Konkurrenzverhältnisse wurden ebenfalls deutliche Wachstumsreaktionen erhofft (s. Kapitel 4.2).

Die Korrelationen zwischen dem berechneten Konkurrenzindex und den Werten der Fisheymethode (DIFFSF und FKI) sind aus versuchstechnischer Sicht positiv zu bewerten. Die Korrelationen sind sowohl vor Freistellung als auch nach der Freistellung zwischen den betrachteten Werten straff und signifikant. Dieser Befund bestätigt die Verwendung des Konkurrenzindex für die Steuerung des waldbaulichen Experimentes. Man hätte im Vorfeld annehmen können, dass der Zusammenhang zwischen dem Konkurrenzindex und dem FKI mit einem



Öffnungswinkel von  $60^\circ$  stärker ist, da auch die Berechnung des Konkurrenzindex auf einem theoretischen Öffnungs- bzw. Lichtwinkel von  $60^\circ$  beruht.

Die signifikanten Korrelationen des FKI mit dem DIFFSF bestätigen die Eignung des FKI als simulierten Konkurrenzwert. Auch weil der Einsatz des FKI flexibler als die Ermittlung DIFFS erschien, wird dieses Ergebnis sehr begrüßt. Der DIFFSF kann hier wahrscheinlich aus methodischen Gründen als das „natürlichste“ Maß der Konkurrenz angenommen werden, welches die Konkurrenzverhältnisse um Licht in Beständen widerspiegelt (WAGNER 19945, BIBER 1996). Dennoch muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass der DIFFSF nicht mit der Strahlung gleichgesetzt werden darf. Die direkte Strahlung lieferte den größeren Beitrag zum Strahlungsgenuss der Bäume und diese würde durch den DIFFSF nur unzureichend abgebildet (NAGEL et al. 1996).

Die Betrachtung der Werte des DIFFSF und des FKI  $180^\circ$  erschienen für die Versuchsplanung vor allem sinnvoll, um Aussagen über das Maß der Lichtzufuhr der Freistellungsvarianten geben zu können. Die Effekte konnten letztendlich aber nur für die Werte des FKI belegt werden. Die Werte des DIFFSF sind für diesen Vergleich aus methodischen Gründen nicht herangezogen werden, da die Fisheye-Aufnahmen erst nach der Freistellung durchgeführt wurden (s. Kapitel 2.2.2.2.2). Da keine Gegenüberstellung der DIFFSF-Werte vor und nach der Freistellung existiert, entfiel eine Differenzenbildung, welche eine Wirkung der Freistellung durch entsprechende Lichtzufuhr hätte belegen können. Dies konnte aber mit den FKI-Werten für  $180^\circ$  simuliert werden. Die gute Korrelation zwischen den FKI- und DIFFSF-Werten behob den oben genannten Mangel.

Die berechneten Modelle für die relative Veränderung der FKI-Werte bei  $180^\circ$  Öffnungswinkel und die absoluten DIFFSF-Werte nach der Freistellung zeigen einen tendenziellen Einfluss der Freistellungsvarianten, wenn die Parameter Fichtenaltersstufe und Konkurrenzsituation in die Modelle einbezogen wurden. Auffallend war hier, dass je geringer die betrachtete Konkurrenzsituation der Probestämme gewesen ist, desto weniger wurden die FKI- und DIFFSF-Werte durch eine Freistellung beeinflusst. Einfache t-Tests zwischen den je nach Freistellungsvariante ermittelten Werten (für FKI  $180^\circ$  und DIFFSF) bestätigten einen signifikanten Einfluss der Freistellungsvariante auf die Ausprägung der Werte nach der Freistellung.

Es kann zusammengefasst werden, dass die Freistellungsvarianten zu einer Veränderung der Lichtzufuhr führten und daher auch eine Veränderung der Konkurrenzsituation für die Vogelbeer-Probeebäume bewirkten. Dies war für das Versuchsdesign des waldbaulichen Experiments zunächst eine grundlegend wichtige Aussage.

### Praxisnähe

Die Entnahme von durchschnittlich 5 Konkurrenten in der ältesten Fichtenaltersstufe erscheint aus dem praktischen Blickwinkel vergleichsweise hoch zu sein. Dem Wirtschaftler muss in diesen Fällen sicherlich viel Mut zugesprochen werden, einen derartigen „Lochhieb“ zur Förderung der Vogelbeere durchzuführen. Im Versuch litten auch einige Vogelbeeren nach den Freistellungen an Stabilitätsverlusten (s. Kapitel 3.1.4). Praxisnah erscheint eine mittlere Anzahl von 2 zu entnehmenden Fichtenkonkurrenten je zu förderndem Probebaum zu sein, wie es in der der jüngsten Fichtenaltersstufe durchgeführt wurde.

Abschließend muss zur verwendeten Freistellungsmethode bemerkt werden, dass der Praktiker wahrscheinlich einige Fichten nicht als Konkurrenten angesprochen hätte, welche im Versuchsdesign derartig bestimmt und auch entnommen worden sind. Vor allem sind dies jene Fichten mit einem kleinen Konkurrenzindex, die bei der mäßigen Freistellungsvariante noch entnommen wurden, um den Konkurrenzindex exakt „einzustellen“ (Reduktion des Konkurrenzindex auf 50 %). Andererseits würde in der Praxis bei regulären Hochdurchforstungen der Fichtenbestand insgesamt bearbeitet werden. Es ist davon auszugehen, dass die Freistellung der Vogelbeeren im Zuge einer derartigen „normalen“ Durchforstungsmaßnahme ebenfalls realisiert worden wäre, d.h. es wäre eine höhere Stückzahl Fichten innerhalb des Bestandes entnommen worden. In der regulären Durchforstung wäre die Lichtverfügbarkeit auch durch die Entnahme nicht unmittelbarer Konkurrenten der Vogelbeere gesteigert worden.

Insgesamt muss auch hinterfragt werden, ob die Methode praxisnah angewendet werden kann. Für Empfehlungen an den Praktiker muss hier auf eine Freistellung der Lichtkrone als Ziel hingewiesen werden. Dabei sollten eine maximale Anzahl zu entnehmender Konkurrenten in Betracht gezogen werden, die bei den zu fördernden Vogelbeeren keine Stabilitätsprobleme verursacht. Dabei muss sicherlich auch die Qualität hinsichtlich eines Schadens (z.B. evtl. Fäule durch alten Schälsschaden) zuvor beachtet werden.

## 4.2.2 Oberirdische Wuchsreaktionen

### Allgemeines

„*The effect of intertree competition on individual growth is a very difficult concept to quantify.*“ Dieses Zitat von HOLMES und REED (1991) führen AMMER und DINGEL (1997) wörtlich zu Beginn ihres Diskussionsteils in ihrer Arbeit zu Konkurrenzverhältnissen zwischen Weichlaubhölzern und jungen Stieleichen an. Die Verfasserin der vorliegenden Studie erlaubt sich dieses Zitat in gleicher Art und Weise anzuführen. Leitet es doch sehr treffend auf das Problem, Konkurrenzverhältnisse zwischen Arten zu erfassen und gleichzeitig den Einfluss der Konkurrenzverhältnisse auf das individuelle Wachstums eines Baumes zu untersuchen, hin. Dies wird in der vorliegenden Arbeit durch die bewusste Manipulation und Veränderung durch Freistellungsversuche noch zusätzlich erschwert.

Konkurrenz beschreibt die nachbarschaftlichen Verhältnisse, die auf den Einzelbaum einwirken. Dies sind vordringlich die Ressourcen Licht und Nährstoffe, jedoch muss dieses Beziehungsgeflecht noch um den Faktor „Standort“ erweitert werden, der die Konkurrenzverhältnisse und folglich das Wuchsverhalten der Einzelbäume beeinflusst (BURTON 1993). Zuletzt beeinflusst eine Freistellung der Einzelbäume dieses Beziehungsgeflecht, indem sie die Ressourcenversorgung neu reguliert. Darauf folgen in der Regel arttypische Wachstumsreaktionen, sowohl bei Ressourcenzufuhr als auch bei Ressourcenverknappung, und münden für den Einzelbaum in spezifische Allokationsmuster und -strategien (WAGNER und FISCHER 2008).

Dieses Beziehungsgeflecht aus den verschiedenen Faktoren lässt sich in der Regel schwer entschlüsseln, so dass Interpretationen und Entscheidungshilfen hinsichtlich des Einzelbaumwachstums für die Praxis nur schwer gegeben werden können. Die Erfassung von Konkurrenzsituationen zwischen Baumarten in Jungwüchsen und Jungbeständen ist dabei besonders schwierig (WAGNER und SPELLMANN 1995). Zwar wäre hier ein Vorteil, dass man durch die schnelle Reaktionsfähigkeit der Bäume auch schnell zu deutlichen Ergebnissen gelangt. Die Zahl der wachstumsbeeinflussenden Parameter ist jedoch hoch und diese haben bezüglich der Konkurrenzverhältnisse mehr Gewicht. Das Wachstum in Jungwüchsen und Jungbeständen ist noch stärker beeinflussbar und die genetische Variabilität der Individuen größer. Deshalb sind gerade zuverlässige Prognosen nur für kurze Zeiträume möglich und Folgerungen für die Notwendigkeit von Pflegemaßnahmen können nur schwer gegeben werden. Für einen Versuchsaufbau ist es vor diesem Hintergrund wichtig, die zu untersuchenden Faktoren konstant zu halten (PRETZSCH 2002).

Ein wichtiger Faktor für Versuchsaufbauten sind die klimatischen Bedingungen. Diese sind unbeeinflussbar und fast niemals konstant. Man muss auch für den vorliegenden Versuch annehmen, dass die vorgefundenen Wuchsreaktionen ebenfalls stark von Witterungseinflüssen überprägt gewesen sein könnten. Die Jahre 2002 und 2003 zeichneten sich durch Klimaextreme aus. Das Jahr 2002 war sehr niederschlagsreich mit einem mittleren Jahresniederschlag von ca. 1150 mm pro m<sup>2</sup> im Versuchsgebiet. Das Jahr 2003 war dagegen sehr trocken mit 680 mm pro m<sup>2</sup> mittlerem Jahresniederschlag (UDATA, 2006, s. Tab. 6 und 7, Kapitel 2.2.1). Da aber alle Versuchsglieder gleichzeitig betroffen sind, kann die Witterung als konstanter Faktor betrachtet werden. Die Bäume zeigen dann ein gleiches Muster bei den Zuwachsschwankungen, jedoch das Zuwachsniveau kann dann je nach Behandlung und Konkurrenzsituation unterschiedlich sein (ELFLEIN et al. 2008, UTSCHIG und PRETZSCH 2001). Insgesamt sind aber Schwankungen im Jahresklima für alle Versuche als problematisch einzustufen, welche über einen mehr oder weniger kurzen Zeitraum durchgeführt werden WAGNER und SPELLMANN (1995). Letztendlich kann eine autokorrelative Beeinflussung der Zuwachsreaktionen aus dem Vorjahr ebenfalls nicht ausgeschlossen werden (ELFLEIN et al. 2008, BECK 2007 und 2010).

### Stammwachstum

In dem relativ kurzen Beobachtungszeitraum von drei Vegetationsperioden waren die Wachstumsreaktionen der untersuchten Probebäume in manchen Fällen nur schwach zu erkennen und nicht in jedem Fall statistisch abgesichert nachzuweisen.

Die Ausgangsdimensionen BHD und Höhe der Probebäume zeigten schon zu Versuchsbeginn sehr differenzierte Werte. Vor allem die Vogelbeeren in der Versuchsfläche des 19-jährigen Fichtenbestandes wiesen im Falle der BHD-Dimensionen höhere Werte (mit durchschnittlich 7,6 cm) als die Probebäume in dem 26-jährigen Bestand (4,1 cm) auf. Sie reichen damit sogar an die Werte der Vogelbeeren im ältesten untersuchten Fichtenbestand (7,7 cm) heran. Man hätte eigentlich zweierlei Zustände erwartet: zum einen mit steigendem Alter des Fichtenbestandes auch ansteigende mittlere BHD-Werte der Vogelbeeren und zum anderen eine deutliche Streuung bzw. Differenzierung der BHD-Werte der Vogelbeeren innerhalb der Fichtenaltersstufen. Das Letztere wurde durch die bewusste Auswahl der Vogelbeeren innerhalb unterschiedlicher soziologischer Stellungen in den Fichtenbeständen künstlich bewirkt. Erwartet wurde ein zunehmender BHD mit höherer Fichtenaltersstufe. Das Ergebnis zeigt, dass die deutlichsten Durchmesserdifferenzierungen innerhalb der Fichtenaltersstufe 19 und 32 zu finden waren.

Die Daten der Höhenwerte zeigen ebenfalls diese Unterschiede, wenn auch nicht so deutlich. Es stellt sich die Frage, warum die Vogelbeeren im 19-jährigen Fichtenbestand im Durchschnitt so „beachtliche“ Dimensionen aufwiesen. Ein Beleg dafür, dass diese Bäume evtl. in der Vergangenheit gefördert wurden, konnte nicht gefunden werden. Eine auffallende Häufung von Fichtenstubben in der Nähe der Vogelbeeren war nicht festzustellen. Gelegentlich sind nur alte Schälenschutzmanschetten an Bäumen, die sich vor allem in der Nähe von Wegrändern befunden haben, vorgefunden worden. Dies spricht zumindest für ein gewisses Erhaltungsziel bezüglich der Vogelbeeren. Die betroffene Versuchsfläche liegt bei gleichen Standortverhältnissen ca. 50 Höhenmeter tiefer als die übrigen drei Flächen. Sie ist leicht gegen Süden geneigt und befindet sich in unmittelbarer Ortsnähe. Auch das Wachstum des Fichtenbestandes in dieser Fläche ist den Fichtenbeständen der übrigen Versuchsflächen scheinbar überlegen. Die Fläche besaß laut Forsteinrichtung eine DGZ-Bonität von 15, für die übrigen Bestände wurde eine 13 ausgewiesen. Vermutlich ist es eine Kombination aus kleinstandörtlichen Vorteilen (Klima und Trophie), und geringfügiger Pflege und Beachtung der Vogelbeeren, welche diesen einen Wuchsvorteil am Standort verschafften. Bezüglich der Klimadaten ist auffallend, dass der Waldteil Kreuzfeld, in dem sich der 19-jährige Fichtenbestand befindet, bei den regionalisierten interpolierten Rasterklimadaten immer leicht höhere Jahresdurchschnittstemperaturen (um ca.  $0,3^{\circ}\text{C}$ ) und eine um 2 bis 5 Tage längere Vegetationsperiode aufweist. Dafür sind die Niederschlagsmengen im Waldteil Schönfeld leicht erhöht (s. Tab. 6 und 7, Kapitel 2.2.1). Insgesamt sind die Unterschiede aber als sehr gering einzuschätzen. Zudem muss für die regionalisierten Klimadaten sicherlich auch ein modellbedingter Streuungs- bzw. Fehlerwert angenommen werden.

Die unterschiedlichen Ausgangsdimensionen der Vogelbeeren wurden schon bei der damaligen Versuchsanlage erkannt und im Vorfeld als ungünstig für das beabsichtigte Versuchsdesign befunden. So konnte natürlich bei dem Standort Bā-19 schon im Vorfeld der Untersuchungen eine andere Wuchsreaktion erwartet werden. Zwei Szenarien waren dabei denkbar: entweder erhöhte Zuwächse durch ein vermutlich standörtlich bedingt höheres Wuchspotential oder auch verringerte Zuwächse durch eine evtl. schon eingetretene Wachstumskulmination. Im Falle des relativen BHD- und Höhenwachstums ist im Laufe der Untersuchungen für diese Fläche eine vergleichsweise schwächere Wuchsleistung der Vogelbeeren zu den Bäumen der anderen Untersuchungsflächen bzw. Altersstufen beobachtet worden. Das reale Alter der Vogelbeeren wurde an 5 gefälltten Referenzbäumen ausgezählt. Vier von 5 Bäumen wiesen ein Alter von 17 Jahren auf. Es gab eine Ausnahme, ein Baum mit einem Alter von 13 Jahren.

Dies legt die Vermutung nahe, dass der Durchschnitt der Probestämme an ein Alter von 17 Jahren heranreicht und der 13-jährige Baum als Ausreißer zu betrachten ist.

RYAN et al. (1997) berichtet z.B. von einer „physiologischen Kulmination“, welche die Bäume in Abhängigkeit der Standorts- und Konkurrenzverhältnisse erreichen können. Diese These soll weiter unten näher diskutiert werden.

Für die Versuchsfläche Bā-19 konnte beim Aufbau des Versuchs keine geeignete Alternative gefunden werden. Trotz der scheinbar abweichenden standörtlichen Bedingungen war sie ein notwendiger Baustein in der Anlage der beabsichtigten Wuchsreihe.

BURTON (1993) betont, dass das Höhen- und BHD-Wachstum kumulativ sei. Es sollte bei Analysen in Verbindung mit K-Indizes in relative Werte umgewandelt werden. Auch AMMER (1996) selbst weist darauf hin, dass die Verwendung von relativen Zuwächsen den Einfluss unterschiedlicher Ausgangszustände eliminiert. Diese Aussagen und Hinweise wurden in der vorliegenden Studie (schwerpunktmäßig) bei den Auswertungen zum Zuwachs beherzigt, um das Problem der oben genannten unterschiedlichen Baumdimensionen zu Versuchsbeginn zu minimieren.

### Konkurrenz

Einige Autoren heben neben dem Einfluss des Standortes vor allem den Einfluss der jeweiligen Konkurrenzsituation für das Einzelbaumwachstum hervor (KENNEL 1966, LÜPKE 1991, LEDER 1992, VANNINEN UND MÄKELÄ 2000). Die gefundenen Untersuchungsergebnisse konnten dies bestätigen. Insgesamt wurde für beide Wuchsparameter Höhe und BHD im Ausgangszustand (vor der Freistellung) ein deutlicher Zusammenhang zum ermittelten K-Index gefunden. Somit kann gefolgert werden, dass der Status der Dimensionen von Höhe und BHD vor dem Freistellungsexperiment ein Ausdruck der Konkurrenzverhältnisse ist, in der die Bäume zuvor erwachsen konnten.

Im Falle der Höhenwerte ist der straffe Zusammenhang zum K-Index nicht unbedingt überraschend. Die Höhenwerte der Vogelbeeren sind in Form des Parameters „Ansatzhöhe der Lichtkrone“ indirekt in die Berechnungsmethode des K-Indexes eingeflossen. Von LÜPKE (1991) stellte z.B. bei 4-jährigen Eichen fest, welche sich zu Versuchsbeginn in einer unterdrückten soziologischen Stellung befanden, dass diese nach einer Freistellung ein im Ver-

gleich zu den herrschenden und mitherrschenden Eichen „normales“ Höhenwachstum aufgenommen haben.

Die Ausgangsdimension der Vogelbeeren verschaffte ihnen im Freistellungsexperiment keinen Wuchsvorteil. Man hätte annehmen können, dass die schon vor der Freistellung in BHD und Höhe stark dimensionierten Bäume auch einen entsprechend hohen relativen Zuwachs nach der Behandlung zeigen würden. Der prozentuale Zuwachs nahm aber mit zunehmender Ausgangsdimension ab. Dies zeigte sich über alle Altersklassen.

Die Untersuchungen haben auch gezeigt, dass tendenziell der relative BHD- und Höhenzuwachs mit steigendem Ausgangs-K-Index abnimmt. Man hat aber trotzdem den Eindruck, dass sich gerade über den geringen Ausgangs-Konkurrenzindizes ein breites Streuband an Zuwachswerten aufzeichnet, d.h. bei gleichen (speziell den geringen) K-Index-Werten finden sich unterschiedliche Zuwachsreaktionen (z.B. von ca. 5 bis 70 % Zuwachs für den BHD) und dies unbeeinflusst von der Freistellungsvariante. Die Fichtenaltersstufe hatte aber jeweils einen signifikanten Einfluss, so waren die Werte der Vogelbeeren der jüngsten Fichtenaltersstufe bei den geringsten Konkurrenzindizes und gleichzeitig bei den höchsten relativen Zuwachswerten angesiedelt. Dieser Zusammenhang verschob sich mit zunehmender Fichtenaltersstufe zu höheren K-Indizes und geringeren relativen Zuwachswerten.

#### Freistellungsvarianten

Wenn auch nicht alle bei der Analyse verwendeten Modelle signifikant waren, kann aber die Aussage getroffen werden, dass die Probebäume in allen untersuchten Fichtenaltersstufen mit einem BHD-Zuwachs auf die Freistellung hin reagierten. Ob die mäßige oder die starke Freistellungsvariante einen höheren Zuwachs erbrachte, konnte statistisch nicht nachgewiesen werden. Zuerst schienen nach zwei Vegetationsperioden die stark freigestellten Bäume mit den höchsten BHD-Zuwachswerten aufzufallen. Nach drei Vegetationsperioden hoben sich dann die Bäume in der mäßigen Freistellungsvariante mit den höchsten relativen Zuwachswerten im BHD-Bereich heraus. Dabei müssen die Werte nach drei Vegetationsperioden sicherlich mit Vorsicht bewertet werden, da hier durch Probebaumentnahmen nicht mehr alle Versuchsglieder beobachtet werden konnten und die Stichprobe um diese entnommenen Bäume entsprechend verringert gewesen ist.

Zum Einfluss von Durchforstungseffekten auf den BHD-Zuwachs finden sich viele Studien für verschiedene Baumarten aus den verschiedensten Regionen. Die Studien zeigen in der

Regel, dass mit erhöhtem Freistellungsgrad auch ein erhöhter BHD-Zuwachs einhergeht (DRINKWATER 1960, MOSANDL et al. 1991).

Für den Parameter Höhe war nur nach drei Vegetationsperioden ein tendenzieller Trend zu beobachten, welcher der mäßigen Freistellungsvariante stärkere Höhenzuwächse bescheinigt. Hier sollte die Analyse des Terminaltrieblängenzuwachses die Beobachtung der Höhenzuwächse untermauern. Die Triebbasisnarben zeigen deutlich die Grenzen des Höhenwachstums der vergangenen Jahre an der Stammachse (ROLOFF 2001). Der Längenzuwachs der Terminaltriebe zwischen den Triebbasisnarben konnte an den gefälltten liegenden Bäumen gut vermessen werden. Dies versprach auch eine exaktere Messung als die Messung der stehenden Bäume mit der Teleskopmesslatte. Es wurden allerdings nur die Terminaltrieblängen der in der Fichtenaltersstufe 16 und 26 dem Versuchsdesign entnommenen Probestämme vermessen und analysiert. Im Gegensatz zur Analyse der restlichen Wachstumsparameter wurde hier der absolute Zuwachs ermittelt. Verglichen wurde zum einen der mittlere absolute Zuwachs der einzelnen Beobachtungsjahre und der aufsummierte Zuwachs aller drei Jahre. Im Ergebnis unterschieden sich die mittleren absoluten Triebblängen der mäßigen Freistellungsvariante aus dem Jahr 2003 zu den nicht freigestellten Bäumen signifikant.

Den insgesamt auffällig schwachen Zusammenhang zwischen Höhenwachstum und Freistellung bzw. Konkurrenzsituation konnte bei vielen Untersuchungen mit unterschiedlichen Baumarten festgestellt werden (HAMILTON 1981, zit. in JUODVALKIS et al. 2005; MOSANDL ET AL. 1991, WOOD et al. 1996, AMMER und DINGEL 1997, MÄKINEN 1997, LUDWIG, 1998, PELKKI 2004, SIMARD et al. 2004).

AMMER und DINGEL (1997) konnten in ihrer Arbeit keinen Einfluss distanzabhängiger K-Indizes auf das Höhenwachstum von 8-jährigen Stieleichen nachweisen. Dies bestätigte auch MÄKINEN (1997) bei Kiefer, welcher sowohl distanzabhängige und auch distanzunabhängige Konkurrenzindizes in seine Analysen einbezog. HUMMEL (2000) bestätigt für *Cordia alliodora*, dass das BHD-Wachstum nur von der Bestandesdichte beeinflusst wurde. Bei Untersuchungen zum „Saaler-Birken-Lichtwuchsmodell“ (LUDWIG 1998) reagierten die Birken vor allem mit Dickenwachstum. Das Höhenwachstum wurde dagegen kaum beeinflusst. Die Birken waren zum Zeitpunkt der Freistellung 30 Jahre alt. Sie wurden gemäß dem Lichtwuchsmodell stark, d.h. auf einen Schlussgrad von ca. 0,5 freigestellt. Ähnliche Effekte sind auch bei WOOD et al. (1996, 20-jährigen Gelbbirken in Mischbeständen) und auch PELKKI (2004, *Cherry oak*) zu finden.



Interessant sind in diesem Zusammenhang die Studien von MC DONALD et al. (1990), nach denen der Zusammenhang zwischen Konkurrenz und Höhenwachstum bei schattenintoleranten Baumarten enger sei, als bei den schattentoleranten Baumarten. Auch NILSSON und GEMMEL (1993) stellten fest, dass Lichtbaumarten bei erhöhtem Konkurrenzdruck erst das Dickenwachstum und dann das Höhenwachstum einschränken. Bei Schattbaumarten sei dies nicht so ausgeprägt.

WAGNER und FISCHER (2008) führen dazu aus, dass bei natürlichen Differenzierungsprozessen in Beständen, wo bisher keine Durchforstung stattgefunden hat, das Höhenwachstum scheinbar zunächst weniger beeinflusst wurde als das BHD-Wachstum. Dennoch kann hier zwischen Pionierbaumarten und Schlusswaldbaumarten unterschieden werden. Das Höhenwachstum der Pioniere leide unter Konkurrenz bei der Differenzierung eher, als das der Schlusswaldbaumarten. Charakteristisch für diese Bestände sei dann eine typische „rechtschiefe Höhenverteilungskurve“.

Für PETERS et al. (1995) dient dieses „konservative“ Wachstum der Schattbaumarten als „Überlebensstrategie“. Das Längenwachstum würde z.B. zugunsten des Längen-Wurzelverhältnis eingedämmt und gleichzeitig würde auch die Blattmasseproduktion verringert. Diese Strategie könne z.B. helfen Trockenheit zu überstehen.

Nach RÖHRIG et al. (2006) muss erst ein gewisser Konkurrenzgrad erreicht werden, bevor das Höhenwachstum beeinflusst wird.

WAGNER und RÖKER (1999 und 2000) zeigten dagegen bei einer Beobachtung über 5 Vegetationsperioden, dass das Höhenwachstum von jungen Stieleichen verzögert auf eine Konkurrenzsituation durch Birkenanflug reagiert. Die Eichen waren zum Ende des Versuchszeitraumes 7 Jahre alt. Die Konkurrenzstärke durch die Birken wurde zu Anfang des Versuchs bei den 2-jährigen Eichen mit Hilfe des Konkurrenzwertes nach SCHÜTZ (1989, zit. in WAGNER und RÖKER 1999 und 2000) analysiert und jährlich neu bestimmt. WAGNER und RÖKER (1999) berichten, „... , daß nach einer kontinuierlichen Beobachtung über 6 Jahre Veränderungen in der Bedeutung des Konkurrenzindexwertes für das Höhenwachstum mit der Zeit festzustellen waren: Zunächst gab es entweder eine leicht positive bis keine Reaktion, erst später eine deutlich negative auf zunehmende Konkurrenz [...]“.

Bei ELFLEIN et al. (2008) war Einfluss der Konkurrenzsituation auf den Zuwachs von freigestellten und nicht freigestellten Elsbeeren nach 2 Jahren nicht mehr nachweisbar, d.h. man

hätte die Konkurrenzsituation ebenfalls jährlich neu bestimmen müssen. Dies kritisieren auch WAGNER und RÖKER (1999): „Eine Dokumentation der Konkurrenzsituation sollte deshalb nicht nur zu einem Zeitpunkt, sondern wiederholt über einen längeren Zeitraum geschehen.“

Diese oben genannten Aussagen legen für die vorliegende Studie aber auch den Schluss nahe, dass der K-Index nach der Freistellung der Vogelbeeren jährlich hätte nachberechnet werden müssen. Weiterhin ist zu vermuten, dass ein Beobachtungszeitraum von 3 Jahren eventuell zu kurz gewesen ist, um den Verlauf des Höhenwachstums der freigestellten Vogelbeeren genau beurteilen zu können. Auch wenn man hier sicherlich vorsichtig sein muss mit dem Vergleich der Wachstumsmuster von Eichen im Jungwuchsstadium und Vogelbeeren im Stangenholalter.

Bezüglich des Einflusses der Freistellungsvariante bestätigte auch die Studie von DRINKWATER (1960) bei ca. 25-jährige Bäumen des Zuckerahorns (*Acer saccharum*), dass sich der BHD-Zuwachs zwischen einer mäßigen Freistellung und einer starken Freistellungsvariante nicht signifikant unterschied. Die Freistellungsvariante wurde in dieser Studie mit einer Art „Kronenerweiterungsraum“ beschrieben: eine Erweiterung von 5 bis 6 feet (ca. 1,5 m bis 1,8 m) beschrieb eine mäßige Freistellung und ein „Kronenerweiterungsraum“ von 8 bis 10 feet (ca. 2,4 m bis 3,0 m) eine starke Freistellung. DRINKWATER (1960) resümiert trotzdem, dass die mäßige Freistellungsvariante die zu favorisierende Variante wäre, wenn man ein ausgewogenes Verhältnis von Zuwachs und Pflegeaufwand erlangen möchte. Ein Einfluss auf den Höhenzuwachs konnte nicht nachgewiesen werden.

JUODVALKIS et al. (2005) untersuchten Reinbestände der Baumarten Birke, Aspe, Esche, Eiche, Fichte und Kiefer in verschiedenen Altersstufen (10 bis 60 Jahre), welche mit unterschiedlichen Freistellungsvarianten behandelt wurden. Hier zeigten sich die jüngeren Bestände (10-20 Jahre) aller untersuchten Baumarten als sehr reaktionsfreudig. Die Bäume reagierten auf eine geringe bis mittlere Freistellung mit dem besten Bestandesvolumenzuwachs.

Auch WOOD et al. (1996) konnten bei den Wuchsreaktionen der Gelbbirken in ihrer Untersuchung beobachten, dass eine mäßige Freistellung ein ausgewogeneres Verhältnis zwischen Zuwachs und Stammqualität (hinsichtlich Wasserreiser) gewährleistete. Mäßige Freistellung bedeutete in ihrem Fall ein Radius um dem Zukunftsbaum, der 30% der mittleren Bestandeshöhe umfasst (bei ihren Probebäumen 3 m). Bei starker Freistellung wurde die Wasserreiser-

bildung an den Gelbbirken stark gefördert. Diese entwickelten sich dann zu vitalen Ästen und setzten so die Qualität der freigestellten Bäume herab.

Eine Wasserreiserbildung konnte an den freigestellten Vogelbeeren in der vorliegenden Studie nicht beobachtet werden. Vor allem wird aber die Anbringung der Schälenschutzmanschetten, welche den Stamm bis ca. 1,60 m Höhe umhüllten, die Ausbildung der Wasserreiser verhindert haben. Zur Ausbildung von Wasserreisern an Vogelbeeren konnten keine Studien gefunden werden.

Die Ermittlung eines notwendigen mittleren „Freistellungsradius“ für die Vogelbeeren, welcher der entsprechenden Freistellungsvariante in den Fichtenaltersstufen entspricht, hätte noch zu interessanten und praxisnahen Ergebnissen führen können. Für den örtlichen Wirtschaftler wäre dies als Orientierungshilfe bei Auszeichnungen von Fichtenjungbeständen nutzbar, in denen einzelbaumweise eingemischte Vogelbeeren gefördert werden sollen. Für diesen Zweck kann, nach dem Stand der vorliegenden Arbeit, nur die Tabelle der entnommenen Fichtenbedränger je Freistellungsvariante und Fichtenaltersstufe dienen (Tab. 36, Kapitel 3.1.4).

Im vorliegenden Versuch hatten alle Vogelbeeren im Vergleich zu den Fichten eine stark untergeordnete Rolle. Die vergleichende Höhenaufnahme zwischen Fichten und Vogelbeeren aus der terrestrischen Inventur repräsentiert auch die vorgefundenen Verhältnisse in den Versuchsbeständen des Freistellungsexperiments. In der Fichtenaltersklasse 10-19 Jahre haben die Fichten einen mittleren Höhenwuchsvorsprung von 2 m, der sich bis zur Altersklasse 41-50 Jahre auf durchschnittlich 7 m erweitert. Nach den Ergebnissen der terrestrischen Inventur in der vorliegenden Studie muss man annehmen, dass die Vogelbeeren den Kulminationszeitpunkt ihres Höhenwachstums innerhalb der untersuchten 50-jährigen Fichtenbestände erreicht hatten.

Auch PRIEN (1964) stellt fest, dass Vogelbeeren in den älteren Fichtenbeständen nicht mehr in den obersten Baumschichten zu finden sind.

Eine weiterhin auffallende Reaktion im Versuchsdesign war vor allem die „Zuwachsfreude“ der jüngsten und auch verhältnismäßig im Durchmesser schwachen Bäume. Dies bestätigt auch die oben schon genannte Studie von JUODVALKIS et al. (2005) für Reinbestände der untersuchten Baumarten Birke, Aspe, Esche, Eiche, Fichte und Kiefer in den Altersstufen 10 bis 20 Jahre. Für Eichen stellte NUTTO (1999) dazu fest: „Die Fallstudie über die Reaktionsfä-

*higkeit der jungen Eichen auf Freistellung zeigt bei 20-jährigen Eichen ein hohes Potential an Zuwachssteigerung, unabhängig von der Kronengröße und sozialen Stellung. Obwohl das Ergebnis weiterer Absicherung bedarf, scheint in dieser frühen Bestandesphase eine relativ große Freiheit bei der Auswahl auch kleinkroniger Eichen zur weiteren Förderung zu bestehen. Mit zunehmendem Alter läßt nach SPIEKER (1991) die Reaktionsfähigkeit schwach bekronter Eichen auf Freistellung nach.“*

### Alter

Auch die im Versuch ältesten untersuchten Vogelbeeren der Fichtenaltersstufe 32 konnten noch mit entsprechendem Zuwachs auf eine Freistellung reagieren (ca. 20 % BHD-Zuwachs und ca. 10 % Höhenzuwachs nach 3 Vegetationsperioden). Das Alter der Vogelbeere in der Fichtenaltersstufe 32 wurde nicht bestimmt. Wenn man annimmt, dass die Vogelbeeren hier ähnlich alt wie die Fichten sind, also ca. 30 Jahre, dann sind sie bei einer durchschnittlich leistbaren Lebensspanne von ca. 80 Jahren (RASPÉ et al. 2000) vergleichsweise jung. Dennoch scheinen sie ihren Kulminationszeitpunkt des Wachstums schon erreicht zu haben. Die jüngeren Vogelbeeren im Experiment erreichten wesentlich höhere Zuwachswerte nach der Freistellung (maximal bis zu 70% BHD-Zuwachs und max bis 35 % Höhenzuwachs nach 2 Vegetationsperioden in der Fichtenaltersstufe 16).

ELFLEIN et al. (2008) konnten für 80-100jährige Elsbeeren zeigen, dass diese auch noch auf Freistellungen reagieren. Zugleich stellten sie aber auch fest, dass 6 Jahre nach der Durchforstung die Konkurrenz wieder ansteigt.

UHL (2009) resümiert z.B. anhand von Jahrringanalysen an älteren Fichten: *„Dies legt den Schluss nahe, dass das ontogenetische (physiologische) Alter eines Baumes für seine Reaktionsfähigkeit verantwortlich ist. Bezogen auf das absolute Alter der Bäume belegen die Ergebnisse der vorliegenden Studie die Fähigkeit von Fichten, ihr Wachstumspotenzial bis zum Alter 80 bis 100 Jahr zu konservieren. Zu gleichem Ergebnis kommen auch SPATHELF (1999) und EPP (2004). Die Entfaltung der Zuwachssteigerung hängt dann im wesentlichen von anderen Faktoren ab.“* [...] *„Eine konsequente und wiederkehrende Freistellung von zwischenständigen Fichten führt demnach zu lang anhaltendem, gesteigertem Zuwachs auch bei fortgeschrittenem absolutem Baumalter.“*

Nach WEINER (2001) ist grundsätzlich zu diskutieren, ob Wachstumsrückgänge von Bäumen eher auf eine bestimmte Baumgröße und nicht auf das Alter, also auf physiologische Ursachen, zurückzuführen sind. Der Blick würde bei dieser Fragestellung viel zu sehr auf die gesamte Populationen bzw. die Bestände gerichtet und nicht auf den Einzelbaum. Dabei zeigen

gerade die Einzelbaumkompartimente, wie z.B. der Stamm bzw. BHD, manchmal wahrhaft unvorhersagbare Wachstumsmuster („*truly intermediate growth patterns*“ THOMAS 1996, zit. in WEINER 2001).

### Verzögerte Wuchsreaktion

Eine verzögerte Wuchsreaktion hat sich bei den freigestellten Vogelbeeren, zumindest für das Dickenwachstum, nicht eingestellt. Die Bäume reagierten in der auf die Freistellung folgenden Vegetationsperiode mit sichtbaren Zuwachsreaktionen. Die Ergebnisse der Jahrringanalyse zeigten dies deutlich für die Vogelbeeren in der Fichtenaltersstufe 16 und 26, deren Zuwachs mit dieser Methode genau analysiert werden konnten.

Einige Studien vermuten ein verzögertes oberirdisches Wachstum von freigestellten Bäumen, da aufgrund spezieller Allokationsstrategien der resultierende Zuwachs zunächst in den Wurzelbereich verlegt wird. So konnten URBAN et al. (1994) an einem 120-jährigen Weißfichtenbestand (*Picea glauca*) zeigen, dass bei einer Freistellung (durch Straßenbau) der Zuwachs zunächst in die Wurzeln ging und das Stammwachstum verzögert eintrat (verstärkte Windexposition).

An dieser Stelle sei auch noch einmal auf die schon erwähnte Arbeit von WAGNER und RÖCKER (1999 und 2000) hingewiesen. Die Autoren belegten eine verzögerte Reaktion des Höhenwachstums von jungen Stieleichen (am Ende des Versuchs 7jährig) auf den Konkurrenz-einfluss eines Birkenschirmes nach 5 Vegetationsperioden.

Man gewinnt anhand der Ergebnisse der Jahrringanalyse aber auch den Eindruck, dass die Zuwachsleistung aller freigestellten Vogelbeeren nach 3 Jahren wieder nachlässt und sich auf dem Niveau der Zuwachsleistung vor der Freistellung einfindet. Es ist anzunehmen, dass der Fichtenbestand sich innerhalb der 3 Jahre des Untersuchungszeitraumes wieder derart geschlossen hat, dass die Konkurrenzverhältnisse scheinbar denen vor der Freistellung ähneln. Eine wiederholte Aufnahme der Konkurrenzverhältnisse für die Vogelbeeren und zusätzliche Kronenablotungen der konkurrierenden Fichten hätten dies evtl. belegen können. Derartige Messungen sind nicht durchgeführt worden.

Man kann zudem annehmen, dass einige Fichtenkonkurrenten, welche nicht entnommen worden sind, von der Freistellung ebenfalls im Wachstum profitiert und mit einer entsprechenden Kronenvergrößerung reagiert haben. Auch wenn die Kronenexpansion bei Fichte bekanntermaßen nicht so stark wie bei Laubbäumen ist, so können doch bis zu 80% Kronenexpansion (Schirmfläche) erreicht werden (bei Laubbäumen wie z.B. Aspe und Birke bis zu 200%; JUO-

DVALKIS 2005). PUKKALA et al. (1998) konnte z.B. für Kiefer und Fichte feststellen, dass diese auch 5 Jahre nach der Durchforstung noch im Wachstum profitieren.

### Ergebnisse des Jahrringverlaufs

Wie oben schon ausgeführt, sollten die Ergebnisse der Jahrringanalyse genauere Aussagen zum Dickenwachstum ermöglichen. Auf entnommenen Stammscheiben von gefällten Bäumen sind Jahrringe vergleichsweise einfach zu vermessen. Dennoch geht die Vermessung immer mit einer destruktiven Beprobung einher. Die Bohrstockmethode (nach PRESSLER 1866, zit. in SCHWEINGRUBER 2001) wäre in diesem Fall sicherlich eine empfehlenswerte Methode gewesen, um die Probestämme im Versuchsdesign zu belassen. Die Bohrstockmethode wurde im Versuch getestet, war aber an den Vogelbeeren geringerer Dimension technisch sehr schwer durchzuführen. Insbesondere war darauf zu achten, dass bei der Bohrung auch der Kern des Baumes getroffen wird. Dies konnte nicht immer gewährleistet werden, so dass von der Methode abgesehen wurde und nur an einigen wenigen Referenzbäumen zur Altersbestimmung benutzt wurde. Weiterhin war nicht sicherzustellen, ob die jungen Vogelbeeren eine Beprobung per Zuwachsbohrer, vor dem Hintergrund eines weiteren ungestörten Wachstums, schadlos überstanden hätten.

Bei der vorliegenden Studie wurde die Vermessung der Stammscheiben zum damaligen Zeitpunkt mit einer halbautomatischen Jahrringmessanlage durchgeführt. Das Phänomen „fehlender“ bzw. „auskeilender“ Jahrringe als Fehlerquelle (HILLEBRAND 1998, SCHWEINGRUBER 2001) konnte an den aus dem Versuchsdesign entnommenen Bäumen nicht festgestellt werden. HILLEBRAND (1998) führt dieses Phänomen bei den von ihm untersuchten Vogelbeeren auf extreme Witterungsbedingungen zurück und konnte es bei seinen Untersuchungen an sehr alten bzw. sozial untergeordneten Vogelbeeren feststellen.

Die Vogelbeere ist ein Zerstreutporer und tendiert bei besonders großen Jahrringen zum Halbringporer (ROLOFF et al. 2010). Nach GILLER (2012) unterliegen Ringporer eher Wachstumsschwankungen aufgrund äußerer Einflüsse als Ringporer. ROSENBERG (1995) bestätigt der Vogelbeere auch insgesamt geringere Schwankungsbreiten der Jahrringe im Vergleich zur Fichte bei vorkommenden Klimaextremen. Dies sei auch ein Ausdruck der Eigenschaft der guten „Standortanpassung“ der Vogelbeere.

Entscheidend für Wuchsreaktionen seien auch die Umweltbedingungen aus dem Vorjahr, d.h. die Klimabedingungen und die entsprechende Nährstoffzufuhr (LYR et al. 1992). Die Bäume

profitieren vor allem im Frühjahrswachstums von diesen Bedingungen als eine Art Reservepuffer.

Bezüglich der Witterung des Vorjahres in den Versuchsgebieten kann nur ein Blick auf die regionalisierten interpolierten Raster-Klimadaten (UDATA 2006) gegeben werden. Nach diesen modellierten Daten war in beiden Waldteilen die Witterung im Jahr vor der experimentellen Freistellung (1997) ca. 0,7°C kühler und mit 9 Litern pro m<sup>2</sup> (Waldteil Kreuzwald, BÄ-19) und 11 Litern pro m<sup>2</sup> (Waldteil Schöfeld, BÄ-16, 26 und 32) geringfügig trockener. Diese klimatischen Unterschiede werden als marginal eingeschätzt.

Da das Jahrringwachstum in der Regel im Monat Mai beginnt und im August aufhört, sind scheinbar auch die klimatischen Bedingungen ganz bestimmter Monate in der Vegetationsperiode für das Wachstum eines Baumes entscheidend (LYR et al. 1992). So bezeichnen BOURIAUD et al. (2004) den Monat Juni als entscheidenden „Wuchsmonat“. Nach LYR et al. (1992) setzt das Dickenwachstum und Höhenwachstum baumartenabhängig in verschiedenen Monaten ein. Für die Vogelbeere konnten bisher dazu keine entsprechenden Referenzen gefunden werden.

Die hier untersuchten Vogelbeeren zeigten im Mittel einen Jahrringzuwachs von 1,48 mm über alle Altersstufen und Freistellungsvarianten. Die von PRIEN (1964) holzanatomisch untersuchten Vogelbeeren aus den Hochlagen des Thüringer Waldes hatten einen Mindestdurchmesser von 10 cm und zeigten einen mittleren Jahrringzuwachs von 1,9 mm (PRIEN 1964, S. 74). Bei HILLEBRAND (1998) kann der Abbildung 13 auf Seite 47 entnommen werden, dass die von ihm im Weserbergland (mittlere Lagen) und Sauerland (Hochlagen) untersuchten ca. 20-jährigen Vogelbeeren einen mittleren Jahrringzuwachs zwischen 1,5 mm und 3,5 mm geleistet haben. Das Wuchspotential dieser Vogelbeeren kann sicherlich aufgrund des atlantisch geprägten Klimas höher als das der Thüringer und Sächsischen Vorkommen der mittleren Lagen und Hochlagen eingeschätzt werden.

Die „reine“ Darstellung des Verlaufs der mittleren, nicht von Autokorrelation befreiten, Jahrringbreiten der Vogelbeeren der Fichtenaltersstufe 16 und 26 zeigt deutlich die Wuchsreaktion der geförderten Bäume gleich im ersten Jahr nach der Maßnahme. Die Reaktion zeigt sich auch deutlich über alle untersuchten Stammkompartimente. Interessant ist hierbei, dass bei den nicht freigestellten Bäumen vor allem das Kompartiment „Baummitte“ an Zuwachs zulegt. Insgesamt kann vermutet werden, dass bei einer Freistellung der Zuwachs der Bäume vor

allem erst im Stammbereich ansetzt, um evtl. einen stabilisierenden Ausgleich zu schaffen (URBAN et al. 1994, VANNINEN et al. 1996). Hingegen legen die nicht freigestellten Bäume ihren Zuwachs schwerpunktmäßig in der Baummitte an, evtl. dient dies einer gewissen ausgleichenden Stabilität in einer fortwährenden Konkurrenzsituation, die auch leicht zunimmt. Die Jahrringbreiten aus dem Stammfußbereich zeigten aber sehr hohe Streuungen.

### Methode Beck

Zur Analyse des Jahrringzuwachses wurden die erhobenen Daten der Jahrringe der vorliegenden Studie weiterhin nach einer Methode indiziert, die bei BECK (2007) beschrieben wird. Die Indizierung besitzt den Vorteil, dass die Jahrringbreiten von Autokorrelation befreit werden. Speziell im Jahrringwachstum ist es deutlich, dass die aktuelle Jahrringbreite einer straffen Korrelation zur Jahrringbreite des Vorjahres folgt (Anhang III) (BECK 2007 und 2010). Diese Methode ermöglicht letztendlich einen Vergleich zwischen Bäumen verschiedener soziologischer Stellungen bzw. Bäumen unterschiedlichen Durchmessers. Die während der Berechnungsschritte erfolgte Generierung von relativen BHD-Verläufen ermöglicht diesen Vergleich der unterschiedlich dimensionierten Bestandesglieder und gibt gleichzeitig einen Überblick über den Wachstumsverlauf innerhalb des Bestandeslebens. Dabei können Unregelmäßigkeiten aufgedeckt werden. Im Falle des Wachstums der Versuchsbäume der vorliegenden Studie zeigen sich in beiden untersuchten Fichtenaltersstufen in den ersten Etablierungsjahren des Jungwuchsstadiums (zwischen 6 und 9 Jahren) der Vogelbeeren Abweichungen vom mittleren relativen BHD-Wachstumsverlauf. Hier sind unterschiedlichste Konkurrenzszenarien denkbar, die sich in Kulturstadien und Jungwüchsen abspielen, z.B. erfolgte Pflegen oder die einsetzende Konkurrenz der Fichten, welche die Vogelbeeren im Höhenwachstum überholen. Bei den von MÜLLER (1998) durchgeführten Untersuchungen in einem Fichtenjungwuchs hatten die 13-jährigen Fichten schon einen Wuchsvorsprung gegenüber den natürlich eingemischten Vogelbeeren. Die Ergebnisse der für diese Studie durchgeführten terrestrischen Inventur zeigen schon in der Altersklasse 2 (Alter des Fichtenbestandes zwischen 10 und 19 Jahren) einen mittleren Wuchsvorsprung der Fichte von ca. 3m. Zu beachten ist aber auch, dass Vogelbeeren unterschiedlichen Alters in die Kurve des mittleren BHD-Verlaufs eingehen. Das heisst, der Verlauf dieser Bäume wird im Diagramm über der Jahresachse dargestellt, so dass man den relativen BHD unterschiedlich alter Bäume nur innerhalb eines bestimmten Jahres vergleichen kann. Sicherlich sind hier unterschiedliche Wuchsreaktionen je nach Alter und Konkurrenz, auch schon in frühen Stadien, zu erwarten. Dies führt u.U. zu einer verzerrten Betrachtungsweise der Daten.



Für weiterführende Jahrringanalysen, z.B. zur Verschneidung mit Klimadaten, müssen die Daten auch vom Alterstrend, dem der Zuwachs von Bäumen i.d.R. unterliegt (BECK 2007 und 2010), bereinigt werden. Dies ist bei der Untersuchung von so relativ jungen Bäumen wie in der vorliegenden Studie nicht von Relevanz (BECK, mündlich 2015), da diese noch keinem Alterstrend unterliegen.

Der Verlauf der Jahrringindexkurven in den zwei Fichtenaltersstufen 16 und 26 zeigen sehr schön die Reaktion der freigestellten Bäume durch deutliche „Piks“ bzw. Ausschläge des Kurvenverlaufs nach oben. Überraschend ist aber auch das schnelle Absinken der Indexkurve auf das Niveau vor der Freistellung. Die nicht freigestellten Bäume der Fichtenaltersstufe 26 zeigen sogar insgesamt eine abnehmende Indexkurve. In dieses Kollektiv fallen scheinbar verhältnismäßig junge Bäume. Der Index konnte hier ab dem Jahr 1989 erstellt werden, also waren die ältesten Bäume des Kollektivs der nicht freigestellten Bäume in der Fichtenaltersstufe 26 ca. 16 Jahre alt. Wahrscheinlich haben sie sich in Lücken des damals ca. 10-jährigen Fichtenbestandes angesamt und litten recht schnell und zunehmend unter dem Konkurrenzdruck der sich schließenden Fichtenkultur.

Interessant, aber weniger zufriedenstellend für den Versuchsaufbau, ist das Ergebnis des Indexverlaufs der nicht freigestellten Bäume in der Fichtenaltersstufe 16. Obwohl diese Probebäume keine Förderung bekommen haben, zeigten sie ebenso wie die freigestellten Bäume eine deutliche Zuwachsreaktion. Dies könnte ein Indiz dafür sein, dass die Wuchseinheiten (zentraler Vogelbeerprobebaum und zugehörige Fichtenkonkurrenten) in nicht ausreichendem Abstand voneinander ausgewählt wurden. Möglicherweise hat somit der gesamte Fichtenbestand durch die Freistellungsmaßnahmen eine Auflichtung erfahren.

### Durchforstungsstress

Einige Studien berichten, dass Bäume nach einer Freistellung einen gewissen „Durchforstungsstress“ erleiden können. PUKKALA et al. (1998) definiert Durchforstungsstress folgendermaßen: *“Thinning stress [...],... can be defined as the growth difference between a tree growing in a thinned stand and a tree of exactly similar size, age, and with the same growing space, but growing in an unthinned stand.”* Eine spätere Studie von PUKKALA et al. (2002) zeigt z.B. für Kiefernjungbestände, dass Freistellungsreaktionen („*thinning response*“) bei sehr starken Durchforstungen sich auch durch einen „*thinning bias*“, d.h. einer negativen Abweichung der wirklichen Wuchsreaktion von der geschätzten Wuchsreaktion (modellierten), zeigen können. Der „*thinning bias*“ ist dann eine Art Reaktion auf Durchforstungsstress zu werten. Dies würde durch die abrupte Änderung der Wuchsbedingungen hervorgerufen. Die

Bäume hätten dann einen geringeren Zuwachs (mit denselben Modellschätzwerten) als ähnliche Bäume, die in einem undurchforsteten Bestand wachsen würden. Diese gestressten Bäume könnten den Zugewinn an Wachstumsressourcen nicht effizient ausnutzen im Gegensatz zu Bäumen, die sich allmählich an die neuen Wachstumsbedingungen (größeren Wuchsräume) hätten gewöhnen können. Je stärker die Durchforstung bzw. Freistellung, desto höher der Stresslevel für die Bäume. PUKKALA et al. (2002) fand heraus, dass der negative Einfluss zwischen 2 und 5 Jahren nach der Freistellung noch andauern kann und dann erst kompensiert wird.

Für KARIUKI (2008) ist die Freistellungsreaktion eine Summe aus positiven (Zunahme Wuchsraum) und negativen (Freistellungsstress-) Effekten. Nach seinen Untersuchungen aus einer 29-jährigen Versuchsreihe in Eukalyptus-Wäldern Australiens zeigten vor allem die kleiner dimensionierten Bäume eine Stressreaktion in den ersten ein bis zwei Jahren nach der Freistellung. Die größeren Bäume zeigten eine geringere bzw. auch eine langsamere Reaktion auf die Förderung.

Im eigenen Versuch kann die starke Reaktion der kleineren Bäume auf die Freistellung bestätigt werden. Der relative Zuwachs zeigte sich dabei abhängig vom BHD. Je kleiner die Dimension des BHDs vor der Freistellung gewesen ist, desto größer war relative Zuwachs.

#### Maximale Freistellungsvariante

Ein interessanter Aspekt in diesem Zusammenhang wäre die Erprobung einer maximalen Freistellungsvariante gewesen, ab der der Zuwachs der Vogelbeeren eventuell nicht mehr gesteigert werden kann. Bei HAMILTON (1981, zit. in JUODVALKIS 2005) „marginal thinning intensity“ genannt. Allerdings beziehen sich diese Studien auf einen Gesamtbestand, um maximale Durchforstungsstärken ohne Volumenverluste bestimmen zu können. Für die vorliegende Studie wäre es (vor allem für den örtlichen Praktiker) sehr interessant einschätzen zu können, inwieweit die starke Freistellungsvariante innerhalb der verschiedenen Fichtenaltersstufen als stark bezeichnet werden kann. Dies ginge natürlich nur auf Einzelbaumebene. Für die Probestämme, welche durch die Freistellungsbehandlung einen Schaden erlitten haben, ist ihre Freistellungsvariante sicherlich als „zu stark“ zu bezeichnen. Dies ist aber auch von der baumindividuellen soziologischen Stellung und der Dimension bzw. dem HD-Wert des Baumes abhängig. Für einen Baum mit einem hohen und instabilen HD-Verhältnis kann auch eine

mäßige Förderung schon „zu stark“ sein. Die im Versuchsdesign beschädigten Bäume hatten alle ein HD-Verhältnis, welches weit über dem Wert 100 lag.

### HD-Werte

NILSSON und GEMMEL (1993) betonen, dass die Weiserfunktion der HD-Werte für Stabilität gleichermaßen für Nadel- und auch Laubbäume gilt und für beide nachgewiesen ist, dass Lichtbaumarten bei erhöhter Konkurrenz auch eher mit höheren HD-Werten als Schattbaumarten reagieren.

Allgemein wird aber angenommen, dass es bei Laubbäumen kaum klare Beziehungen zwischen Stabilitätsgrad und individueller Baumform gibt, da Laubbäume bezüglich der Stabilität als insgesamt weniger gefährdet eingeschätzt werden, z.B. bei plötzlichen Freistellungen. Hier sei maximal die Qualität z.B. durch Sonnenbrand und Wasserreiser gefährdet (WAGNER und FISCHER 2008).

Die Probestämme besaßen schon zu Beginn des Freistellungsversuchs hohe HD-Werte mit einem mittleren Wert von 138, so wurde z.B. ein Maximalwert von 204 bei einem Baum in der Fichtenaltersstufe 16 ermittelt.

Auch WAGNER und RÖKER (1999) stellten bei ihren Untersuchungen an Birke und Eiche hohe HD-Werte fest. Sie folgerten, dass diese Baumarten mit hohen HD-Werten bezüglich der Stabilität besser zurechtkommen als andere.

MESSIER und PUTTONEN (1995) beobachteten an bis 2 m hohen Birken unter Kiefernbeständen verschiedenen Alters eine Zunahme des HD-Verhältnisses bei abnehmendem Licht.

Aus waldbaulicher Sicht günstige HD-Werte zeigen die Vogelbeeren in der Fichtenaltersstufe 19 mit Werten  $< 100$ . Hier kann wieder vermutet werden, dass diese Bäume evtl. schon relativ etabliert, mit stabilen HD-Werten, in den Fichtenbestand gewachsen sind und sie die bei PRETZSCH (2002) erwähnte Stabilitätsstrategie verfolgen.

In gleichaltrigen Reinbeständen ist der HD-Wert auch an das Alter der Bäume geknüpft. Je älter die Bäume werden, desto geringer wird der HD-Wert (KRAMER 1988, PRETZSCH 2002). Dies wird durch die abnehmenden Konkurrenzverhältnisse und durch eine Verschiebung der Allokationsverhältnisse in den Stammbereich begründet. Je nach Durchforstungsstrategie wird der Anteil schwächerer Bäume auch geringer und es differenzieren sich immer (mehr) vorwüchsige stabile Bäume heraus (PRETZSCH 2002). In der vorliegenden Studie zeigte sich

kein typischer Verlauf der Altersabhängigkeit. Der Einfluss des Alters war trotzdem signifikant durch den 19-jährigen Fichtenbestand beeinflusst worden, da dieser die auffallend geringsten HD-Werte aufwies.

Insgesamt erscheint vor allem durch eine mäßige Freistellung eine Verschiebung zu höheren HD-Werten stattzufinden. Hier stellt sich die Frage, ob eine mäßige Freistellung zunächst die Stabilität der Bäume gefährdet, da diese eher in das Höhenwachstum investieren. Die Bäume der starken Freistellungsvarianten zeigten tendenziell die geringeren HD-Werte. Wobei dies aber nicht für die Bäume in der ältesten Fichtenaltersstufe galt, bei denen mit zunehmender Freistellungsvariante auch die HD-Werte zunahm (n.s.). Die Ergebnisse der Jahrringanalysen unterstützen die Feststellung, dass die Bäume in der starken Freistellungsvariante einen Ausgleich durch vermehrtes Dickenwachstum im Stammbereich erbringen, d.h. auf Stabilität setzen.

Interessant ist aber, dass sich die HD-Werte zwischen den Varianten „starker“ und „keiner Freistellung“ nicht signifikant über alle Fichtenaltersstufen unterscheiden. Entweder gab es eine „harmonische“ Verschiebung von zunehmendem Dicken- und Höhenzuwachs, d.h. dass das Durchmesser- und Höhenwachstum in so einem Verhältnis zunahm, dass sich der HD-Wert kaum änderte.

Nach MOSANDL et al. (1991) haben sich die HD-Werte nach der Freistellung verringert, vor allem der mäßig bis stark geförderten Ausleseebäume.

Es gab aber auch einige Fälle, in denen die Vogelbeeren nach der Freistellung an Stabilität verloren und geschädigt wurden bzw. umgebogen sind. Eventuell haben sie ihrem eigenen Gewicht nicht standhalten können. Ein Sturmereignis war nicht aufgetreten. Hier wird das plötzlich fehlende Gerüst des Bestandesgefüges ursächlich gewesen sein.

Für VANNINEN et al. 1996 ist der HD-Wert ein geeigneterer Konkurrenzindex, weil er einem kumulativen Konkurrenzindex gleichkäme.

### Volumen

Für die Volumenberechnungen wurde das Modell nach HILLEBRAND (1998) benutzt. HILLEBRAND (1998) hat dieses Modell innerhalb seiner Studien zum Wachstum der Vogelbeere in Mischbeständen (mit Fichte und Buche) sowie in Reinbeständen entwickelt. Dazu wurden

Schaftmodelle mit Hilfe von Splinefunktionen nach GAFFREY (1988 und 1996, zit. in HILLEBRAND 1998) erstellt. Die von HILLEBRAND (1998) aufgestellten Volumenfunktionen für Schaftderbholz und Schaftholz der Vogelbeere sind wertvolle ertragskundliche Angaben zur Baumart Vogelbeere. Sie wurden auch im Programm BWIN Pro-S für Sachsen (SCHRÖDER 2004, DÖBBELER et al. 2006, RÖHLE et al. 2004-2011) implementiert. Mit dem Programm können Wachstumsgänge für Rein- und Mischbestände analysiert und prognostiziert werden. Das Programm BWINPro-S für Sachsen ist eine „regionale Programmvariante“.

Eine weitere Volumenfunktion für Vogelbeere ist den Studien von SNORRASON und EINARSSON (2006) zu entnehmen. Die Autoren stellen auch Funktionen zur Schätzung von Stammbiomasse und der gesamten Biomasse je Baum auf. Allerdings haben diese Studien nur einen regionalen Bezug zu den Vogelbeerenvorkommen auf Island und sollten hier nicht weiter Gegenstand der Analysen sein.

Obwohl das Jugendwachstum der Vogelbeere unterschiedlich ist, wurde sie in der Vergangenheit häufig nach der Ertragstafel für Birke (SCHWAPPACH 1929 und LOCKOW (1998) für das ostdeutsche Tiefland, Zusatz. d. Verfass.) bonitiert (LEDER 1992).

Der Vergleich der Ergebnisse der Volumenberechnung nach dem Modell HILLEBRAND (1998) mit den Ergebnissen der einfachen Volumenformel ergab ab 8 cm BHD auffallende Differenzen. Ab dieser Dimension schätzt die einfache Volumenformel höhere Volumenwerte.

Er berechnete das Volumen der Vogelbeeren in seiner Studie mit Formzahl- und Derbholzvolumenfunktionen anderer Baumarten wie Winterlinde, Vogelkirsche und Buche. Diese führten zu Überschätzungen des Derbholzvolumens. Die von ihm untersuchte Durchmesserspanne der Vogelbeeren betrug dabei 5 bis 50 cm. Als Grund führt HILLEBRAND (1998) die im Vergleich zu den anderen Baumarten tief ansetzenden Kronen der Vogelbeeren, das Vorkommen von Steillästen und Stammtiefzweigen an. Die Vogelbeere hätte daher auch eher eine vergleichsweise abholzige Stammform. Aber HILLEBRAND (1998) musste in seinem Modell auch eine stark zunehmende Streuung der Schätzfehler verzeichnen, wenn er Durchmesser von kleiner als 10 cm einbezog (+- 14% mittlerer Fehler; 24-38% maximale Modellabweichung bei Einbeziehung Durchmesser 5-50cm). Daher rät er (eigentlich) von der Nutzung der Modelle für geringe Baumdimensionen ab.

Insgesamt wurden die Ergebnisse der Volumenberechnung nicht signifikant durch die Freistellungsvariante und Konkurrenzsituation beeinflusst. Lediglich ein Alterstrend ist erkennbar, der eine Abnahme des Volumenzuwachses mit zunehmendem Alter zeigt. Da die Parameter Höhe und Durchmesser starke Streuungen aufweisen, werden sich diese Streuungen auch in den Modellen der Volumenberechnungen niederschlagen.

Für die vorliegende Studie blieb die Volumenfunktion nach HILLEBRAND (1998) die einzige Wahl, da bisher keine anderen Funktionen und / oder Formzahlen für die Baumart Vogelbeere zur Verfügung standen. Von einer eigenen Modellentwicklung für die Vogelbeere der mittleren Lagen des Erzgebirges (des ostdeutschen Mittelgebirges) wurde aufgrund des Aufwandes abgesehen. Dies würde die Entnahme vieler geeigneter Probebäume für Stammanalysen voraussetzen und war nicht Ziel der Arbeit. Obwohl eine derartige Analyse als hochinteressant und in jedem Fall als erforschungsbedürftig einzuschätzen ist.

#### Holzdichte

Die Rohdichte ist ein Gütewert für Holz (WAGENFÜHR 2000), da die meisten mechanisch-technologischen Eigenschaften mit dieser korreliert sind, wie z.B. die Festigkeitseigenschaften.

Das Holz der Vogelbeere hat vergleichsweise hohe Holzdichtewerte (PRIEN 1964, SACHSSE et al. 1988 und LEDER 1992). Die Angaben in der Literatur reichen für die darrtrockene Rohdichte von  $0,57\text{g/cm}^3$  (Sachsse et al. 1988) bis  $0,737\text{ g/cm}^3$  (KORKUT et al. 2009). Unter den Weichlaubhölzern übertrifft sie mit diesen Werten die Pappel, Schwarzerle und Weide (Grenzwert Weichlaubholz:  $r_0 = 0,55\text{ g/cm}^3$ ; GÖHRE zit. in PRIEN 1964). Sie ist vergleichbar mit Bergahorn ( $0,59\text{ g/cm}^3$ ) und Birke ( $0,61\text{ g/cm}^3$ ) (PRIEN 1964), und müsste aus holztechnologischer Sicht dem Hartlaubholz eingeordnet werden.

Im Mittel besaßen die untersuchten Holzproben einen Roh- bzw. Darrdichtewert von  $0,64\text{ g/cm}^3$ , die ermittelte Spannweite von  $0,44$  bis  $0,82\text{ g/cm}^3$  ist durchaus als normal einzustufen. Wobei der Parameter „Baumspitze“ die höchsten Dichtewerte ausgeprägt hatte. Die streuenden Rohdichtewerte sind zunächst nicht beunruhigend und für den inhomogenen Rohstoff Holz natürlich (PRIEN 1964). SACHSSE et al. (1988) fanden an ca. 80-jährigen Vogelbeeren geringere Werte von  $0,57\text{ g/cm}^3$  im Mittel (Spannweite  $0,50$  bis  $0,64\text{ g/cm}^3$ ). Diese lägen et-

was unter den von anderen Autoren angegebenen Werten. PRIEN (1964) ermittelte Rohdichtewerte im Darrzustand von  $0,58 \text{ g/cm}^3$  (Variationsbreite / Spannweite  $0,41$  bis  $0,74 \text{ g/cm}^3$ ).

PRIEN (1964) konnte nachweisen, dass die Rohdichtewerte mit zunehmendem Baumdurchmesser signifikant abnehmen. Dies würde die Differenzen zwischen den Ergebnissen der Untersuchungen von SACHSSE et al. (1988, ca. 80jährige Bäume) und PRIEN (1964, BHD > 10 cm) zu den hier, an jungen und vergleichsweise jungen Bäumen, gefundenen Ergebnissen erklären. Scheinbar besitzt auch „jüngeres“ Holz eine höhere Rohdichte nach PRIEN (1964). Dies würde die vergleichsweise hohen Dichtewerte in der Baumspitze erklären.

Statistisch signifikante Unterschiede der Holzdichtewerten zwischen den Baumkompartimenten konnten in Abhängigkeit von der Freistellungsvariante und der Konkurrenzsituation nicht gefunden werden. Es stellt sich grundlegend die Frage, ob Unterschiede in den Holzdichtewerten zwischen Kompartimenten zu erwarten gewesen wären. Denkbare Gründe wären z.B. die Bildung von einem dichteren Holzaufbau im Stammfußbereich. Dies hat sich im Falle der Holzproben aus dem Stammfußbereich auch bestätigt. Diese haben (insgesamt, d.h. unabhängig von der Freistellungsvariante) mit  $0,64 \text{ g/cm}^3$  eine signifikant höhere Holzdicke als die Holzproben aus dem Stammmittembereich mit durchschnittlich  $0,60 \text{ g/cm}^3$ . Dies gilt sowohl für das Kernholz als auch für das Splintholz.

Tendenziell hat die Baumspitze mit  $0,69 \text{ g/cm}^3$  die höchste durchschnittliche Dichte. Dieser Wert wurde im Vorfeld nicht erwartet. Die Holzdichtewerte der einzelnen Proben aus der Baumspitze weisen aber auch eine hohe Streuung auf.

Das insgesamt die Splintholzproben mit  $0,65 \text{ g/cm}^3$  eine durchschnittlich höhere Dichte als die Kernholzproben mit  $0,62 \text{ g/cm}^3$  besitzen, ist verwunderlich. SACHSSE et al. (1988) fanden bei den 80-jährigen Vogelbeeren eine signifikant höhere Kerndichte gegenüber der Splintdicke. Eventuell ist dies bei jüngeren Bäumen und Bäumen geringeren Durchmessers nicht so ausgeprägt.

Interessant in diesem Zusammenhang ist auch, dass PRIEN (1964) eine abnehmende Rohdichte des Vogelbeerholzes bei zunehmender Höhenlage fand (untersucht zwischen 600 und 900m üNN).

Die Holzdichtewerte sollten in der vorliegenden Studie nicht als Schwerpunkt behandelt werden. Die Berechnungen dienen in der ersten Linie als Grundlage für die Biomasseberechnungen der einzelnen Baumkompartimente in der Allokationsdarstellung.

Zu guter Letzt kann noch festgehalten werden, dass Vogelbeere einen gewissen holztechnologischen Wert besitzt und mit anderen Wirtschaftsbaumarten gleichgestellt werden kann. Bezüglich der Längszugfestigkeit, Biegefestigkeit und Schlagzähigkeit kann die Vogelbeere sogar höher als die Stieleiche eingestuft werden. Eine Verwendung für Zwecke der Tischlerei und Möbelindustrie sei ohne Einschränkung möglich (SACHSSE et al. 1988).

#### Kronenwachstum und Blattmassen

Die Kronenschirmfläche bzw. -grundfläche ist eine wichtige Kenngröße zur Charakterisierung von Konkurrenzbeziehungen in Waldbeständen (RÖHLE und HUBER 1985). Die Kronenschirmflächenentwicklung kann ein Weiser für Zuwachsreaktionen nach Freistellungen sein, da in der Regel nach einer Freistellung zuerst die Blattmasse ausgebildet wird und der Zuwachs sich dann später erst in zunehmendem Dickenwachstum niederschlägt (DRINKWATER 1960, UTSCHIG und PRETZSCH 2001, SIMARD et al. 2004, UHL 2009). Der Kronenraum ist ein wichtiger Wuchsparameter, da er eng mit der photosynthetischen Kapazität verbunden ist (HEMERY et al. 2005).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen für die Vogelbeere eine insgesamt gute Kronenplastizität vermuten. RÖHRIG et al. (2006) definieren Kronenplastizität als eine Fähigkeit der Krone schnell auf zunehmende Licht- und Wuchsraumverhältnisse reagieren zu können. Die Zuwachsreaktionen der Vogelbeeren im Kronenbereich waren schon 2 Vegetationsperioden nach der Freistellung sichtbar, wobei sowohl hohe positive und als auch negative Kronenschirmflächenzuwächse zu verzeichnen gewesen sind. In der Abbildung 75b im Kapitel 3.1.5.2.1 ist ein Baum aus der Fichtenaltersstufe 26 dargestellt, der zuvor unter hoher Konkurrenz gestanden hat und nach starker Freistellung bis 141% an Kronenschirmfläche gewinnen konnte. Die Darstellung zeigt auch im Vergleich, dass die Kronenschirmfläche von nicht geförderten Bäumen abnehmen kann (im Beispiel bis zu -25%). Die abgeleiteten Prozentwerte sind mit dem Teilkreismodell berechnet. In der Abbildung 75a-c sind der Einfachheit halber die Endpunkte der Kronenradien mit geraden Linien verbunden. Das Teilkreismodell errechnet die Fläche auf anderem Wege. Die beiden benachbarten Radien werden gemittelt und die



Teilkreisfläche entsteht dann aus dem mittlerem Radius plus der Fläche unter dem Kreisbogen.

Der Datenpool der Kronenschirmflächen aller gemessenen Probebäume wies insgesamt recht hohe Streuungen auf. Signifikante Reaktionen auf die Freistellungsvarianten waren nicht nachzuweisen. Dennoch zeigten gerade die ältesten Bäume in der Versuchsreihe tendenziell die höchsten absoluten Zuwächse dieses Parameters. Dies könnte trotz allem ein Weiser dafür sein, dass eine Förderung von älteren Vogelbeeren noch lohnenswert ist, d.h. Pflegeversäumnisse bis zu einem gewissen Grad noch nachgeholt werden können.

Die Kronenmorphologie der verhältnismäßig jungen Bäume stellt für die Ablotung der Kronenschirmfläche ein methodisches Problem dar. Die Vogelbeere besitzt allgemein eine geringe Verzweigung mit einer offenen Krone. Die Verzweigung ist sympodial mit Lang- und Kurztrieben (BARTELS 1993; ROLOFF et al. 2010). Die Kronen der Probebäume wirken noch nicht „rund“, die äußeren Grenzen der Kronenschirmfläche werden aus den Spitzen einzelner Primäräste bestimmt. Gerade bei der Kronenablotung der jungen und gering dimensionierten Bäume werden u.U. nur einzelne Äste oder nur eine stammnahe Lücke erfasst, so dass es hohen Schwankungen in den erfassten Kronenradien und letztendlich zu einer Verzerrung in der Darstellung und Berechnung der Kronenschirmfläche kommen kann. An dieser Stelle wäre zu überlegen gewesen, ob eine Messung von mehr als 8 Radien für die jüngeren Bäume besser gewesen wäre, um die Kronenfläche genügend erfassen zu können. DIPPEL (1988) benutzt z.B. flexible Winkel bei der Ablotung, um die Plastizität der Kronen genau abbilden zu können.

Bei den untersuchten Vogelbeeren war allgemein der Eindruck zu gewinnen, dass sie sich in die „freigewordenen Löcher“ des Bestandes bzw. Kronendaches des Bestandes ausdehnen. GUERICKE (1999) berichtet aus seinen Studien, dass die Kronen von Buchen, aufgrund des Phototropismus bzw. des Wachstums zum Lichts, schwerpunktmäßig in süd- bis nordwestlicher Himmelsrichtung ausgebildet sind. HILLEBRAND (1998) und MÜLLER (1998) erwähnen aber, dass die Vogelbeere zu exzentrischen Kronenformen neigt. Dies führe sogar oftmals zu einer Abweichung vom Stammmittelpunkt, d.h. die Kronenschirmfläche befindet sich dann neben dem Stamm (MÜLLER 1998). Dies konnte auch bei einigen Bäumen auf den Versuchsfeldern festgestellt werden, wurde aber nicht näher analysiert. Nach MITSCHERLICH (1970, zit.

in GUERICKE 1999) ist die exzentrische Kronenformen typisch für unterdrückte Bäume. GUERICKE (2001) hat in seiner Studie die Exzentrizität von Baumkronen berechnet.

Die Berechnung und Darstellung von mittleren Kronenradien erwies sich im Gegensatz zu den Kronenschirmflächen als empfehlenswertere Auswertungsvariante für die Darstellung der Kronenreaktion. Durch die Mittelwertbildung werden die Daten „geglättet“ und weisen daher weniger Streuungen auf. Für GUERICKE (1999) ist diese Methode rationell. Er ermittelt den Kronenradius seiner untersuchten Bäume ebenfalls durch Mittelung von 8 Kronenradien und leitet die Kronenbreiten entsprechend daraus ab.

In der vorliegenden Studie konnten für den relativen Zuwachs der mittleren Kronenradien deutliche und statistisch signifikante Reaktionen auf die Freistellungsvarianten nachgewiesen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass scheinbar zunächst nur die mäßig freigestellten Bäume von der Förderung profitieren. Sie zeigen tendenziell die höchsten Werte des mittleren Kronenradius nach 2 Vegetationsperioden. Nach 3 Vegetationsperioden verschiebt sich der Zuwachs deutlich zu den stark freigestellten Bäumen, welche sich dann auch bezüglich ihres mittleren Kronenradius signifikant von den nicht freigestellten Bäumen unterscheiden. Derartige Reaktionen zeigten auch die von DRINKWATER (1960) untersuchten Bäume des Zuckerahorns. Die stärkste Freistellung (*heavy thinning*) erzeugte auch die stärkste Zunahme der Kronenausdehnung. Bei WOOD et al. (2006) sind die Wuchsreaktionen ähnlich. Die Kronenbreiten der freigestellten Gelbbirken passten sich dem durch die Freistellung neu gewonnenen Wuchsraum an.

JUODVALKIS et al. (2005) konnten weiterhin nachweisen, dass Bäume noch im darauffolgenden Jahr nach der Förderung mit Kronenerweiterungen reagieren können. Die maximale Kronenerweiterung war bei ihren Studien nach 2 bis 3 Jahren erreicht. Die stärkste Kronenreaktion zeigten in ihren Studien Birke und Aspe.

UTSCHIG (2002) stellt in diesem Zusammenhang interessante Thesen zur Standraumökonomie von Bäumen auf. Er konnte aufgrund seiner Untersuchungen nachweisen, dass die Ausbildung von „zu großen Kronen“ zu einer nicht effizienten Standraumausnutzung des Einzelbaumes führt. Er diskutiert sogar mögliche Folgen wie Wasserstress und Nährstoffmangel (GOWER et al. 1996, OLSSON et al. 1998, beide zit. in UTSCHIG 2002).

Es ist zu vermuten, dass die Vogelbeerprobestämme als überwiegend unterständige Bäume in den Fichtenbeständen nicht ihre maximale Kronenausdehnung erreichen können. Derartige Stresssituationen aufgrund einer zu großen Kronenausdehnung sind daher nicht zu erwarten.

Als weitere Einflussfaktoren für das Kronenwachstum wird z.B. auch der Standort genannt. NUTTO (1999) stellt z.B. fest: *„Bei gleich großen Kronen wird auf einem schlechten **Standort** das selbe Dickenwachstum geleistet als auf einem besseren [...]. Die maximal erreichbare Kronengröße in einem bestimmten Zeitraum ist jedoch auf schlechteren Standorten geringer, es gibt folglich eine standortsabhängige Obergrenze für die maximal mögliche Kronenexpansion und eine Einschränkung des Dickenwachspotentials.“*

Den Untersuchungen von HEMERY et al. (2005) kann man entnehmen, dass das Verhältnis von Kronenbreite zu BHD ein guter Weiser für verschiedene Anwendungen sein kann. Möglich ist u.a. sogar der Einsatz als Weiser für die optimale Anlage von Mischbeständen und die Bestimmung von Eingriffszeitpunkten für deren Behandlung und Pflege. Dies basiere auf der Annahme des freien oder ungestörten Wachstums („free growth“). HEMERY et al. (2005) zitieren in diesem Zusammenhang JOBLING und PEARCE (1977), welche „free growth“ folgendermaßen definieren: *„a system which stimulates vigorous crown development of selected trees, in order to achieve maximum radial stem increment“*.

Die Autoren untersuchten auch die Kronenbreiten-BHD-Verhältnisse von Vogelbeeren auf den britischen Inseln. Im Vergleich zu anderen Baumarten nimmt die Vogelbeere eine mittlere Stellung bezüglich ihres Kronenbreiten-BHD-Verhältnisses zu anderen untersuchten Baumarten ein. Die Autoren zogen die Ergebnisse der Vogelbeere dann auch nicht in weitere vergleichende Berechnungen ein. Die mögliche zu analysierende BHD-Spanne betrug bei der Vogelbeere 10 bis 40 cm, im Gegensatz zu 10 bis 80 cm für die anderen Baumarten.

Die vorliegenden Untersuchungen zur Kronenreaktion hätten sehr davon profitieren können, wenn ein Ausgangszustand für den Parameter Kronenschirmflächen der Probestämme vor der Freistellung festgestellt worden wäre. Dies war im Zuge des Versuchsaufbaus nicht möglich. Bei der Auswahl und anschließenden Freistellung im beginnenden Frühjahr des Jahres 2001 befanden sich die Probestämme noch im unbelaubten Zustand. Die Erstaufnahme der Kronen geschah dann am Ende der ersten Vegetationsperiode nach der Freistellung, also im Spätsommer 2001 im belaubten Zustand der Probestämme.

Weiterhin wäre eine Darstellung und Auswertung von Standraumbildern, welche auch die relevanten Fichtenkonkurrenten mit ihrer Kronenschirmfläche enthalten hätten, wertvoll für weiterführende Aussagen gewesen. Man hätte z.B. absolute Maße für die „Freistellungsradien“ um die Vogelbeeren ermitteln können, um daraus Ableitungen für die Praxis zu geben (Freistellung der Vogelbeere in einem Radius von ca. x Metern für die entsprechende Freistellungsvariante in entsprechender Fichtenaltersstufe). Weiterhin hätten derartige Darstellungen die Eigenschaft der Kronenplastizität für die Vogelbeere untermauern können.

### Kronenlänge

An dieser Stelle sei auch noch einmal auf die Bedeutung der Kronenlänge als Stabilitätsweiser gegen Schnee- und Sturmbruch hingewiesen. Nadelbäume mit einem Kronenprozent von > 50% der Baumlänge gelten als stabil (RÖHRIG et al. 2005). Bei MÜLLER (1998) wird dieser Wert für die Vogelbeere, zusammen mit kleinen Astabgangswinkeln, ebenfalls genannt. Ein Kronenprozent von 50% sei auch Voraussetzung für eine gute Wurzel Ausbildung.

Die Daten der Kronenlängen zeigten hingegen nach 3 Vegetationsperioden, dass hier nicht die Freistellungsvariante, sondern die Konkurrenzsituation einen signifikanten Einfluss auf die Veränderung dieses Parameters besessen hat. Je höher die Konkurrenzsituation bei den Bäumen angesprochen worden ist, desto geringer war im Vergleich ihre Kronenlänge. Die natürliche Astreinigung ist hier die steuernde Komponente. Sie wird am stärksten durch die vorherrschenden Konkurrenzverhältnisse beeinflusst (DRINKWATER 1960, SIMARD et al. 2004).

Im Versuch zeigten aber auch die ältesten Bäume aus dem 32-jährigen Fichtenbestand die höchsten Werte für die Kronenlänge. Scheinbar ist das Höhenwachstum schneller als die Kronenbasis sich durch die natürliche Astreinigung hochziehen kann. Das Hinaufschieben der Kronenuntergrenze kann aber auch durch die Entnahme bedrängender Nachbarn verlangsamt oder unterbunden werden (RÖHRIG et al. 2005). Für die vorliegende Studie sind die vor der Versuchsanlage gelaufenen Durchforstungen nicht dokumentiert. Auf der Fläche selbst konnten aber alte Stubben von vorangegangenen Pflegen in der Fichte erkannt werden. Ob die Vogelbeeren dabei bewusst durch Entnahme von Fichtennachbarn gefördert wurden, kann nicht beantwortet werden.

PETERS et al. (1995) versuchten die Kronenlänge von *Fagus crenata* (Kerbbuche), *Acer mono* (Shantung-Ahorn) und *Carpinus cordata* (Herzblättrige Hainbuche) als abhängigen Faktor in

Bezug auf die (untersuchten) Lichtverhältnisse zu analysieren. Die Autoren stellten aber fest, dass die Kronenlänge eher von der Wachstumsrate des Terminaltriebes und der Langlebigkeit der Äste abhängig sei. Das Wachstum des Terminaltriebes wiederum sei direkt von den Lichtverhältnissen und die Langlebigkeit der Äste von den Lichtbedingungen im Jugendstadium der Bäume abhängig. Wenn eine Kronenausformung außerhalb der Beobachtungsperiode geschehen ist, sollte dies beachtet werden. Die Beschattung der Äste sei dann vorher geschehen und die Seneszenz der Äste hätte entsprechend zeitlich früher angesetzt. Die vorangegangenen Beleuchtungsverhältnisse würden sich noch nachwirkend auf den Seneszenzvorgang auswirken.

#### Zuwächse bei den Primärastlängen

Die charakteristischen Verzweigungsmuster von Bäumen führen nicht nur zu verschiedenen Wachstumsformen (Baum oder Strauch), sondern sie verfolgen dabei auch eine spezielle Verhältnisse bezüglich „Kosten und Nutzen“ („*cost-benefit-relationship*“, KÜPPERS 1989). Dies geschieht besonders in Konkurrenzsituationen um Raum und Licht. So haben z.B. Bäume mit großen Kronen auch verhältnismäßig viel Blattmasse, aber sie müssen dazu auch gleichzeitig mehr Äste als im Vergleich zu Bäumen mit schmalen Kronen ausbilden.

Die Vogelbeere besitzt eine offene Krone mit einer geringen sympodialen Verzweigung aus Lang- und Kurztrieben (BARTELS 1993, ROLOFF et al. 2010). Wenn eine Endknospe ausfällt, dann übernimmt die Seitenknospe die Führung. Sie wächst dabei zunächst als Kurztrieb und nach einigen Jahren dann als Langtrieb weiter. Der Vogelbeere wird das Kronenarchitekturmodell RAUH zugesprochen. Dieses Modell kommt häufig unter den Baumarten vor. Das Sprosssystem ist hier wenig spezialisiert und sehr anpassungsfähig (BARTELS 1993). Bäume mit sympodialer Verzweigung bilden zunächst eher Langtriebe aus, die ins Licht wachsen und dabei die Strategie der Raumgewinnung verfolgen. Darauf folgen dann Kurztriebe, um entsprechende Knospenmengen bzw. Blattmassen auszubilden (KÜPPERS 1989, KULL und TULVA 2002).

KÜPPERS (1989) listet folgende Charakteristika für Pionierbaumarten auf, welche folglich auch auf die Vogelbeere zutreffen. Pioniere verfolgen zunächst ein exploratives Wachstum. Sie investieren zunächst eher in die mechanische Stabilität und in ihr Höhenwachstum. Dies gilt der raschen Wiederbesiedlung von offenen (baumfreien) Störungsflächen, aber es ist auch eine Strategie sich trotz Beschädigung durch wiederkehrenden Wildverbiss zu etablieren. Mit ihrer oben angesprochenen Verzweigungsstruktur kann sich die Vogelbeere im Verlauf des

frühen Sukzessionsprozesses gut behaupten, da sie zunächst keine konkurrierenden Baumarten auf dem Boden abschatten muss.

Das Längenwachstum der Seitenzweige zu den obersten Seitenzweigen wird Akrotonie genannt (ROLOFF 2001). Bäume folgen in der Regel diesem Grundgesetz der Verzweigung. Es führt zu ihrem baumartigen Wuchs und dient der schnellen Eroberung des Luftraums, um Konkurrenzverhältnissen standzuhalten. Als andere Möglichkeit bzw. Strategie der Längenförderung von Seitenzweigen wird bei ROLOFF (2001) das gebundene und ungebundene (freie) Wachstum beschrieben. Bäume, deren Wachstum von den Vorjahresanlagen abhängig, also gebunden ist, werden als *Quercus-Typ* bezeichnet (LYR et al. 1992, ROLOFF 2001). Die Blätter von Bäumen dieses Typs können sich im Frühjahr gleich aus den Knospenanlagen des Vorjahres entwickeln. Dieser Wachstumsvorgang sei endogen bestimmt. Er setze temperaturbedingt im Frühjahr ein und stellt sich schon in der Regel Ende Mai wieder ein. Teilweise können Bäume des *Quercus-Typs* auch durch Prolepsis (Bildung von Johannistrieben) einen zweiten Wachstumsschub haben.

Bäume des *Populus-Typs* dagegen betreiben ein kontinuierliches (freies) Wachstum über die ganze Vegetationsperiode bis zum Herbst. Die Schwellenwerte für das Wachstum seien Temperatur oder die Tageslänge (überwiegend thermo- oder photoperiodisch gesteuert, LYR et al. 1992, ROLOFF 2001). Bäume des *Populus-Typs* bilden Früh- und Spätblätter aus. Die Frühblätter treten gleich im Frühjahr aus den Blattanlagen des Vorjahres aus. Die Spätblätter werden kurze Zeit später in der Vegetationsperiode entfaltet.

Je nach Baumtyp kann der Baum auf positive und negative Einflüsse im gleichen Jahr (*Populus-Typ*) oder erst im folgenden Jahr (*Quercus-Typ*) reagieren.

UNGER (1997) hat anhand von Triebängenuntersuchungen festlegen können, dass die Vogelbeere einem freien, kontinuierlichen Wachstum unterliegt. UNGER (1997) zitiert auch ANIC (1958), welcher aus seinen Untersuchungen das kontinuierliche Wachstum für Vogelbeere ebenfalls bestätigen kann. STEINIGEN (1996, zit. in UNGER 1997) beobachtete auch Johannistriebbildung bei Vogelbeere. Nach ROLOFF (2001) unterliegen viele Pionierbaumarten dem freien Wachstum, wie z.B. Weiden, Birken und Erlen.

An stichprobenartig gewonnenen Primärästen aus Licht- und Schattenkrone von Probebäumen aus der Fichtenaltersstufe 16 und 26 wurde durch Triebängenrückmessung der jährliche Zuwachs bis zum Jahr 2000 vor der Freistellung bestimmt. Die Grenzen der Jahrestriebe lassen

sich an Primärästen gut erkennen, die Erkennung an Seitentrieben (Kurztrieben) ist oftmals schwieriger (ROLOFF et al. 2010).

Aus den Daten ließen sich insgesamt keine brauchbaren Schlussfolgerungen ziehen. Die Primärastlängen des Jahres 2000 (vor der Freistellung) zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kronenstraten. Die Streuungen der Werte waren immens, vor allem bei den Probebäumen in der Fichtenaltersstufe 16. Hier reicht z.B. die Spannweite der Triebgrößendaten aus dem Lichtkronenbereich von ca. 3 cm bis 50 cm. Bei der Auswahl der Probeäste musste festgestellt werden, dass manche Äste, welche aufgrund ihrer Lage der Astbasis definitions- bzw. methodengemäß der Schattenkrone zugeordnet werden mussten, mit ihrer Spitze noch in Lichtkrone hereinragten. Sie wiesen deshalb auch oft einen auffallend starken Primärastansatz auf und der Zuwachs der Triebgröße dieser Äste fiel entsprechend hoch aus.

Erst nach 3 Vegetationsperioden zeichneten sich signifikante Zuwachsreaktionen ab, wenn die Werte der Triebgrößungen der Jahre 2001 bis 2003 aufsummiert und analysiert wurde. Hier liefert auch nur die Betrachtung dieser kumulierten Zuwachswerte der Triebgrößungen zwischen Licht- und Schattenkrone ein brauchbares Ergebnis. Im Mittel hatten die Äste der Schattenkrone 46 cm und die Äste der Lichtkrone 71 cm geschoben (Abb. 82). Der Einfluss der Konkurrenzsituation war zwar signifikant, aber nur mit einem vergleichsweise schwachem Modell ( $R^2 = 0,153$ ) nachzuweisen. Die Freistellungsvariante beeinflusste die Astlängen nicht. Andere Arbeiten konnten hier Zusammenhänge herstellen, wie z.B. BALDWIN et al. (2000) bei 38-jährigen *Loblolly pine* (Weihrauch-Kiefer). Diese wurden ab einem Alter von 18 Jahren alle 5 Jahre freigestellt. Starke Durchforstungen erhöhten hier die Astlängen signifikant.

Sicherlich verursacht auch die natürliche Astreinigung eine Streuung der Daten gerade im Lichtkronenbereich. Hier wird durch die Konkurrenzverhältnisse das Astlängenwachstum eingedämmt, bis es letztendlich zu Absterbeerscheinungen kommt (PRIEN 1965, MÜLLER 1998). Lichtbaumarten haben generell eine hohe Astmortalität („*branch-mortality*“) (KIKUZAWA und UMEKI 1996).

### Allometrien

Die Untersuchung der Beziehung zwischen Primärastdurchmesser und Primärastmasse bzw. Primärastblattmasse sollte einen grundlegenden Baustein für die Schätzung der Gesamtast- und Gesamtblattmasse der Probebäume im Versuchsaufbau bilden. Beide Beziehungen konnten über nichtlineare Funktionen beschrieben werden. Im Falle des Zusammenhangs zwischen Primärastdurchmesser und Primärastmasse gab es unterschiedliche Ausgleichsfunktionen je

Fichtenaltersstufe. Dies galt auch für die Beziehung zwischen Primäradstdurchmesser und Primäradstblattmasse, hier existierte aber auch ein deutlicher Unterschied zwischen den ausgewiesenen Kronenstraten. Im Bereich der Schattenkrone war der Zusammenhang der Daten etwas schwächer als in der Lichtkrone. Dies zeigte sich in beiden untersuchten Fichtenaltersstufen. Die Funktionsgleichungen waren in allen Fällen exponentiell. Auch die von BALDWIN et al. (1997) aufgestellten Funktionen weisen einen exponentiellen Ausgleich für die Schätzung von Astdurchmesser zu Astblattmasse auf. Generell wird aber eine Potenz-Funktion für allometrische Verhältnisse angenommen (NIKLAS 1994).

Die Schätzung zwischen Splintfläche des Astes und seiner Blattmasse stellt lediglich eine Ergänzung des Versuchsaufbaus dar. Aufgrund der eintretenden Seneszenz ab der Fichtenaltersstufe 19 wurde für diese Bäume vermutet, dass die Funktionsgleichungen evtl. in der Schattenkrone eine engere Beziehung der Datenwerte zeigen, als in der Beziehung zum Astdurchmesser. Tatsächlich zeigten sich wesentlich engere und hochsignifikante Beziehungen für die Schattenkronenbereiche. Insgesamt weichen für die Beziehung Astsplintfläche und Astblattmasse die Bestimmtheitsmaße zwischen Licht- und Schattenkrone kaum voneinander ab.

Die grundlegende Idee die Splintflächen bzw. leitende Querschnittsflächen von Bäumen in Beziehung zu Blattbiomassen zu setzen, geht auf SHINOZAKI et al. (1964a und b) zurück. SHINOZAKI et al. (1964a und b) entwickelten die sogenannte „Pipe-Model-Theorie“ („Leitungsmodell“ in WAGNER und FISCHER (2008) genannt). Demnach wird angenommen, dass Pflanzen aus Einheiten von Leitungssystemen (*pipe system units*) bestehen. Die *pipe system units* bestehen aus Blattmassen und zugehörigen Leitungen von entsprechender Dicke, welche in einer spezifischen Relation zu einander dimensioniert sind, um Gefäßstruktur und Pflanzengewebe ausreichend versorgen können. Man geht davon aus, dass ein Gleichgewicht der Wuchsprozesse zwischen Stamm, Ästen und Blättern besteht, welches über die Xylemleitfläche gesteuert wird. Die Theorie wird unterstützt durch den Fakt, dass die gesamte horizontale Querschnittsfläche von Stamm und Ästen bei einer gegebenen Höhe immer proportional zur Blattbiomasse über dieser Höhe ist. Dies gilt dann auch für die alleinige Betrachtung der Beziehung von Astquerschnittsflächen zu Astblattmassen (SHINOZAKI et al. 1964a und 1964b).

Einige Untersuchungen stellen noch detailliertere Fakten bezüglich der Pipe-Model-Theorie auf, allerdings beschäftigten sie sich dabei mit der Schätzung der Gesamtblattmasse. LOTT et



al. (2000) gehen in ihren Untersuchungen ein Stück weiter. Sie entdeckten, dass die Beziehung zwischen Splintfläche und Blattmasse besonders eng am Stammdurchmesser vor dem ersten Grünast bzw. am Astdurchmesser vor dem ersten Blattaustrieb ist. Auch sei die Beziehung straffer, wenn man die Durchmesser vor dem Einsetzen des ersten Blattaustrieb bestimme. Auch ECKMÜLLER und STERBA (2000) fanden für Fichte heraus, dass eine Reduzierung auf die „*early sapwood area*“, also auf die leitende Fläche des Frühholzes, einen besseren Schätzer zur Nadelmasse schafft, als die gesamte leitende („*total sapwood*“) Fläche. Diese Beziehung sei auch unabhängig vom Standort, Alter, der Kronenklasse (hier abgeleitet aus soziologischer Stellung) und Kronenbeschaffenheit. LOTT et al. (2000) geben bezüglich der Pipe-Model-Theorie zu bedenken, dass Leitungsbahnen in Bäumen nicht nur dem Wassertransport, sondern auch funktionellen Aufgaben im Baum dienen, wie z.B. der Aufrechterhaltung der mechanischen Stabilität und der Kohlen- und Nährstoffspeicherung. Zudem sei die Leitfähigkeit des Xylems zwischen Baumarten unterschiedlich.

Auf die Arbeit von SUZUKI und HIURA (2000) soll an dieser Stelle noch einmal genauer eingegangen werden. Sie verglichen allometrische Beziehungen zwischen Primärästen (*first-order branches*) und Jahrestrieben (*current-year shoots*) von acht Laubbaumarten. Dabei stellten sie fest, dass die „*first-order branches*“ kompatibel mit der Pipe-Model-Theorie sind. Für die Beziehung zwischen Astdurchmesser und Blattmasse stellten sie fest, dass diese einer allometrischen Konstante von 2,0 unterliegt. Die Konstante sei aber für die Beziehung der Jahrestriebe (*current-year shoots*) größer. Somit wäre das Pipe-Model zwar auf dem Level ganzer Bäume gültig, aber nicht für die Jahrestriebe. Für SUZUKI und HIURA (2000) ist dieser Befund darin begründet, dass die Jahrestriebe zunächst keine baumarchitektonische Funktion haben, sondern nur eine Funktion als „*disposable units*“ für die temporäre Blattanordnung besitzen. Aufgrund dieser Aussage muss man für die Daten der vorliegenden Studie überlegt werden, ob die Gesamtblattmassen je Baum unterschätzt werden, wenn nur aus den Durchmessern der Primärastdurchmesser geschätzt wird. Dies ist dann sicherlich auch von der Anzahl der Jahrestriebe des gesamten Baumes abhängig.

Blattmassen werden in physiologischen Untersuchungen oftmals als Einheit betrachtet, bei der man nicht beachtet, dass auch diese einer gewissen räumlichen Heterogenität unterliegen können. Je nach Astarchitektur (Astabgangswinkel) können sich die Blattmassen in höheren Schichten befinden als ihre zugehörigen Äste am Stamm ansetzen. Die Höhenposition des Astes am Stamm ist also nicht immer gültig für Aussagen zur Position der zugehörigen Blattmasse. Kronenexpansionen können z.B. dazu führen, dass sich je nach Kronenarchitektur

und Physiologie des Baumes die Blattmassen an der Kronenperipherie konzentrieren (BARTELINK 1997). BALDWIN et al. (1997) haben daher die Position des Astes in der Krone beachtet und diesen Parameter in ihre Modellschätzungen für Nadelbiomassen bei Loblolly pine (Weihrauch-Kiefer) eingebunden.

Bei den hier untersuchten Vogelbeeren wurde bezüglich der Position des Astes nur nach Schatten- und Lichtkronenstratum unterschieden. Zwischen diesen Straten konnten keine Unterschiede bei den mittleren Astdurchmessern festgestellt werden. Die Spanne der untersuchten Astdurchmesser ist zwischen den untersuchten Fichtenaltersstufen (Fichtenaltersstufe 16, 19 und 26) nicht wesentlich unterschiedlich (zw. 4 und 24 mm). Lediglich in der Fichtenaltersstufe 26 befand sich ein recht dicker Ast von ca. 35 mm Durchmesser in der Stichprobe.

Dies könnte auf das verhältnismäßig geringe Alter der untersuchten Bäume zurückzuführen sein. Es ist anzunehmen, dass sich das Dickenwachstum der Äste bei den jungen Bäumen noch nicht entsprechend ihrer Position in der Krone ausgebildet und differenziert hat. Es gab z.B. auch auffallend starke Äste, welche aufgrund der Position ihres Astansatzes in den Schattenkronenbereich eingeteilt gewesen sind, diese aber mit den Astspitzen noch in den Lichtkronenbereich hereinragten. Die Astdurchmesser dieser Primäräste waren dementsprechend stärker dimensioniert im Verhältnis zu den übrigen Ästen im Schattenkronenbereich. Dies führte zu den Streuungen bei den Datenwerten.

Bei Koniferen nimmt der Astdurchmesser in der Regel nach oben zur Baumspitze hin ab (BALDWIN et al. 1997, MÄKINEN 1999). Ein Muster für die Vogelbeeren war hier noch nicht deutlich zu erkennen. Es wird angenommen, dass dieses sich dem Muster anderer Totastverlierer unter den Laubbäumen anpasst.

Auch GAFFREY und SABOROWSKI (1999a) schlagen eine variable Einteilung von Ästen in Kronensektionen vor, um Nadel- bzw. Blattmassen von Bäumen zu schätzen. Dabei sollen diejenigen Äste in ein Stratum eingeordnet werden, die ähnliche Blattmassen tragen. Dies wäre z.B. die Einteilung in Licht- und Schattenkrone realisierbar. Die getrennte Betrachtung der Blattmasse in Licht- und Schattenkrone erscheint auch weiterhin sinnvoll, weil die Blattmassen in der Schattenkrone für die Assimilation des Baumes eine nicht mehr so entscheidende Rolle spielen. Im Lichtkronenbereich ist das daher auch das Reaktionsvermögen der Primäräste höher, als im Schattenkronenbereich (SPRUGEL et al. 1991, JONES und HARPER 1987, KULL und TULVA 2000).

Bezüglich der Astmassen konnte festgestellt werden, dass in der Fichtenaltersstufe 26 die starke Freistellung den Astmassenzuwachs tendenziell positiv beeinflusst hat. Auch andere Studien konnten einen positiven Einfluss von Freistellungen auf die Produktion der Astbiomasse feststellen (BALDWIN et al. 2000, DRINKWATER 1960, BALDWIN et al. 2000, UTSCHIG und PRETZSCH 2001, SIMARD et al. 2004, UHL 2009).

### Gesamtblattmasse

Für die vorliegende Arbeit sollten möglichst präzise Schätzungen von den einzelnen Biomassekomponenten erreicht werden, damit letztendlich ein Allokationsmuster für die behandelten bzw. freigestellten Bäume aufgestellt werden kann.

In vielen Arbeiten werden Biomassen von Wäldern auf großskaligem bzw. regionalem Niveau geschätzt, um vor allem die Kohlenstoffproduktion und auch z.B. Photosyntheseraten bestimmen zu können (ZIANIS et al. 2005, LEHTONEN et al. 2004, WUTZLER et al. 2008). Schätzungen von Biomassen auf Einzelbaumebene sollen „hinreichend genau sein“, daher werden sie in der Regel präzisiert, indem weitere Parameter des einzelnen Baumes wie z.B. seine Kronendimension (Kronenlänge und/oder Kronenbreite), BHD, Höhe oder auch leitende Querschnittsflächen einbezogen werden (GAFFREY und SABOROWSKI 1999a, SNORRASON und EINARSSON 2006, GILL et al. 2000, BARTELINK 1997, BOND-LAMBERTY et al. 2002, ECKMÜLLER und STERBA 2000).

Die Blattmassen der einzelnen untersuchten Vogelbeeren wurden mit zwei Verfahren geschätzt, ohne einen Baumparameter in die Modelle einzubeziehen. Zum einen kam das **R**andomized **B**ranched **S**ampling (RBS-Methode) zum Einsatz, zum anderen wurden die Gesamtblattmassen der Probebäume aus der Summe der Blattmassen ihrer Primäräste, für jeden Ast aus der allometrischen Beziehung „Primärastdurchmesser-Primärastblattmasse“ ermittelt. Die letztgenannte Methode ist nicht neu. BALDWIN et al. (1997) haben auch für die Ermittlung von Gesamtblattmassen die Blattmasse der Einzeläste aus dem Durchmesser mit Rinde geschätzt und aufsummiert.

Der Vergleich der Ergebnisse der beiden Schätzverfahren sollte helfen, die Ergebnisse der Methoden entsprechend zu validieren. Bei den Schätzungen für die Probebäume, für die keine Vollaufnahmen vorlagen, weichen die Ergebnisse beider Verfahren vor allem mit zunehmendem Durchmesser mit einem BHD von 8 cm ab. Es wird hier angenommen, dass das Einset-

zen der natürlichen Astreinigung bei den stärkeren bzw. älteren Bäumen die Ergebnisse beeinflusst. Zwar sollte dies durch die Trennung der Schätzfunktionen je nach Kronenstratum aufgefangen werden, aber es ist evtl. fraglich, inwieweit hier die wirklichen Allometrieverhältnisse in der Schattenkrone in Abhängigkeit der Faktoren abgebildet werden konnten. Sicherlich spielen hier auch weitere Faktoren, wie das reale Baumalter oder die physiologische Seneszenz (RYN 1997) eine Rolle. Es lässt sich an dieser Stelle schwer beantworten, inwieweit und wie unterschiedlich die Schätzverfahren dadurch beeinflusst wurden.

Die Ergebnisse der geschätzten Gesamtblattmassen beider Schätzverfahren für alle Probebäume des Versuchsdesigns konnten für jeden Baum in Beziehung zum BHD dargestellt werden. Insgesamt zeigen die Daten signifikante Potenzfunktionen zum BHD. Auffallend ist, dass in der Fichtenaltersstufe 19 mit gleichem BHD weniger Gesamtblattmasse geschätzt wurde. Die Bäume dieser Fichtenaltersklasse zeigten insgesamt auch einen geringen relativen Zuwachs beim Dickenwachstum.

Als wichtige Aussage dieser Analyse kann festgehalten werden, dass für die Baumart Vogelbeere die Gesamtblattmasse je Baum mit Hilfe des Parameters BHD geschätzt werden kann.

Die Ergebnisse beider Schätzmethoden sind dann deskriptiv mit den Faktoren des Versuchsdesigns dargestellt worden. Tendenziell war hier eine Zunahme der Gesamtblattmasse mit zunehmender Freistellungsvariante bei beiden Schätzverfahren sichtbar, wobei es sich bei der Schätzung aus den baumindividuellen Astdurchmessern am deutlichsten abzeichnete. Auch war das Ergebnis bei den Probebäumen aus der Fichtenaltersstufe 26 am deutlichsten.

Es existieren nur wenig vergleichende Untersuchungen zu Blattmasseanalysen an Vogelbeere. MÜLLER (1998) hat bei durchschnittlich 9 bis 15 Jahre alten Vogelbeeren in einem Mischbestand mit ca. 10 bis 14 Jahre alten Fichten eine mittlere Blattmasse von 81g je Baum (V 23%) bei einem mittleren BHD von 3 cm ermitteln können. HEDRICH (2002) hat für ca. 8 Jahre Vogelbeeren, welche auf Lücken in Fichtenbeständen erwachsen sind, Blattbiomassen zwischen 5 und 195 g beernten können.

Die häufig vorkommende Mehrstämmigkeit der Vogelbeere könnte für Gesamtblattmasseschätzungen weiterhin ein Problem darstellen, da es zu entscheiden gilt, ob die Stockaus schläge mit einzubeziehen sind. In vorliegender Untersuchung wurden bewusst nur einstämmige Vogelbeeren in das Versuchsdesign einbezogen.

### Fruchtmassen

Die Erfassung der Fruchtbiomasse erfolgte hinsichtlich der Untersuchungsintervalle weniger intensiv als die Erfassung der Wuchsreaktionen der anderen Baumkompartimente. Es wurden die Fruchtmassen aus dem Jahr 2001, eine Vegetationsperiode nach der Freistellung, und dem Jahr 2003 beerntet und analysiert.

Eine vollständige Beerntung war nicht bei allen Bäumen möglich, da nicht alle Fruchtdolden aufgrund der Baumhöhe zu erreichen waren. War dies der Fall, dann wurden die Fruchtdolden an den Bäumen ausgezählt und die gesamte Fruchtmasse je Baum durch Hochrechnung des mittleren Doldengewichts der beernteten Dolden, ermittelt. Tiefergehende Analysen, wie z.B. die mittleren Beerengewichte, sollten für die Untersuchungen nicht präsentiert werden. Wichtiger war die Beobachtung der Veränderung der Gesamtfuchtmassen je Baum in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten.

Als eindeutiges Ergebnis präsentierte sich der Befund, dass fast doppelt so viele Bäume im Jahr 2003 Früchte getragen haben. Dieses Ergebnis wird noch von der Tatsache unterstützt, dass bei der Aufnahme im Jahr 2003 17 Probebäume im Versuchsdesign gefehlt haben, da diese zuvor destruktiv beprobt worden sind. In der Fichtenaltersstufe 16 blühten allgemein wenige Bäume. Scheinbar besitzen die Vogelbeeren noch kein richtiges Fruktifikationsalter. Entsprechende Literaturangaben belegen, dass die Vogelbeere etwa in einem Alter von 15 Jahren die erste Fruktifikation zeigt (RASPÉ et al. 2000), dies aber bevorzugt im Freiland (PRIEN 1964).

Bei KUTSKO et al. (1982) gibt es eine bestandesweise Angabe für die produzierte Fruchtmasse. Die Autoren beschreiben, dass die Fruchtproduktion sehr stark von Jahr zu Jahr variiert und zwischen 50 und 3020 kg / ha liegen kann. Einige Autoren geben an, dass die Vogelbeere regelmäßig und jährlich fruktifizieren kann (PRIEN 1964, LEDER 1992). Sie verweisen jedoch auf regelmäßige Schwankungen in der Fruchtmenge (WALLENIUS (1999), zit. in RASPÉ et al.). ŻYWIEC et al. (2012) stellten dagegen keine regelmäßige Periodizität der Mastjahre in ihren Untersuchungen für subalpine Stufen der West-Karpaten fest. Zudem sei die Produktion auf der Freifläche höher als an Waldrändern und in Beständen. Aus den Untersuchungen von RAATIKAINEN (1990) kann man entnehmen, dass produktive Bäume ein mittleres Fruchtmassegewicht von 23 kg haben. Dabei haben junge Bäume (unter 20 Jahre) eine geringere Wahrscheinlichkeit zu fruktifizieren. Sie brauchten auch länger, um sich nach einem Mastjahr (untersucht für das Jahr 1983) wieder zu erholen.

BARCLAY und CRAWFORD (1984) fanden für Vogelbeeren in den höheren Lagen des schottischen Hochlands heraus, dass diese einen signifikanten Zusammenhang zwischen Höhenlage und produzierter Fruchtmasse zeigen. Die Früchte waren in den Hochlagen kleiner und die Fruchtanzahlen geringer.

Die weitere Betrachtung der Ergebnisse lässt vermuten, dass vor allem die größer dimensionierten Bäume scheinbar zur Fruktifikation angeregt wurden. Es kann geschlussfolgert werden, dass die gebildete Fruchtmasse vom BHD abhängig ist. Die Beziehungen sind für beide untersuchten Jahre signifikant und mit einem  $R^2$  von jeweils  $> 0,7$  kann für beide noch von einer starken Korrelation ausgegangen werden. Ein ähnliches Bild ergibt sich für den Zusammenhang zur Kronenlänge. Dennoch weisen die Beziehungen für das Jahr 2003 schon recht hohe Streuungen auf und an dieser Stelle lässt sich fragen, ob evtl. die Freistellung diesen Effekt produziert. Die Kronenausdehnung nach der Freistellung ist als deutlich zu bezeichnen und es wird auch angenommen, dass dies zu einer erhöhten Anlage von Fruchtknospen geführt hat. RAATIKAINEN et al. (1990) stellten anhand ihrer Untersuchungen fest, dass ideale „Beerntungsbäume“ auch entsprechend große Kronendimensionen besaßen. Betrachtet man die Ergebnisse der Kronenschirmflächen der vorliegenden Untersuchung, so zeigen sich die Werte auch stark unterschiedlich und sind mit hohen Streuungen belastet. Dies könnte die Streuung der Fruchtmassen erklären, wenn auch die Beziehung zwischen Kronenschirmfläche und Fruchtmasse hier nicht näher analysiert wurde.

Bezüglich Baumdimension bzw. –alter schreibt auch PRIEN (1964), dass ein idealer Beerntungszeitpunkt für Vogelbeerfrüchte erst ab einem Alter von 25 bis 50 Jahren gegeben ist. Erst dann sind zahlreiche und dicke Beeren, und dementsprechend reife Samen, zu erwarten.

Es existieren allgemein verschiedene Theorien („*mast-theories*“) für die Ausbildung von Fruktifikationen bzw. das Vorkommen von Mastjahren bei Pflanzen und Bäumen (KELLY 1994, PIOVESAN und ADAMS 2005).

Für die Baumart Vogelbeere dachte man bisher, dass die Jahresvariabilität der Fruktifikation sich auf einer angepassten Abwehrstrategie gegen Schädlinge gründet („*predator-satiation-theory*“, KOBRO et al. 2003, zit. in ŻYWIEC et al. 2012; SATAKE et al. 2004). Allgemein wurde immer eine „*high-inter-annual variability*“ der Fruchtmenge und einer „*high-inter-individual synchronisation*“, d.h. fast alle Bäume einer Population blühen und fruchten gleich stark,

erwartet. Dies würde dazu führen, dass die Predatorenpopulationen in Jahren mit geringen Fruchtmengen „ausgehungert“ werden.

Weiterhin könnte eine „*resource-matching-theory*“ angenommen werden, welche die Fruchtproduktion von den Umweltbedingungen abhängig macht (KELLY 1994). Je günstiger diese ausfallen, desto eher ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Mastjahres.

SPERENS (1996, 1997a und b) Studien aus Schweden widersprechen den genannten Theorien für die Vogelbeere. In seinen Studien hatten z.B. die klimatischen Bedingungen keinen Einfluss auf Fruchtproduktion von Vogelbeeren („*resource-matching-theory*“) und auch unterschiedliche Attraktivitäten für die Predatoren, würden nicht der „*predator-satiation-theory*“ entsprechen. Das Auftreten des Predators würde eher durch die gesamte gebildete Fruchtmenge und die Größe der einzelnen Früchte gesteuert, als durch Schwankungen der Mastjahre. SPERENS (1997b) führte z.B. auch Düngungen an Vogelbeeren durch, für die er auch keine Nachweise für einen Einfluss auf die Fruchtproduktion nachweisen konnte.

ŻYWIEC et al. (2012) konnten die Annahmen speziell zum Einfluss des Klimas für Vogelbeeren in subalpiner Lage der Karpaten widerlegen. Sie fanden heraus, dass in den Gebirgslagen vorrangig die klimatischen Bedingungen die Fruktifikation der von ihnen untersuchten Vogelbeeren beeinflussten. Ungünstig wirkte sich demnach ein hoher Niederschlag im Juli auf die produzierte Fruchtmenge des gleichen Jahres aus. Weiterhin waren auch die Temperaturen im Mai hoch korreliert mit der produzierten Fruchtmenge des gleichen Jahres, da sich die Fruchtknospenanlagen im Mai entwickeln. Sie stellten weiterhin fest, wenn auch mit einer etwas schwächeren Korrelation, dass kühle Augusttemperaturen zu einer geringeren Fruktifikationsrate im Folgejahr führten. Durch kühle Augusttemperaturen würde die Vegetationsperiode verkürzt und die Reservestoffbildung für das Folgejahr verringert. ŻYWIEC et al. (2012) kommen zu dem Schluss, dass nicht die „*mast-theories*“ die Vogelbeeren im Gebirge beeinflussen, sondern die klimatischen Bedingungen der Hochlagen.

Den Ergebnissen von ŻYWIEC et al. (2012) kann man auch entnehmen, dass das Jahr 2003 ein im Vergleich zu den Jahren 2001 und 2003 vergleichsweise gutes Mastjahr gewesen ist. Die Jahre 2005, 2006, 2007 und 2009 zeigten in ihren Untersuchungen aber noch höhere Werte hinsichtlich der Fruktifikation.

Insgesamt kann für die Auswertung der Fruchtmassen der vorliegenden Arbeit resümiert werden, dass es hinsichtlich der Fruktifizierung ein auffälliges und erfreuliches Ergebnis ist, welches auch einen hohen ökologischen Wert besitzt. Es kann angenommen werden, dass die Attraktivität der Vogelbeeren für Insekten und fruchtaufnehmende Tiere mit zunehmend produzierter Fruchtmasse steigt (LEDER 1992, SCHMIDT 1998).

Weiterhin muss in diesem Zusammenhang auch noch eine Feststellung von ŽYWIEC et al. (2012) angeführt werden. Die Autoren stellten die Vermutung auf, dass eine Ressourcenakkumulation über eine Spanne von 5 Jahren ausreicht, um die Fruktifikation über mehr als ein Jahr für die darauffolgenden Vegetationsperioden zu unterstützen. Dieser Aussage zufolge ist für die Vogelbeeren des vorliegenden Versuchs anzunehmen, dass diese auch in den Jahren nach der Untersuchungsperiode bezüglich ihrer potentiellen Fruktifikation noch von den Freistellungen profitieren.

#### 4.2.3 Unterirdische Wuchsreaktionen

Interspezifische Konkurrenz des Wurzelwachstums zwischen Baumarten ist ebenso von Bedeutung wie die oberirdische Konkurrenz (CONERS et al. 1998, HERTEL und LEUSCHNER 1998). Man kann davon ausgehen, dass hohe oberirdische Konkurrenz auch unterirdisch stattfindet, allerdings ist sie schwer zu analysieren (STIELL 1970, zit. in BIGING und DOBBERTIN 1992).

Allgemein sind die Untersuchungen auf dem Gebiet der Wurzelforschung bekanntlich oft mit methodischen Schwierigkeiten und hohen Streuungen behaftet. Das Wurzelwachstum ist im Jahresverlauf in Abhängigkeit des Bodenklimas und des Bodenfeuchtegehalts unterschiedlich, zudem existieren Wechselwirkungen zwischen Wurzelwachstum und Lichtgenuss der Sprosse (POLOMSKI und KUHN 1992, MÜLLER 2004, ROLOFF 2001). Der Bodentyp und die Nährstoffausstattung beeinflussen ebenfalls die Wurzelverteilung und -ausbildung (HARTMANN 2010, BRAUN et al. 2005).

Untersuchungen zur Feinwurzelverteilung von Vogelbeeren sind bisher kaum bekannt. Die verfügbaren Arbeiten beschränken sich eher auf die Wurzelarchitektur der Vogelbeere (PRIEN 1964, MAUER und PALÁTOVÁ 2002). Demnach zeigt die Vogelbeere eine eher flachgründige, aber intensive oberflächennahe Durchwurzelung bis zu einer maximalen Tiefe von 100 cm.



(MAUER und PALÁTOVÁ 2002, NAMVAR und SPETHMANN 1985). Das Wurzelsystem der Vogelbeere ändere sich zwischen 20 und 60 Jahren nicht prinzipiell. Die beeinflussenden Faktoren für das Wurzelsystem von älteren Bäumen sind dann eher der Standort, die Hangneigung, wasserführende Bodenschichten (stellt eine Sperre für Vogelbeere dar, HARTMANN 2010) und die vorherrschende Windrichtung.

Einjährige Pflanzen bilden eine mittlere Wurzellänge von 50 cm aus (GILLHAM 1980, zit. in RASPÉ et al. 2000). Die Wurzeln von Sämlingen wachsen zunächst nur im Of<sub>2</sub>-Horizont. Im Of<sub>2</sub>- und Of<sub>1</sub>-Horizont würden dann auch Adventivwurzeln ausgebildet. In der späteren Entwicklung stechen die Wurzeln (natürliche und Adventivwurzeln) dann zum Oh-Horizont durch und verzweigen sich dort (MAUER und PALÁTOVÁ 2002).

Im Vergleich zur Fichte besitzt die Vogelbeere aber eine bessere Zwischenraum- und Tiefendurchwurzelung. Die Fichte würde eher den Oberboden und den Humus erobern. Eine direkte Wurzelkonkurrenz mit Fichte ist daher kaum gegeben (PRIEN 1964). Nach BOLTE und VILLANUEVA (2004) würde die Fichte immer gleichartig wurzeln, auch in Konkurrenz zu anderen Baumarten.

Die Vogelbeere soll im besonderen Maße zur Bodenverbesserung beitragen (PRIEN 1964 und 1995, SCHMIDT-VOGT 1991, ROLOFF et al. 2010). Wurzeluntersuchungen könnten diesen Befund weiter belegen. Die Aufstellung von gesicherten allometrischen Beziehungen zwischen Wurzelbiomasse und Sproßwachstum (KOZLOWSKY und PALLARDY 1997) könnten die Ergebnisse des hier getätigten Freistellungsversuchs untermauern. Es wäre wünschenswert zu Aussagen zu gelangen, dass die Förderung von Vogelbeeren sowohl ober- und als auch unterirdische positive Wuchsreaktionen produziere würde.

Die Untersuchungen von Feinwurzelmassen bieten sich im Gegensatz zu Untersuchungen von Grobwurzeln an, da diese vergleichsweise einfacher beprobt werden können (HÖLSCHER et al. 2009). Die alleinige Untersuchung der Feinwurzelbiomasse wird dadurch gerechtfertigt, dass die Quantität der lebenden Feinwurzelmasse ein guter Indikator zur Beurteilung der Ressourcenverfügbarkeit, Konkurrenzsituation und Wurzeldynamik von Bäumen (COOMES und GRUBB 2000, CONERS et al. 1998, POLOMSKI und KUHN 1992) sein kann.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollten erste vorsichtige Versuche zur Erfassung der Feinwurzelbiomasseverteilung sein und dabei mögliche methodische Wege aufzeigen. Es konnten

Aussagen zur produzierten Gesamtfinwurzelmasse je Baum, und in Ansätzen auch maximale räumliche Verteilungen um den Probebaum angegeben werden. Es wurden keine Modellierungen nach Himmelsrichtungen, wie z.B. bei den Untersuchungen zur räumlichen Verteilung von Frucht- und Laubfall durchgeführt (RIBBENS et al. 1994, WAGNER et al. 2004, HUTH 2009, FRISCHBIER 2011). Die Untersuchung von Himmelsrichtungen zur Erfassung von möglichen anisotropen Wachsmustern im Wurzelbereich, z.B. durch den Einfluss der Fichtenkonkurrenten auf den Wurzelaufbau der Vogelbeeren, ist sicherlich ein interessanter Aspekt, der weitere mögliche Forschungsansätze eröffnen könnte. An dieser Stelle wurde zunächst nur die Erfassung eines Allokationsmusters hinsichtlich möglicher unterirdischer Wuchsreaktionen nach den Freistellungbehandlungen erwartet. Die Erforschung der Beziehung zwischen produzierter Feinwurzelmasse und dem jeweiligen BHD des untersuchten Baumes stellt noch ein weiteres wünschenswertes Ziel dar. Wie oben schon erwähnt, könnten die positiven oberirdischen Wuchsreaktionen (Förderung des Dickenwachstums) sich durch allometrische Wechselbeziehungen auch unterirdisch wirken.

Die horizontale (isotrope) Gleichverteilung der Feinwurzelmasse wurde für den vorliegenden Versuch bei den Vogelbeeren zunächst vorausgesetzt. MÜLLER (2004) stellt für seine Feinwurzeluntersuchungen die gleiche Annahme, obwohl er auch COUTTS et al. (2000) zitiert, welche bezüglich der Architektur von Wurzeln eine streng asymmetrische Verteilung annehmen.

Für die Wurzeluntersuchungen war es ein eindeutiger Vorteil, dass es sich um einen einzelbaumbezogenen Versuchsansatz gehandelt hat. Es wurde davon ausgegangen, dass Überlappungen der Wurzelbereiche der Vogelbeeren aufgrund ausreichend eingehaltener Abstände zwischen den Probebäumen vermieden werden konnten. Die Erfassung und Modellierungen bezogen sich nur auf die Vogelbeer-Wurzeln, nicht auf die Fichtenwurzeln. Dieses Vorgehen lässt natürlich Fragestellungen zum Einfluss der Fichtenkonkurrenten auf die angenommene isotrope Wurzelverteilung offen. Ein derartiger Forschungsansatz könnte durch die Analyse von Stammverteilungsplänen an anderer Stelle untersucht werden.

### Modelle

Der hier verwendete Modellierungsansatz wird bei FRISCHBIER und ZEIBIG (2008) kurz als räumliche Punkt-Messung mit anschließende Modellparametrisierung beschrieben. Durch den Einzelbaumansatz ist der unmittelbare Bezug zwischen den Probebäumen und den Messpunkten gewährleistet, so dass Überlappungen der Wurzelverteilung mehrerer

Vogelbeeren weitestgehend ausgeschlossen werden können und die Modellschätzungen eine größere Genauigkeit besitzen sollten. Die Feinwurzelwerte werden zudem an der Stelle der realen Punktmessungen geschätzt (WÄLDER und WÄLDER 2008).

Die ermittelten Daten zeichneten sich durch hohe Streuungen aus, gerade im stammnahen Bereich bis ca. 1m.

Für eine hohe Akkumulation der Feinwurzelmasse im stammnahen Bereich wird von einigen Autoren die Traufwirkung herangezogen, welche hohe Niederschlagsmengen in der räumlichen Verteilung im stammnahen Bereich belegen (FRISCHBIER 2011, Hölscher et al. 2009). Für die Vogelbeere könnte hier eher die positive Wirkung des Stammabflusses genannt werden. HILLEBRAND (1998) beschreibt die Kronenform und -struktur der Vogelbeere als licht und nach oben geöffnet, sie wirke für Niederschläge wie ein „Trichter“.

Insgesamt zeichneten sich die Modellierungen der Gesamtfeinwurzelmasse der einzelnen Bäume nur mit geringen Bestimmtheitsmaßen und hohen Korrelationen zwischen den Parameterschätzungen aus. Ursachen für hohe Korrelationen zwischen den Parameterschätzungen können eine Überparametrisierung des Modells sein, aber auch ungünstige Datenverhältnisse, die keine Identifikation aller Parameter ermöglicht (DRAPER & SMITH, 1981). Ein weiterer Hinweis für die Güte des Modells ist die Analyse der Residuen gegen die unabhängige Variable Entfernung. Dieses Verfahren zeigt, ob die Abweichungen an allen Stellen gleichmäßig um die Funktion verteilt sind. Ungünstig wäre es z.B., wenn ein großer Teil der Residuen an einer bestimmten Stelle positiv wäre. Für das vorliegende Modell zeigt Abbildung 100, dass bei den geringen Entfernungen von der Stammachse ein größerer Teil der Residuen negativ ist, dies ist ein Hinweis auf Schwächen im Modell.

Für den stärksten Baum aus der Stichprobe, eine Vogelbeere aus der Fichtenaltersstufe 32 mit einem BHD von 8,3 cm, erschienen die ermittelten Modellwerte vergleichsweise annehmbar. Daher wurden die Daten aller sieben beprobten Bäume dem Modell dieses Baumes angepasst und für einen mittleren Baum mit einem BHD von 5,3 cm weitere Berechnungen durchgeführt. Mit dem Term „Baumdimension“ konnten dann für verschiedene BHDs Schätzungen der Gesamtfeinwurzelmasse realisiert werden.

Das Ergebnis der maximalen Wurzel­ausbreitung wurde für den Baum 3202 aus der Fichtenal­tersstufe 32 mit 9,2 m modelliert. Betrachtet man das Ergebnis für das 95% Konfidenzinter­vall, dann könnte ein Wert von 4,4 m für maximale Feinwurzel­ausbreitung angenommen werden.

Bei MAUER und PALÁTOVÁ (2002) wird SVOBODA (1937) zitiert, welcher Wurzeln von Vo­gelbeeren beobachtet hatte, die sich bis zu einer Entfernung von 5 m zur Stammachse ausge­breitet hatten. Weiterhin wird VÁLEK (1977) bei MAUER und PALÁTOVÁ (2002) zitiert, wel­che für Vogelbeere eine Ausbreitungsentfernung von 3,0 - 6,5 m für die Wurzel­ausbreitung angibt. Leider gibt es keine Angaben zu Alter und Dimension der in diesen Studien untersuch­ten Vogelbeeren.

#### 4.2.4 Allokationsmodell

Für die Aufstellung eines vollständigen Allokationsmodells, welches einer statistischen Auswertung unterzogen werden kann, bieten die Daten aus dem vorliegenden Versuchsdesign keine ausreichende Grundlage. Zum einen können nur die Biomassedaten der Bäume aus den Fichtenaltersstufen 16 und 26 dargestellt und betrachtet werden. Nur in diesen beiden Fichtenaltersstufen sind Bäume destruktiv beprobt worden und liefern so Datenmaterial für einen Vergleich der Biomassen der verschiedenen Baumkompartimente. Aus den übrigen Fichtenaltersstufen hätten die Biomassedaten aus „gröberen“ Ratioschätzern (Biomasse-Dimensions-Schätzern, z.B. aus dem Verhältnis Biomasse zu BHD) ermittelt werden müssen. Dies wäre für vergleichende Ergebnisanalysen ungünstig gewesen.

Aber auch das Datenmaterial aus den Fichtenaltersstufen 16 und 26 muss kritisch betrachtet werden, da es zu unterschiedlichen Zeitpunkten entnommen worden ist, d.h. es stammt je nach Fällungszeitpunkt des Baumes aus 2 verschiedenen Vegetationsperioden. Da sich die Untersuchung der unterirdischen Biomassen insgesamt nur auf die Feinwurzeln beschränkte, wurden auch diese nicht in die Ergebnisdarstellung einbezogen. Ebenso fehlen die Daten der Fruchtmassen.

Daher sollte eine einfache Darstellung der gemessenen bzw. geschätzten oberirdischen Biomassen der verschiedenen betrachteten Baumkompartimente, getrennt nach den Varianten des Versuchsdesigns, genügen.

Die Untersuchung von Allokationsmustern ermöglicht die Identifizierung von Wachstumsprioritäten, welche Pflanzen bei der Biomasseverteilung verfolgen (TREMMELE und BAZZAZ 1995, VANNINEN et al. 1996, WEINER 2004). Die Allokationsmuster werden dabei von unabhängigen Faktoren und von den zur Verfügung stehenden Ressourcen beeinflusst. Für die verschiedenen Allokationsprozesse existieren unterschiedliche Theorien, welche u.a. bei WEINER (2004) dargestellt werden.

Die Abbildung 105 soll zur Übersicht die im waldbaulichen Experiment untersuchten Allokationsprozesse andeuten. Die Abbildung stellt keinen Anspruch auf Vollständigkeit hinsichtlich der aktuellen Forschung zu Allokationsstrategien von Pflanzen und den dabei zugrundeliegenden Theorien, sondern stellt einen Versuch dar, die Betrachtungsweisen von Allokationsprozessen anzudeuten, die für den vorliegenden Versuch relevant sein können.

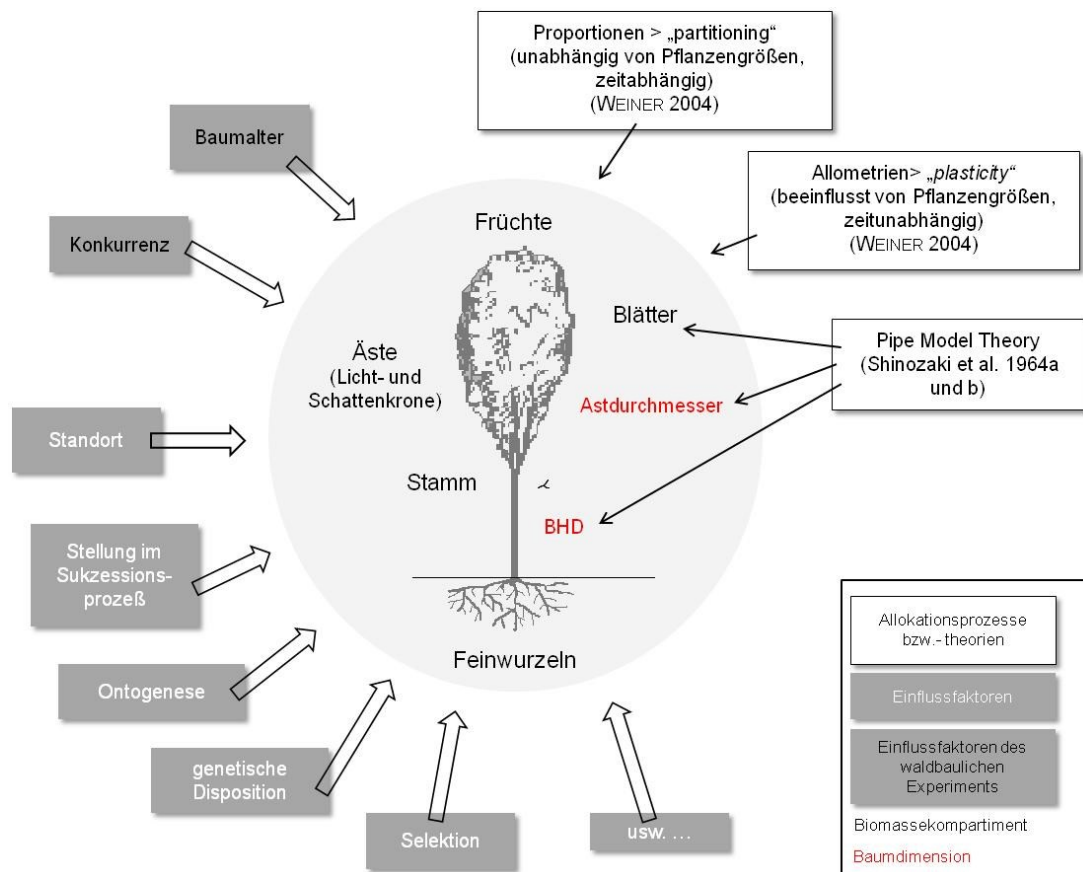


Abbildung 105: Darstellung von Einflussfaktoren auf die betrachteten Allokationseinheiten (Biomassen) und Dimensionen der Probestämme und Zuordnung von Allokationstheorien

Es werden die im Versuch betrachteten Biomassekompartimente und die verwendeten Dimensionen bzw. Hilfsgrößen (BHD und Astdurchmesser) zur Schätzung von Biomassen (Ratioschätzer), z.B. mit dem RBS-Verfahren gezeigt. Die Einflussfaktoren des waldbaulichen Experiments und mögliche weitere Faktoren werden dargestellt, welche auf die Allokationsprozesse von Bäumen einwirken. Die Einflussfaktoren Baumalter und Konkurrenz (impliziert auch Freistellung) innerhalb des hier durchgeführten Versuchs sind dabei hervorgehoben. Angedeutet werden auch Allokationstheorien, welche den Analysen zugrunde liegen. Das waren zum einen das „*Pipe Model*“ von SHINOZAKI et al. (1964 a und b) und zwei grundlegende Allokationstheorien, welche WEINER (2004) in seiner Veröffentlichung zusammenfassend dargestellt hat.

Viele weitere äußere Faktoren beeinflussen die Allokationsprozesse von Bäumen, welche auch die Befunde des waldbaulichen Experimentes überlagern können. Dies sind z.B. der Standort, die genetische Disposition der Bäume, ihre Ontogenese, die Stellung im Sukzessionsprozess, etc. (WEINER 2004, BLOOM et al. 1985, zit. in WEINER 2004).

### Proportionen der Biomasse („Partitioning“)

Es gibt verschiedene Betrachtungsweisen der Gesetze, welchen die Allokationsvorgänge in Pflanzen unterliegen. Zum einen werden die Vorgänge grundlegend als ein Prozess angesehen, welcher die Größenverhältnisse der gesamten Pflanze proportionsgesteuert bewahrt (WEINER 2004). Somit hätten Pflanzen jederzeit eine gewisse Menge an Ressourcen, welche zwischen verschiedenen Strukturen und Aktivitäten aufgeteilt werden können. WEINER (2004) verwendet dafür den Begriff „*Partitioning*“. Das „*Partitioning*“ bzw. die Proportionen der Biomassen seien aber je nach betrachtetem Zeitpunkt bzw. Alter der Pflanze unterschiedlich. Die hier erfolgte Darstellung der relativen Biomassenverteilung der Probestämme entspricht der „*Partitioning-Theorie*“ (s. Abb. 105).

### Allometrische Plastizität („*plasticity*“)

Eine weitere Betrachtungsweise für die grundlegende Steuerung von Allokationsverhältnissen beruht auf dem allometrischen Prinzip. Allometrie bezeichnet die quantitative Beziehung zwischen Wachstum und Allokation (WEINER 2004). Demnach beruhen die Allokationsprozesse auf allometrischen Mustern, welche Pflanzen aufgrund selektiver Einflüsse entwickelt haben. Die allometrischen Muster folgen Funktionen und keinen proportionsgesteuerten Verhältnissen für die gesamte Pflanze. Daher ist in dieser Theorie eine jeweilige Pflanzendimension (Hilfsgröße) eine wichtige Steuerungsgröße für den Allokationsprozess. Dieser Zusammenhang ist somit unabhängig vom betrachteten Zeitpunkt bzw. dem Pflanzenalter. Weiterhin existiert eine allometrische Plastizität („*plasticity*“) für den Allokationsprozess, welche durch Umwelteinflüsse gesteuert wird und je nach Pflanzenart relativ fix oder sehr flexibel sein kann. WEINER (2004) geht ausführlich auf weitere Definitionen der „*plasticity*“ ein.

Auch die Pipe-Model-Theorie nach SHINOZAKI et al. (1964a und b) hinsichtlich des untersuchten Allokationsprozesses beruht auf dem allometrischen Prinzip. Es liegt dem im Versuch verwendeten RBS-Verfahren bei den Blattmasseschätzungen zugrunde.

Vergleichende Allokationsuntersuchungen für Vogelbeere sind der Autorin nicht bekannt. Arbeiten und Studien zu anderen Baumarten zeigen in Abhängigkeit der Untersuchungsziele unterschiedlichste Befunde und Beziehungen, so dass eine gründliche Analyse und daraus folgende Diskussion erschwert gewesen ist. Die Ergebnisse der verschiedenen Studien unterstreichen lediglich die grundsätzliche Abhängigkeit der Allokationsverhältnisse von den oben

genannten Faktoren wie u.a. Baumart, Standort, Baumalter, Konkurrenzsituation, Behandlungsvariante.

#### Allokationsverhältnisse der Probebäume in Abhängigkeit des Baumalters

Im Versuchsaufbau zeigten die jüngeren Bäume der Fichtenaltersstufe 16 verhältnismäßig hohe Blattmasseanteile im Vergleich zur Biomasse über alle Versuchsvarianten. Auch erscheinen die Astbiomassenanteile der jüngeren Bäume noch relativ gleich verteilt zwischen Licht- und Schattenkrone zu sein. Die Bäume erscheinen hier noch eine ausgewogene Verteilung ihrer Biomassekompartimente aufrecht erhalten zu können, welche wenig beeinflussbar ist. Ein ähnliches Bild zeigen nur die älteren Bäume der Fichtenaltersstufe 26 bei starker Freistellung und geringer Konkurrenz. Hier lässt sich deuten, dass für diese Bäume durch die Förderung dieses ausgewogene Allokationsmuster erhalten bleibt. Insgesamt zeigten die älteren Bäume weniger Blattbiomasse im Vergleich zur Stammbiomasse. Die Verteilung der Astbiomassen zwischen Licht- und Schattenkrone folgen hier aber einem uneinheitlichen Muster, welches schwer zu interpretieren ist.

Die Untersuchungen von VANNINEN et al. (1996) in Kiefernbeständen zeigten auch, dass die relativen Nadelbiomassenanteile mit zunehmenden Bestandesalter abnahmen, aber interessanterweise blieb das Allokationsverhältnis bzw. die Proportion zwischen Nadelmasse und Stamm mit zunehmendem Bestandesalter immer gleich.

#### Allokationsverhältnisse der Probebäume in Abhängigkeit von der Konkurrenzsituation

Weiterhin war es auffallend, dass die Biomassenanteile der Äste aus der Lichtkrone gefolgt von der Stammbiomasse immer den höchsten Anteil an der Gesamtbiomasse der Bäume besaßen. Es gab nur eine Ausnahme in der Fichtenaltersstufe 26. Hier hatten die Bäume in der mittleren Konkurrenzsituation, welche keine Förderung erfuhren, verhältnismäßig mehr Biomasse in der Schattenkrone. Die Untersuchungen zu den allometrischen Beziehungen der Primäräste ergaben auch vergleichsweise dickere Astdurchmesser in der Lichtkrone, was diesen Befund unterstützt.

Ab der Fichtenaltersstufe 26 setzte zunehmend die natürliche Astreinigung ein. Es ist anzunehmen, dass der Prozess der natürlichen Astreinigung sicherlich die Allokationsverhältnisse im Sinne der „*Partitioning-Theory*“ stark beeinflusst, da dadurch Biomassenanteile dem gesamten System entnommen werden, dies vor allem aus dem Bereich der Schattenkrone. Zunehmende Konkurrenz fördert außerdem die natürliche Astreinigung (RÖHRIG et al. 2006).



Insgesamt hat die starke Freistellung tendenziell das Allokationsverhältnis zugunsten der Astbiomasse verschoben. Dies entspricht den Erwartungen, da nach einer Förderung bzw. Lichtzufuhr für die Bäume mit deren Kronenerweiterung zu rechnen ist (DRINKWATER 1960, BALDWIN et al. 2000, UTSCHIG und PRETZSCH 2001, SIMARD et al. 2004, UHL 2009).

Die Untersuchungen von LEBAUPE et al. (2000) für Buche zeigten, dass dominante Bäume mehr Astbiomasse produziert hatten als kleinere, unterdrückte Bäume. Die dominanten Bäume können mehr Biomasse in die Krone verlagern um diese auszubauen, d.h. sie können sich eine größere Krone „leisten“. Dies bestätigen auch die Untersuchungen von BARTELINK (1997) für Buche und die Arbeit von KING (1991) für junge Pflanzen in Lücken.

BALDWIN et al. (2000) analysierten die Allokationsschemata von Weihrauchkiefer nach Freistellung. Die stark freigestellten Kiefern hatten hier längere Kronenbereiche, mehr Astbiomasse, mehr Blattbiomasse und daher insgesamt mehr Biomasse. Moderate Durchforstungsvarianten förderten vorrangig das Stammwachstum.

Andere Arbeiten zeigen auch, dass bei erhöhter Konkurrenz bzw. unterdrückten Bäumen die relativen Allokationsverhältnisse sich zugunsten des Stammes und der Wurzel verschieben (VANNINEN et al. 1996, BLOOM et al. 1985, zit. in WEINER 2004). Auch das Verhältnis von Stamm- zu Blattbiomasse ist umso größer, je dichter die Bestände sind. Die Ergebnisse der Jahrringanalysen der vorliegenden Arbeit könnten diese Befunde unterstützen. Hier zeigte sich ein Zuwachsanstieg vor allem im Stammfußbereich nach der Freistellung. Die von MESSIER und PUTTONEN (1995) untersuchten Birken zeigten dagegen eine vergleichsweise höhere Allokation in den Stammbereich als in die Blattbiomasse, wenn sie im Schatten wuchsen.

In der Arbeit von KING (1991) verschoben dagegen sehr junge Verjüngungspflanzen von Baumarten aus dem tropischen Regenwald in Costa Rica bei Beschattung den größten Teil des oberirdischen Wachstums in die Blattmassenproduktion. Waren die Pflanzen dagegen in Lücken mit verhältnismäßig höherem Lichtgenuss erwachsen, verschoben sich die Allokationen zugunsten der Ast- und Stammbiomasse.

Abschließend ist anzumerken, dass die Datengrundlage der hier vorgestellten Ergebnisse zur Analyse von Allokationsstrategien unter Berücksichtigung aller Versuchsvarianten nicht umfangreich genug gewesen ist. Die entdeckten Muster lassen daher nur vage Deutungen zu.

Dennoch erscheint der hier vorgestellte Versuchsansatz ein interessantes und vor allem eigenes Versuchsfeld zu eröffnen. Dies könnte vor allem auch durch einen längerfristigen Untersuchungszeitraum garantiert werden.

### 4.3 Waldbauliche Behandlungsstrategien und Schlussfolgerungen zur Integration der Vogelbeere

Mit der vorliegenden Arbeit sollte geprüft werden, ob einzelbaumweise eingemischte Vogelbeeren, welche sich natürlich angesamt haben, frühzeitig in die Behandlung von Fichtenjungbeständen einbezogen werden können, so dass sie für eine erhebliche Dauer des Bestandeslebens – mindestens aber bis zum Zeitpunkt ihrer möglichen natürlichen Verjüngung – als vitale Bestandesglieder im Sinne eines ökologischen und extensiven Waldumbauverfahrens anzusehen sind.

#### 4.3.1 Bedeutung und Potential der Vogelbeere als Mischbaumart

HOFFMANN (2013) führte im Jahr 2012 eine Befragung bei den Landesforstverwaltungen zur Bedeutung und Einbeziehung der Vogelbeere in die Waldbaustrategien der Länder durch. Dabei stellte sich heraus, dass die Vogelbeere für viele Länder keine Wirtschaftsbaumart darstellt und auch keine aktive Erhöhung ihres Anteils in den Beständen geplant ist. Eine Erhöhung ihres Anteils wird lediglich in den Ländern Brandenburg, Hessen und Saarland geplant. Dabei wird ihre Bedeutung als Baumart für Zeitmischungen hervorgehoben. Ein entsprechendes Wildmanagement zur Verminderung des Verbissdrucks gilt als wesentliche Voraussetzung. Allein das Land Sachsen-Anhalt hat sich die Erhöhung des Anteils der Vogelbeere als Misch- und Nebenbaumart in Nadelbaumreinbeständen zum Ziel gesetzt. Wenn auch das Land Bayern keine Erhöhung des Anteils plant, so hebt es doch die Bedeutung der Vogelbeere für die Mittelgebirgsstandorte hervor und schätzt das dortige natürliche Verjüngungspotential als hoch ein. Der Erhalt der Vogelbeerenanteile über Naturverjüngung wird von fast allen Ländern als Grundsatz formuliert.

#### Ökologischer Nutzen

Der Vogelbeere kommt als Mischbaumart in Fichtenreinbeständen vordringlich eine ökologische Bedeutung zu. Diese Bedeutung kann verstärkt werden, wenn die Vogelbeere konsequent gefördert und zur Kronenerweiterung angeregt wird. Die Ergebnisse des waldbaulichen Experimentes zeigen, dass durch Freistellung der Kronen die Fruktifikation angeregt werden kann, unabhängig von der soziologischen Stellung der Bäume. Obwohl die Fruchtmassebildung auch von vielen anderen Faktoren, wie klimatischen Einflüssen (ŻYWIEC et al. 2012) und die Ausprägung von Mastjahren (SPERENS 1997a und b, SATAKE et al. 2004) abhängig

sein kann, ist die Fruchtmassezunahme im waldbaulichen Experiment deutlich auf die durchgeführten Förderungsmaßnahmen zurückzuführen. Dies unterstreicht den hohen ökologischen Wert der Maßnahmen. Die Blüten und Früchte der Vogelbeere tragen eine große Bedeutung für die heimische Fauna, sie dienen Insekten, Vögeln und Säugetieren als Nahrung (LEDER 1992, PRIEN 1997, SCHMIDT 1998, HILLEBRAND 1998). Je nach Region trägt die Vogelbeere somit wesentlich zum Artenschutz bei (EBERT 1973, SCHMIDT 1981, WEIDEMANN 1986 und 1988, zit. in LEDER 1992; HILMO et al. 2011, zit. in MYKING et al. 2013). Beispielsweise bildeten Vogelbeeren noch in den 60er Jahren eine wichtige Nahrungsquelle für Birkwild im Thüringer Wald (PRIEN 1964).

Zudem führten die Freistellungsmaßnahmen im waldbaulichen Experiment zu einer verstärkten Ausbildung der Blattmassen. Die Streu der Vogelbeere besitzt hohe kalk- und phosphorhaltige Anteile, und ist daher gut zersetzlich (HILLEBRAND 1998). Je nach Stärke des Mischungsanteils kann die Zersetzung der Vogelbeerenstreu so zur Verbesserung von Bodenverhältnissen führen, dies ist vor allem auf Böden, deren Nährstoffkreislauf gestört ist (LEDER 1992). SAETRE (1999) und SCHUA et al. (2015) weisen auch schon für Einzelmischungen von Pionierbaumarten, wie z.B. der Baumart Birke, bodenverbessernde Wirkungen nach. Nach SCHMIDT-VOGT (1991) trägt die Vogelbeere vor allem zur Bodenmelioration in Fichtenreinbeständen bei.

Die Kronenstruktur der Vogelbeere ist ferner auch dafür verantwortlich, dass mehr Licht auf den Waldboden gelangt. Im Vergleich zur Fichte besitzt die Vogelbeere eine offene und lichte Krone. Dies fördere auch die bodenverbessernden Eigenschaften, da mehr Licht und zugleich mehr Wärme auf den Waldboden gelangen und so die Zersetzungsprozesse gefördert werden. Die Verzweigungsform wirkt ferner wie ein Trichter, der zu einem hohen Stammabfluss und entsprechende Niederschlagseinträge in Stammnähe führt (HILLEBRAND 1998, WAGNER und FISCHER 2008).

Die direkte Zunahme der Wurzelbiomasse konnte im waldbaulichen Experiment nicht nachgewiesen werden. Ausgehend vom „Spross-Wurzel-Gesetz“ (LYR et al. 1992, KOZLOWSKI und PALLARDY 1997) und den Allokationsverhältnissen kann angenommen werden, dass die nachgewiesenen Zunahmen des Stammdurchmessers auch zu einer Zunahme der unterirdischen Biomasse geführt haben (DREXHAGE et al. 2000, NIELSON und DENCKER 1998). Somit

kann auch geschlussfolgert werden, dass die Freistellungen der Vogelbeeren durch eine intensivere Durchwurzelung zur Bodenmelioration und –pflege beiträgt.

Neben einer ökologischen Aufwertung der Standorte listet LEDER (1997) weitere Leistungen der Vogelbeere auf, welche diese im Waldbau bzw. Waldumbau erbringen kann. Dies ist unter anderem der Schutz für die Verjüngung der Hauptbaumarten in vorwaldartigen Strukturen und die Förderung der Qualitätsentwicklung der Hauptbaumarten. Die guten Eigenschaften als Hilfsbaumart für Wachstum und Entwicklung von Hauptbaumarten, vor allem in vorwaldartigen Strukturen, erkannten schon FRANKHAUSER (1910) und HEGER (1949). FRANKHAUSER (1910) (zit. in PRIEN 1964) führt sogar weiter aus, dass im Falle eines Windwurfes die Vogelbeere die Schlagflora zurückdrängt und so die Verjüngung von Nadelbäumen beschleunigt. HEGER (1949) stellte fest, dass unter einem Vogelbeeren-Vorwaldschirm vor allem die Fichte gut („von satter tiefgrüner Farbe“) wachsen würde. Zudem würde die vertikale Struktur der Fichte gut ausgebildet. Dies führe zu einer Kronenausformung, welche künftigen Schadereignissen, wie z.B. Eisanhang, widerstehen könne. LEDER (1992) beschreibt vor allem auch qualitätsfördernde Wirkungen der Vogelbeere auf das Wachstum von Buchen und Eichen in einem vorwaldartigem Gefüge. HILLEBRAND (1998) betont den Zugewinn an Bestandesstruktur in älteren Fichtenbeständen durch eine Vogelbeerenbeimischung.

In Fichtenreinbeständen besitzt die Vogelbeere einen hohen Wert hinsichtlich der Risikominderung bei Schadereignissen. Bei Windwürfen ist auffallend, dass oft Einzelbäume der Vogelbeere auf den Freiflächen übrig bleiben und eine Reservebestockung bzw. Sukzessionspotenzial bildet. Der Wiederbewaldungsprozess wird zudem durch die mehrjährige Überlebensfähigkeit der Samen im Boden (HILL 1979, zit. in RASPÉ 2000 et al.; ERLBECK 1998) gewährleistet, welche bei günstigen Bedingungen noch nachträglich auskeimen können. Aber auch die Fähigkeit der vegetativen Vermehrung ermöglicht einzelnen Individuen ihre Lebensdauer zu verlängern. Somit kann die Vogelbeere innerhalb der Fichtenaltbestände, aber auch in den heranwachsenden Jungbeständen in einer Art „seedling bank“ überdauern. Nach ŻYWIEC und HOLEKSA (2012) erfolgt der Aufbau für Vogelbeere nicht aus der Bodensamenbank (LECK et al. 2008), sondern über vegetative Vermehrung der Altbäume.

### Ökonomischer Nutzen

Ein grundsätzliches Problem stellt die Tatsache dar, dass es im Gegensatz zur Birke für Vogelbeere keine eigene Ertragstafel gibt. Die Vogelbeere wird gern im Wachstumsgang mit der

Vogelkirsche (HILLEBRAND 1998) oder der Birke verglichen. BORN (1997) hat aber deutliche Unterschiede zwischen den Wachstumsgängen von Vogelbeere und Birke gefunden. Weitere Studien in dieser Richtung werden auch in Verbindung mit ertragskundlichen Studien (Erstellung von Ertragstafeln) empfohlen.

Es wäre zielführend, wenn für die Vogelbeere ein stabiler Absatzmarkt geschaffen werden könnte. Dies würde zu einer stärkeren Beachtung im waldbaulichen Handeln führen. Seltene Hölzer liegen zwar immer noch im Trend (KOCH 1997), aber für die Vogelbeere existiert bisher kein verlässlicher Absatzmarkt. Ihre Vermarktung ist schwer kalkulierbar und beschränkt sich bisher nur auf einen „Nischenabsatz“ in der thermischen Verwertung. Gründe sind vor allem die geringen anfallenden Dimensionen, welche sich oftmals über die Reviere als Sammellose verteilen und auf die schälebedingten schlechten Qualitäten in den höheren Stärkeklassen. Bei guten Qualitäten könnte ein Freihandverkauf erfolgen, evtl. sogar auf einer Submission, dies ist aber als selten einzuschätzen.

Das Holz der Vogelbeere bietet sich aufgrund seiner Struktur und Eigenschaften als Massivholz und Furnierholz für Möbel und Innenausbau an. Grundsätzlich sind die Schäl- und Messerfurniereignung gegeben (HILLEBRAND und LEDER 1995, GROSSER und LEDER 1998). SACHSE et al. (1988) bestätigen der Vogelbeere bei den Festigkeitswerten bezüglich Längszug-, Biegefestigkeit und Schlagzähigkeit höhere Werte als der Stieleiche. Bei konsequenter Pflege werden der Vogelbeere auch nutzungstechnisch „brauchbare Dimensionen“ bescheinigt (HILLEBRAND und LEDER 1995).

Vor dem Hintergrund knapper werdender Ressourcen (TEISCHINGER 2007), insbesondere an fossilen Energieträgern, könnte dem Laubholz mit höherer Rohdichte vermutlich in Zukunft eine Schlüsselrolle in der thermischen Verwertung, wie auch in chemischen Aufschlussverfahren zum Beispiel zur Biokunststoffherstellung, zufallen. Bei der Rohstoffkonkurrenz zwischen Holzwerkstoffindustrie und energetischer Verwertung von Holz könnte die Vogelbeere als Mischbaumart in den höheren Lagen einen zusätzlichen Beitrag zur Rohstoffversorgung leisten.

Insgesamt wird durch die Bewirtschaftung von Vogelbeereneinmischungen zwar nicht vorrangig der Holzertrag, aber die Sortimentsvielfalt in den Fichtenreinbeständen erhöht. Dies trägt auch aus ökonomischem Blickwinkel zu einem Risikomanagement bei. Damit würde sich die Bandbreite der absetzbaren Laubhölzer für den Forstbetrieb erhöhen.

Aufgrund ihrer hohen standörtlichen Angepasstheit kommt ihr auch im Waldumbau vor dem Hintergrund des Klimawandels eine bedeutende Rolle zu (ROLOFF und GRUNDMANN 2008, WAGNER 2007 und 2008, BEDBUR et al. 2010).

#### 4.3.2 Wuchspotential

Viele Studien beschreiben die Wuchsleistung der Vogelbeere in Mischbeständen, ohne dass diese eine vorherige gezielte Förderung erfahren hat. HILLEBRAND (1998) gibt für diese Fälle zu bedenken, dass die bisherigen Literaturangaben nicht die physiologisch mögliche, sondern nur die unter Konkurrenz erreichte Wuchsleistung widerspiegeln. Es stellt sich also nach wie vor die Frage, zu welchen Leistungen die Vogelbeere fähig ist, wenn sie innerhalb von Mischbeständen eine konsequente Förderung erfahren würde. Je nach Standort könnte auch bei regelmäßiger Pflege eine deutlich positivere Wuchsleistung erzielt werden. LUDWIG (1998) stellt für die Baumart Birke das „Saaler-Birkenlichtwuchsmodell“ als waldbauliches Betriebssystem vor. Seine einleitenden Feststellungen zur historischen waldbaulichen Behandlung der Baumart Birke gelten auch für die Vogelbeere: es fehlte in der Vergangenheit ein waldbauliches Betriebssystem für diese Nebenbaumarten, Gründe dafür sind u.a. die geringe Massenleistung im Vergleich zu anderen Baumarten.

##### Entwicklungsstadium

Die Ergebnisse der hier durchgeführten terrestrischen Inventur wiesen einen hohen Anteil an Vogelbeerenbeimischung vor allem in den jüngeren Fichtenbeständen bis zum Alter 30 mit überwiegend guten Stammqualitäten aus. Dies sind waldbauliche Potentiale, welche genutzt werden sollten. Das waldbauliche Experiment zeigte, dass gerade die jungen und dünnen Bäume hohe Zuwachsreaktionen zeigen. Daraus lässt sich folgern, dass vor allem Vogelbeeren in jungen Stadien gute Startverhältnisse innerhalb der Fichtenbestände verschafft werden könnten. Das Höhenverhältnis von Vogelbeere und Fichte zeigt in diesem Stadium noch keine großen Unterschiede, so dass der Pionierbaumart durch eine Förderung ein „Mitziehen“ mit den konkurrierenden Fichten ermöglicht würde. Im vorliegenden Versuch haben alle Bäume in der jüngsten Fichtenaltersstufe (16-jähriger Bestand, Dickungsphase) von dem Eingriff profitiert, auch diejenigen, welche nicht freigestellt wurden. Zudem müssen die unterschiedlichen Kulminationszeitpunkte des Höhenwachstums der beiden Baumarten beachtet werden. Das Höhenwachstum der Vogelbeere kulminiert sehr früh, je nach Standort schon unter 10

Jahren (HILLEBRAND 1998). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen zwar, dass sich die Kulmination bei den Vogelbeeren innerhalb der Fichtenbestände noch etwas hinauszögern kann, dennoch liegen die Zeitpunkte immer noch unter denen der Baumart Fichte mit 25 bis 35 Jahren (WENK et al. 1984). Auch MÜLLER (1998) stellt fest, dass im Jungwuchsstadium die Mischungs- und Wuchsraumregulierung dringend notwendig sei, wenn man der Vogelbeere eine Chance in Fichtenbeständen geben will.

Dennoch ist es auch als ein wichtiges Ergebnis des waldbaulichen Experimentes zu bezeichnen, dass auch ältere Bäume noch zu Wuchsreaktionen fähig sind und so ihren ökologischen (Zunahme von Frucht- und Blattmasse) und auch ökonomischen Nutzen (Stammzuwachs) noch steigern können. Für die Vogelbeeren erscheinen spätere Förderungsmaßnahmen, im Versuch bis zur Altersstufe 30 beobachtet, noch lohnenswert. Ungeachtet der soziologischen Stellung und sofern vital können alle in Frage kommenden Vogelbeeren in die Maßnahmen mit einbezogen werden. In allen Altersstufen zeigten vor allem die zuvor beherrschten und unterdrückten Bäume die deutlichsten Wachstumsreaktionen.

### 4.3.3 Waldbauliche Behandlung

#### *Vogelbeere als vollwertiger Z-Baum*

Wenn die Vogelbeere in den Beständen nicht nur geduldet, sondern auch aktiv in die waldbaulichen Überlegungen einbezogen würde, könnte sie als stabiler, ökologisch und ökonomisch wertvoller Einzelbaum in den zukünftigen Hauptbestand integriert werden (LEDER 1997). HILLEBRAND (1998) empfindet die Vogelbeere als „*Gewinn an waldbaulichen Möglichkeiten*“ und als „*Herausforderung an das waldbauliche Können*“.

Allgemein muss aber leider festgestellt werden, dass erfahrungsgemäß bei der Pflege von Fichtenjungbeständen der Fokus des Wirtschafters nicht auf den Beimischungen von Weichlaubhölzern, wie z.B. der Vogelbeere und Birke liegt. Daher werden diese Baumarten in Einzelmischungen in der Regel schon in recht frühen Altersstadien durch die Hauptbaumart ausgedunkelt (PRIEN 1964). Auch wenn dieser Prozess häufig zu beobachten ist, liegen dazu keine konkreten Untersuchungen vor. In der Vergangenheit wurden die Weichlaubebäume als „forstliches Unkraut“ per Erlass oder Verfügung (MINISTERIUM FÜR LAND- FORST- UND Nahrungsgüterwirtschaft 1985) „bekämpft“, und dies oftmals auch mit chemischen Mitteln (BERGMANN 1965). Die bisher gesammelten Erfahrungen zur Einbeziehung von natürlich



angesamten Mischbaumarten, speziell Pionierbaumarten, sind relativ jung. Das Bekennen der Landesforstverwaltungen zum naturnahen Waldbau führt mittlerweile auch (wieder) zur größeren Duldsamkeit von Sukzessionen und den mit ihnen verbundenen Pionier- bzw. Vorwaldbaumarten. „*Allerdings müssen diese Abläufe bzw. Baumarten in die forstlichen, i.d.R. auf ein Klimaxstadium ausgerichteten Zielsetzungen eingebunden sein, was eine klare Absage gegenüber einem reinen Prozeßschutz bedeutet.*“ (KOCH 1997). MÜLLER (1999) gibt hinsichtlich der Mischungsanteile für die Vogelbeere eine deutlich progressive und konkrete Empfehlung. Demnach kann die Vogelbeere in den mittleren Lagen als Füll- und Treibholz dienen, in den höheren Lagen und Kammlagen *sollte sie als Nebenbaumart* bewirtschaftet werden. In diesem Zusammenhang kann auch erwartet werden, dass eine von Anfang an gut herausgepflegte Vogelbeere nicht nur bessere Wuchsbedingungen innerhalb des Fichtenbestandes erfährt, sondern auch eine zukünftige leichtere waldbauliche Weiterbehandlung durch mehr Stabilität und Vitalität ermöglicht.

### Konkurrenz

Einzelne eingemischte Vogelbeeren haben aufgrund des interspezifischen Konkurrenzdrucks der Fichtenkronen meist einen längeren, geraden und astfreien Schaft. Eine rasche natürliche Astreinigung wird durch diesen Seitendruck ebenfalls gefördert (PRIEN 1964). Hinsichtlich der Qualität scheinen diese Konkurrenzverhältnisse zunächst förderlich zu sein. Voraussetzung ist hier aber ein gleichmäßiger Konkurrenzdruck durch die umliegenden Fichten, so dass sich die Krone und auch der Stammquerschnitt der Vogelbeere möglichst symmetrisch entwickeln können. Die Kronen wirken in dieser Konkurrenzkonstellation aber oft auch sehr eingengt, dies konnte den Ergebnissen der Vitalitätsansprache der terrestrischen Inventur ebenfalls entnommen werden. Die Bäume zeigen hohe HD-Werte und neigen zur Instabilität, vor allem wenn sie durch alte Schälchäden Stammfäule aufweisen.

Die Verfasserin kann aus eigenen Beobachtungen berichten, dass Vogelbeeren in intraspezifischen Konkurrenzsituationen, d.h. in trupp- bis gruppenweiser Einmischung, eher zu einer geringeren Höhenentwicklung und Astigkeit neigen. Die Baumkronen sind in der Regel rund und der gesamte Baum ähnelt in der Morphologie einem Obstgehölz.

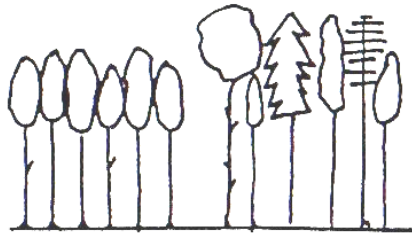
Hier setzen Überlegungen an, die Vogelbeeren besser in Trupps zu fördern, da diese stabiler erscheinen (HILLEBRAND 1997). Man sollte dabei auch davon ausgehen, dass aus einem Trupp oder einer Gruppe mindestens eine Vogelbeere mit entsprechendem Kronenvolumen im Laufe des Bestandeslebens für weitere waldbauliche Verwendungen überbleibt.

Die Arbeit von SCHÜTZ (1989) widmet sich dem Problem der Konkurrenz in Mischbeständen. SCHÜTZ (1989) behandelt grundsätzlich die Frage, ab wann eine Mischung waldbaulich sinnvoll ist. Eine „feine Baumartenmischung“ besteht für ihn aus „verträglichen“ Baumarten, d.h. die Baumarten haben einen ähnlichen Wachstumsgang. SCHÜTZ (1989) weist darauf hin: *„Wenn Bäume mit unterschiedlichem Wachstumsgang in einer Bestockung gemischt werden, potenzieren sich die negativen Wirkungen der Konkurrenz mit dem Höhenunterschied zwischen den Baumarten. Sie werden um so ausgeprägter, je lichtbedürftiger die zurückbleibende, anfänglich langsam wachsende Baumart ist, oder anders formuliert, je schattentoleranter sie ist.“* Dies würde in letzter Konsequenz wieder zur Entmischung führen. Diese Beobachtung würde der hier untersuchten Mischung von „Fichte und Vogelbeere“ eine ungünstige Konstellation bescheinigen. Dies wahrscheinlich weniger bezüglich der Lichtbedürftigkeit, sondern eher hinsichtlich der verschiedenen Wachstumsgänge.

SCHÜTZ (1989) unterteilt Mischungen hierarchisch nach „Hauptmischungen“ und „Untergeordneten Mischungen“ (Abb. 106). Wenn das Konkurrenzpotenzial der Baumarten sehr unterschiedlich ist, handelt es sich um eine ungleichwertige Mischung (SCHÜTZ 1989, WAGNER und FISCHER 2008). Die hier untersuchte Mischung lässt sich wahrscheinlich zwischen den Kategorien „Hauptmischung“ und „Untergeordnete Mischung“ einordnen. Natürlich sollten möglichst optimale („konfliktlose“) Mischungen vor dem Hintergrund der Optimierung von Waldfunktionen angestrebt werden, aber aus ökologischer Sicht ist jede Mischung vorteilhaft.

## a) HAUPTMISCHUNGEN

FLÄCHENWEISE      EINZEL



## b) UNTERGEORDNETE MISCHUNGEN

HAUPTBESTAND  
MIT NEBENBESTAND

ZEITMISCHUNG

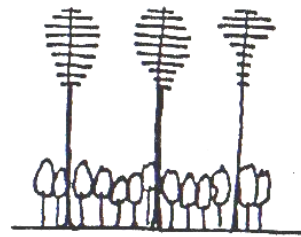
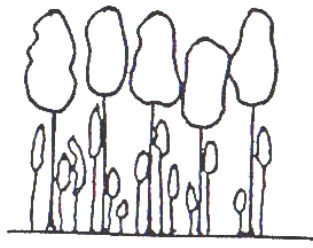


Abb.106: Unterschiedliche Hierarchie der Mischungen (aus SCHÜTZ, 1989)

Räumliche Mischung

Aus waldbaulicher Sicht ist der Erhalt einer Einzelmischung natürlich schwieriger als die Behandlung und Bewirtschaftung der Mischbaumart in flächiger Ausformung, wenn das Konkurrenzpotenzial der Baumarten sehr unterschiedlich und die Mischung nicht gleichwertig ist. Als „Gegenmittel zur Entmischung“ empfiehlt SCHÜTZ (1989) eine flächige Einbringung der Mischbaumarten. Je schlechter die Verträglichkeit zwischen den Arten sei, desto größer müsse die Ausformung in gruppen-, horst- oder gar bestandesweisen Mischungen geschehen.

Nach der Theorie bzw. Strategie der „Randzonenminimierung“ (KRISSEL und MÜLLER 1988) wäre es für die Mischungsregulierung am günstigsten „kleine Reinbestände“ zu schaffen, da man somit die Länge der Randzone einer Art minimiert. Die Randzone ist dabei die „Zone der Begegnung“ zwischen Bäumen gleicher und unterschiedlicher Art bei der „Auseinandersetzung um Raum“. Hier spielen im Falle der Mischungsregulierung vor allem die Kronenränder

der Bäume als Randzone eine Rolle. Die Verfolgung der Strategie der „Randzonenminimierung“ entschärfe die Konkurrenzprobleme von Baumartenmischungen bei der Pflege. Je mehr dieser Strategie Beachtung geschenkt würde, desto weniger intensiv müsse der Wirtschaftler bei folgenden Eingriffen steuernd in die Konkurrenzvorgänge zwischen den Arten eingreifen. Die angestrebten Mischungsanteile müssen davon nicht unbedingt beeinflusst werden. *„Zur Minimierung von Randzonenlängen innerhalb eines Bestandes ist es zum einen möglich, den Mischungsanteil einer Art in einer Fläche zu verringern, so dass zunehmend Reinbestandscharakter erreicht wird. Zum anderen ist es möglich, die beteiligten Arten in zunehmend größeren Reinbestandsparzellen innerhalb der Fläche zu konzentrieren, allerdings den Mischungsanteil insgesamt konstant zu halten, somit also lediglich die Mischungsform zu verändern.“* (WAGNER und FISCHER 2008).

Im Falle der Beimischung von Vogelbeeren in Fichtenbeständen treten sowohl Einzel- als auch flächige Mischungen auf, die beide Beachtung in den waldbaulichen Bestandesbehandlungen finden sollten. Die Vogelbeere neigt bei natürlicher Verjüngung häufig zu „geklumpeter“ Verteilung. Hier wird die gehäufte Samenablage durch Vögel und durch die hohe Samenanzahl je Frucht als Ursache vermutet (MÜLLER 1998, RASPÉ et al. 2000).

Die sächsische Staatsforstverwaltung legt in ihren aktuellen „Richtlinien zur Bestandespflege“ den Umgang mit dieser räumlichen Mischungseigenschaft der Vogelbeere als waldbauliche Option im Sinne eines Waldumbaus fest (SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN 2002): *„Baumgruppen und -trupps von Pionierbaumarten (z. B. Birke, Eberesche) können zu Pflegeeinheiten ausgeformt werden, [um] [...] ein künftiges Nutzungs- und Strukturierungspotenzial im Sinne des Waldumbaus dar[zustellen].“*

HILLEBRAND (1998) selbst empfiehlt aus seinen Erfahrungen die trupp- und gruppenweise Beimischung und gibt dabei als Anhaltsgröße für die Flächegröße die Formel  $d_{1,3} \times 25$  vor, so dass sich z.B. für einen Endbestandsbaum mit 40 cm BHD ein Truppdurchmesser von mindestens 8 m ergäbe.

Die Untersuchung von Konkurrenzverhältnissen von flächigen Vogelbeerenbeimischungen in Fichtenbeständen in trupp- und gruppenweiser Form hätte ein anderes Versuchsdesign erfordert. Hier wären neben den interspezifischen Konkurrenzmechanismen mit der Baumart Fichte auch intraspezifische Wirkungen innerhalb der Vogelbeerengruppen Untersuchungsgegenstand gewesen. Dies erfordert ein weitergehendes Versuchsdesign.

Nicht zuletzt stellt auch der alleeartige Anbau der Vogelbeere eine räumliche Mischungsvariante dar, welche in zeitlicher Hinsicht wiederum zu einer flächigen Mischung in angrenzenden Beständen und vor allem Freiflächen führen kann (PRIEN 1964).

### Zeitliche Mischung

Die Vogelbeere besitzt als Pionierbaumart einen spezifischen Wachstumsgang mit frühzeitigen Zuwachskulminationen und einer vergleichsweise geringen Lebensspanne im Gegensatz zu den Bäumen des Klimaxstadiums. Daraus resultieren bezüglich der waldbaulichen Behandlung und Einsetzbarkeit gewisse Grenzen, die es zu beachten gilt.

Die Vogelbeere kann sehr gut als Zeitmischung in Buchen- und Fichtenbeständen waldbaulich eingesetzt werden (HILLEBRAND und LEDER 1995, HILLEBRAND 1998). In Fichtenwaldgesellschaften der montanen Lagen ist die Vogelbeere am Generationswechsel der Fichte beteiligt und stellt so eine natürliche Variante der Zeitmischung dar (KORPEL 1995). Die Nutzung als Zeitmischung haben einige Landesforstverwaltungen als waldbauliches Ziel festgeschrieben (s. Ausführungen oben, HOFFMANN 2013).

### Durchforstungsstrategien

Das waldbauliche Experiment bezog sich allein auf die Förderung von Einzelmischungen, so dass allein für diese Mischungsform Handlungsempfehlungen gegeben werden können. Es zeigte sich nach dem vorliegenden Versuch hinsichtlich einer günstigen Durchforstungsstrategie für die Vogelbeere, dass je früher die Förderung erfolgt, umso stärker die Reaktionen des Einzelbaumes zu erwarten ist. Auch eine mäßige Freistellung kann schon ausreichende Zuwachsreaktionen hervorrufen und vor allem die Fruktifikationen anregen. Eine mäßige Freistellung entspricht in etwa der Entnahme von 2 Bedrängern, wenn die Vogelbeeren unter niedriger Konkurrenz stehen. In älteren Altersstufen, ab ca. 30 Jahre, sollten bis zu 3 Bedrängern entnommen werden. Einer „niedrigen Konkurrenzsituation“ im Versuch entsprach in etwa die hier „modifizierte“ soziologische Stellung „mitherrschend“ nach ASSMANN (1961), d.h. die Bäume sollten über 70 % der oberen Bestandeshöhe erreicht haben. Im waldbaulichen Experiment zeigten aber auch Bäume geringerer soziologischer Stellung noch ausreichende Wuchsreaktionen. Hier war die Entnahme von in der Regel mehr als 3 Bedrängern notwendig. Bei zu weiten Auflichtungen besteht aber die Gefahr von Stabilitätsverlusten bei der Vogelbeere, so dass 3 zu entnehmende Bedränger als Obergrenze angesehen werden können. Dies führt in den Fichtenbeständen zu einer kontinuierlichen Unterbrechung des Kronenschlusses,

welcher aber für die Vogelbeere gehalten werden sollte und in der Behandlungsstrategie als Richtwert verankert sein sollte.

Auch ältere Bäume waren im Experiment noch vergleichsweise reaktionsfreudig, so dass hier keine Scheu vor Förderungsmaßnahmen bestehen darf. ELFLEIN et al. (2008) konnten ebenfalls von positiven Wuchsreaktionen sehr alter Elsbeeren (zw. 80 und 100 Jahren) auf Freistellungen berichten. ELFLEIN et al. (2008) resümieren: *„Die Befunde dieser Arbeit sollen [...] ermutigen, auch ältere Elsbeeren, die trotz starker Konkurrenz überlebt haben, dauerhaft und kräftig zu fördern, um so zum Erhalt dieser Baumart und ihrer forstwirtschaftlichen Nutzung beizutragen.“*

Dies kann an dieser Stelle auch so für Empfehlungen zur Behandlung der Vogelbeere übernommen werden. Der Verfasserin ist allerdings häufig von örtlichen Wirtschaftlern berichtet worden, dass gerade bei älteren Vogelbeeren (in Fichtenbeständen ab dem Alter 60) bei Freistellungen die Gefahr eines Bruchs besteht, wenn diese durch vergangene Schäleinwirkungen Schaden erlitten haben und eine Stammfäule aufweisen. Hier sollte dann darauf geachtet werden, dass möglichst keine Fichten entnommen werden, die aus statischer Sicht eine stützende Funktion haben.

Allgemein sollte bei den Freistellungen immer auf eine „runde“ bzw. symmetrische Kronenausformung geachtet werden, da die Vogelbeere zu Phototropismus und somit auch zu exzentrischen Stammausformungen neigt (PRIEN 1964, HILLEBRAND 1998).

Auch dem Phototropismus kann begegnet werden, wenn die Vogelbeeren eine frühzeitige und wiederkehrende Förderung erfährt. Im Versuch zeigte sich vor allem die Pflege der Vogelbeere in den Dickungsstadien der Fichtenbestände als effektiv, da hier aufgrund der noch nicht so stark divergierenden Wuchsverhältnisse der beiden Baumarten die Vogelbeere auch von einer Dickungspflege profitieren kann, ohne den Fokus allein auf die Pionierbaumart zu legen. Der Wirtschaftler kann hier leicht einen Arbeitsauftrag stellen, der neben der Pflege der Fichte einfach das „Belassen einzelbaumweise eingemischter Vogelbeeren“ formuliert. Hinsichtlich des Ziels der Qualitätsentwicklung der Vogelbeeren sollte ein Pflegeauftrag die Anweisung „runde Kronenausformung der Vogelbeere durch Entnahme von entsprechenden Fichtenbedrängern“ enthalten. Bei älteren Vogelbeeren sollte der Blick bei der Pflege dann vermehrt auf die Lichtkrone gerichtet werden, um gleichzeitig die natürliche Astreinigung durch einen leichten Seitendruck zu erhalten.

Hinsichtlich der Pflegintervalle konnte den Untersuchungen des waldbaulichen Experimentes entnommen werden, dass schon nach 3 Jahren die gesteigerten Zuwachsreaktionen nach einer

Freistellung wieder nachlassen, so dass spätestens nach 5 Jahren ein erneuter Eingriff notwendig wäre. Dies entspricht auch den Aussagen PRIENS (1967), welcher zur Pflege von Vogelbeerenvorwäldern ein Pflegeintervall von 5 Jahren empfiehlt.

Auch ELFLEIN et al. (2008) geben zur Freistellung von älteren Elsbeeren einen ein- bis besser zweimaligen Eingriff im Jahrzehnt vor. WOOD et al. (1996) empfiehlt für die 20-jährigen Gelbbirken ein Pflegeintervall von 10 Jahren.

Eine zweite Durchforstung im Jahrzehnt, welche nur den einzelbaumweise eingemischten Vogelbeeren Beachtung schenken und den restlichen Bestand unberührt ließe, wäre wünschenswert. Es müsste hier geprüft werden, ob ein Mehraufwand einem Mehrwert entgegengestellt werden könnte. Andererseits zeichnen sich Tendenzen in den Forstverwaltungen ab, die Fichtenbeständen auf dem Weg zu einem strukturierten Dauerwald zweimal im Jahrzehnt zu pflegen (THÜRINGENFORST 2015, mündl. Mitteilung). Dies würde der Beachtung der Vogelbeere und ihrer möglichen Förderung entgegenkommen.

### Wildmanagement

Es ist davon auszugehen, dass das Potential der Vogelbeeren in den Wäldern noch größer wäre, wenn sie nicht durch permanenten Wildverbiss eingedämmt würden (RASPÉ et al.2000). Vielfach läuft die Vogelbeerenverjüngung in den Beständen zunächst zahlreich auf, oftmals „verschwindet“ sie dann aber wieder. Dies kann auch standörtliche Ursachen haben, wird aber vorwiegend dem Wildverbiss zugeschrieben. Wenn die Vogelbeere in die verholzte Phase eintritt, setzt auch der Verbiss ein (LINDER et al. 1997, zit. in RASPÉ et al.2000). Zudem besiedelt die Vogelbeere bevorzugt Lücken, Säume und Kahlflächen und somit typische „browsing habitats“, welche vom Wild viel und gerne frequentiert werden (KUIJPER et al. 2009; zit. in MYKING et al. 2013).

Nicht nur Verbiss und Schäle können ein waldbauliches Problem darstellen, welches durch Wild verursacht wird und hinsichtlich der Mischungsanteile von Vogelbeeren negative Konsequenzen nach sich zieht. So berichten HEROLDOVÁ et al. (2003) von durch Rotwild verursachtem Stammbruch in Vogelbeerenverjüngungen in den tschechischen Beskiden. Dieser Stammbruch sei eine neuartige Beobachtung und untypisch für Rotwild. Der Bruch würde durch den Versuch an die Blätter zu gelangen verursacht, und tritt in derart hohem Umfang auf, dass eine Stagnation oder gar Abnahme der Vogelbeerenverjüngung durch Kümmerwuchs und ausbleibende Fruktifikation zu erwarten sei.

MILLER et al. (1982) bescheinigen der Vogelbeere eine hohe Toleranz gegenüber Schäden durch Schälwunden. Oberflächliche Verwundungen würden innerhalb von 28 Tagen überwältigt (in der Vegetationsperiode). Eine Deposition von Suberin zum Zellwiederaufbau konnte schon nach 7 Tagen nachgewiesen werden. Durch wiederholte Schälwunden dringen Fäulepilze in das freigelegte Kambium der Vogelbeere ein. Die Vogelbeere besitzt zwar ein vergleichsweise hartes Holz, sie ist aber sehr empfindlich gegenüber holzzersetzenden Pilzen (SACHSSE et al. 1988). Stammfäulen sind die Folge, welche sich ausgehend von der Schälstelle im Stamm nach oben und unten fortsetzen. Der waldbauliche Wert der Vogelbeeren wird hinsichtlich Vitalität, Qualität und Stabilität dadurch stark vermindert.

MÜLLER (1998) empfiehlt aus seinen Untersuchungen, dass schon geschälte und beschädigte Bäume nicht aus den Beständen entfernt werden sollen. Das Wild würde diese erneut annehmen. So könne man weitere Schäden von anderen Zielbaumarten im Bestand abwenden. Die verbliebenen geschädigten Bäume würden im Bestandesaufbau nicht stören. Allgemein könnten Schälwunden bis 1/3 des Stammumfangs aufgrund der guten Regenerationsfähigkeit der Vogelbeere toleriert werden.

Hinsichtlich des Verbisses konnten MYKING et al. (2013) keine Mortalität feststellen und resümieren, dass die Vogelbeere widerstandsfähig („resilient“) gegenüber Verbiss sei. Nach einem starken Verbiss zeige sie sogar erhöhtes Wachstum. In Anbetracht eines Wachstums von 0,5 m im Jahr würde Vogelbeere 6 Jahre brauchen, um aus dem Äser zu entwachsen. Nach Verbiss folge ein anderes Wachstumsmuster. Die apikale Dominanz wird unterbrochen und das laterale, sympodiale Wachstum würde gefördert. Dies halte die Vogelbeere für einen längeren Zeitraum in Verbisshöhe. Die Anfälligkeit für wiederholten Verbiss sei dann groß, da sich mehr Seitenzweige in Äserhöhe befinden (DE JAGER und PASTOR 2010). Wegen des sympodialen Wachstums wird bei den genannten Autoren der Umfang der Wachstumseinbuße auf 3-8 Jahre eingeschätzt.

Die Verbissbelastung muss sicherlich je nach Standort unterschiedlich bewertet werden. Innerhalb Fichtenbeständen fallen Vogelbeeren bei zu starker Verbissbelastung in einen kümmerlichen Wuchs und es kann gerade bei trockener Witterung vermutlich auch durch die Vorschädigung zu Ausfällen kommen.

Ein angepasstes Wildmanagement ist aus den oben genannten Gründen dennoch unerlässlich, wenn das waldbauliche Ziel des Erhalts der vitalen, stabilen und qualitativ zufriedenstellen-



den Vogelbeereneinzelmischung erreicht werden soll. In Rotwildeinstandsgebieten wird die Schälgefahr nie wirklich abzuwenden sein, daher sollten die Vogelbeeren-Z-Baum-Anwärter mit einem Schälschutz versehen werden. Gute Erfahrungen wurden in den Betrieben mit Schälmanchetten und chemischen Langzeitschälschutzmitteln gemacht (ECKHARDT 2014, mündl. Mitteilung<sup>10</sup>). Bei den übrigen Bäumen kann dann ein Schälschaden im Sinne der Ausführungen von MÜLLER (1998) als Ablenkung von den Zielbäumen toleriert werden. Auch PRIEN und LEMME (1997) empfehlen nur eine vereinzelte Verteilung von Schälschutzmaßnahmen, um noch Nahrungsquellen für das Wild zugänglich zu lassen.

---

<sup>10</sup> R. Eckhardt, zuständiger Revierleiter im Forstrevier Schneekopf des Forstamtes Oberhof, ThüringenForst

#### 4.3.4 Waldumbau

Bei den Waldumbauempfehlungen aus dem Jahr 1999 (SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN 1999) ist die Vogelbeere unter den „wichtigen Waldumbaubaumarten im Mittelgebirgsraum“ noch nicht zu finden. Sie steht aber zu diesem Zeitpunkt schon auf der Liste der weiteren natürlich ankommenden Weichlaubbaumarten, welche zu berücksichtigen sind. In Form einer vorwaldartigen Bestockung wird die Vogelbeere aber schon „als wesentliches Element im Prozess der Wiederherstellung naturnaher Ökosysteme“ in Immissionschadgebieten genannt. Hier werden dann Empfehlungen für einen Umbau dieser Vorwälder beschrieben, da sich diese speziell in den Schadgebieten aufgrund der extremen Witterungsbedingungen nach 30 bis 40 Jahren allmählich wieder auflösen würden (z.B. durch Bruch- und Eisanhang). Dies sei bereits im Höhenbereich von 3 bis 4 m empfehlenswert.

Eine explizite Beachtung der Vogelbeere erfolgte aber zu dieser Zeit schon im „LöWE-Erlass“ der niedersächsischen Landesforstverwaltung von 1994. Dieser Erlass bildete somit auch eine gesetzliche Grundlage, die Vogelbeere in einen waldbaulichen Prozess einzubinden (STÄDLER 1998). Geführt wird sie dort im „Waldentwicklungstyp 54-Fichte-Eberesche“ mit einem geforderten Mischungsanteil von 20-40 % zugunsten der Eberesche.

##### Ökologischer Waldumbau

Der vorliegende Versuch zeigte, dass die Vogelbeere aufgrund ihrer waldbaulichen und ökologischen Eigenschaften gerade als Baumart für den ökologischen Waldumbau empfohlen werden kann. Die Vogelbeere findet sich gerade in Fichtenreinbeständen in der Regel auf natürliche Weise ein. Die entsprechende Förderung dieser natürlich angesamten Vogelbeeren führt zu einer ökonomischen und ökologischen Aufwertung der Fichtenreinbestände, und kann als extensives Waldumbauverfahren bezeichnet werden. Nach BAUMGARTEN und VON TEUFFEL (2005) gehört dieses Verfahren zur Maßnahme der „Überführung“ im Prozess des ökologischen Waldumbaus. Bei ROLOFF und GRUNDMANN (2008) wird die Vogelbeere als geeignete (Neben-)Baumart zur Verwendung unter den Bedingungen des Klimawandels genannt.

##### Einsatz im Funktionsumbau und Nachhaltsumbau

Eine weitere Einteilung der waldbaulichen Behandlung der Vogelbeere im Sinne eines Funktions- und Nachhaltsumbaus nach WAGNER (2007 und 2008) ist ebenfalls möglich.

Zur Verwendung im Funktionsumbau, welcher eine „*optimale aktuelle Funktionenerfüllung für die heutige Generation*“ anspricht, muss die Vogelbeere in entsprechend hohen Mischungsanteilen frühzeitig und konsequent gepflegt werden. Die Maßnahmen müssen hier schon im Dickungsstadium ansetzen, um die Mischungsanteile entsprechend gestalten und halten zu können. Ein angepasstes Wildmanagement oder entsprechende Schutzmaßnahmen sollten die waldbaulichen Strategien flankieren. Kann ein ausreichender Mischungsanteil durchgehend gepflegt werden, garantiert dieser auch Verjüngungspotentiale für die nachfolgende Generation.

Die Vogelbeere wird häufig als geeignete Baumart für eine Verwendung als Zeitmischung genannt. Die Bewirtschaftung von Zeitmischungen ist für WAGNER (2008) eine dynamische Überführungsstrategie im „zukunftsfähigem Waldumbau“, welche sich an neue Bedingungen anpassen kann. Ein Vorwald aus Pionierbaumarten kann nach WAGNER (2008) auch eine derartige Zeitmischung darstellen. Dabei spielt hier aber vor allem in der Argumentation die zeitliche Komponente eine Rolle. Da Vorwälder verhältnismäßig schnell zu begründen sind und unter ihrem Schutz zukunftsfähige Bestockungen angebaut werden können, sind sie auch ein probates Mittel zur Erfüllung waldbaulicher Zielvorstellungen des Funktionsumbaus.

Die Wiederbewaldungskonzepte nach dem Sturmschadereignis „Kyrill“ der Länder (LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NORDRHEIN-WESTFALEN 2007) beinhalten wiederum auch vermehrt das Ausnutzen der Sukzessionsprozesse und der Vorwaldbildung.

Die Verjüngungseigenschaften und Wuchscharakteristika der Vogelbeere legen aber auch einen Schwerpunkt in der Verwendung für waldbauliche Strategien des Nachhaltsumbaus. Sind genügend Verjüngungsnischen wie Lücken und Freiflächen vorhanden, kann die Vogelbeere bei angeregter Fruktifikation der Altbäume nachhaltig diese Refugien durch natürliche Verjüngung erschließen und in ausreichender Dichte besiedeln. Somit stellen solche „Verjüngungsrefugien“ keine Störungen in den Waldstrukturen dar, sondern sie sollten vielmehr als Bausteine eines ökologischen Waldumbaus im Sinne der Strategie des Nachhaltsumbaus angesehen werden.

Aber auch ihre Fähigkeit zur Bildung von „seedlings banks“ im Sinne einer vegetativen Vermehrung (s. Ausführungen zum ökologischen Nutzen nach ŻYWIEC und HOLEKSA 2012) stellt eine nachhaltige Fähigkeit dar, um sich in Fichtenaltbeständen längerfristig zu behaupten und diese nach Störungen wieder zu besiedeln.

Der aktive Anbau der Vogelbeere als Alleebaum stellt ebenso eine Nachhaltumbaustrategie dar. Die Vogelbeere findet auf diesen linienförmigen Straßen- bzw. Wegsäumen ideale Wuchsbedingungen und kann sich davon ausgehend in angrenzende Bestände und / oder Freiflächen natürlich verjüngen (PRIEN 1964, ERLBECK 1998). Im Erzgebirge sind natürlich verjüngte Vogelbeeren oftmals in Feldgehölzen vorhanden und da vor allem auf alten Steinwällen. Befinden sich diese Refugien in Waldnähe, stellen diese ebenfalls eine Verjüngungsquelle für angrenzende Waldgebiete dar. Weiterhin findet die Vogelbeere auch vielfache Verwendung bei der Waldrandgestaltung (ERLBECK 1998, KOCH 1998) und ist eine geeignete Baumart auf Standorten des Hochwasserschutzes (HARTMANN 2010).

#### 4.3.5 Ausblick

Bisher hat die Vogelbeere kaum einen verbindlichen Eingang in die Waldbaukonzepte und Empfehlungen zu Bestandeszieltypen der Forstverwaltungen in den Ländern gefunden (HOFFMANN 2013). Anhand der Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur (BMEL 2014) ist ersichtlich, dass aufgrund ihrer Vogelbeerenanteile vor allem die „Mittelgebirgsländer“ Nordrhein-Westfalen, Thüringen, Sachsen und Bayern Potentiale besitzen, die waldbaulich einbezogen und genutzt werden können. Für den Staatswald Thüringen existiert in diesem Zusammenhang eine (vorbildliche) Forderung von WEBER (2003), den Vogelbeerenanteil auf 2 % zu erhöhen.

Die Vogelbeere sollte vor dem Hintergrund des prognostizierten Klimawandels verstärkt eine Integration in Konzepte des ökologischen Waldumbaus erfahren. Der Waldbau wird mit zukünftigen Planungsunsicherheiten umgehen müssen (WAGNER UND FISCHER 2007). Spätestens die nächsten zu erwartenden klimatischen Großereignisse, wie z.B. Stürme oder Trockenheit, werden zu weiterem Umdenken und entsprechenden Maßnahmen drängen.

Einerseits werden aktive Waldumbaumaßnahmen mit klimaangepassten Baumarten seitens der Forstbetriebe und Naturschutzverwaltungen notwendig sein. Andererseits werden sich aber auch durch die sich verändernden Bedingungen auf natürlichem Wege klimaangepasste Baumarten einfinden. Die planvolle Nutzung dieser natürlichen und bezüglich des Standorts anspruchslosen Mischbaumarten kann eine Lösung im Umgang mit den Unsicherheiten darstellen. Diese sollten ebenfalls in die aktiven Maßnahmen einbezogen werden. Die Beteili-

gung von Pionierbaumarten wird „*auf verschiedenen Ebenen der Forstbetriebe*“ empfohlen (WAGNER und FISCHER 2007). Dies ist die Chance der Vogelbeere.

## 5 Zusammenfassung

### Hintergrund und Ziele der Arbeit

Die vorliegende Arbeit konnte im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojektes „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft (1998-2003)“ erstellt werden. Dieses Vorhaben hat die bundesweiten Forderungen und Zielvorstellungen der Landesforstverwaltungen aufgegriffen, die nicht standortgemäßen, naturfernen und instabilen Nadelbaumreinbestände umzubauen und den Anteil an Mischbeständen in den Forstbetrieben deutlich zu erhöhen. Neben ökonomischen Zielen sollte der Waldumbau vor allem auch ökologische Belange berücksichtigen. Dies wurde durch entsprechende Forschungsschwerpunkte vom BMBF wissenschaftlich begleitet.

Die Vogelbeere (Gemeine Eberesche, *Sorbus aucuparia* L.) ist aufgrund ihrer hohen klimatischen und standörtlichen Anpassungsfähigkeit in den Mittelgebirgslagen Europas eine der häufigsten Nebenbaumarten in Fichtenwaldgesellschaften und künstlichen Fichtenforsten. Mit der vorliegenden Arbeit sollte geprüft werden, wie einzelbaumweise eingemischte Vogelbeeren, welche sich natürlich angesamt haben, frühzeitig in die Behandlung von Fichtenjungbeständen einbezogen werden können. Die Vogelbeere wird somit für eine erhebliche Dauer des Bestandeslebens – mindestens aber bis zum Zeitpunkt ihrer möglichen natürlichen Verjüngung – als ein vitales Bestandesglied im Sinne eines ökologischen Waldumbauverfahrens angesehen. Ziel war dabei die optimale Einzelbaumentwicklung der Vogelbeere hinsichtlich ihrer Dimension und Qualität, vor allem aber ihrer Vitalität.

### Methoden

Grundlegend ist durch eine Abfrage in der Forsteinrichtungsdatenbank (FESA) für den Landeswald Sachsens das Flächenpotential an Fichtenjungbeständen bis zum Alter 50 Jahre in den mittleren Lagen erfasst worden, in denen natürlich angesamte und einzelbaumweise eingemischte Vogelbeeren vorkommen. Mit Hilfe einer terrestrischen Inventur wurden die ausgewählten Bestände stichprobenartig aufgesucht und dabei die vorkommenden Vogelbeeren hinsichtlich Dimension, Qualität, Vitalität und Schäden untersucht.

Für ein waldbauliches Experiment sind weiterhin Fichtenjungbestände im Alter 16, 19, 26 und 32 Jahre auf Standorten mäßiger Trophie in den mittleren Lagen des sächsischen Forstbezirkes Bärenfels ausgewählt worden. In diesen Beständen wurden einzelbaumweise einge-

gemischte Vogelbeeren unterschiedlicher soziologischer Stellung in den drei Varianten „keine“, „mäßige“ und „starke“ Freistellung gefördert. Die Zuwachsreaktionen verschiedener Baumkompartimente der untersuchten Vogelbeeren wurden in Abhängigkeit der Faktoren Alter, Freistellungsvariante und Konkurrenzsituation analysiert. Für einige Messungen war es notwendig dem Versuchsdesign auch Bäume destruktiv zu entnehmen.

#### Ergebnisse der Potentialerfassung

Insgesamt wurden ca. 700 ha Fichtenjungbestände erfasst, in denen die Vogelbeere einzelbaumweise in den Oberstand eingemischt war oder als weitere Baumart erwähnt wurde. Das durchschnittliche Mischprozent der Vogelbeere im Oberstand betrug ca. 16%. Die terrestrische Inventur zeigte, dass in den sehr jungen und kleinflächigen Beständen (mit bis zu 4 ha Größe) das Vorkommen der der Vogelbeeren am höchsten ist. Die Bäume sind dort zwar vor allem durch Mehrstämmigkeit (Garbenwuchs) gekennzeichnet, dennoch konnte bei den untersuchten Bäumen überwiegend eine gerade Stammform angesprochen werden. In den älteren Beständen stieg dann der Anteil der einschnürigen Stämme und Gabelungszwiesel, und zunehmend wurde die soziologische Stellung als „beherrscht“ und „unterdrückt“ für die Vogelbeeren angesprochen. Die erfassten Schälsschäden fielen entgegen den Erwartungen vergleichsweise gering aus. Merkliche Schälsschäden wurden erst in den beiden ältesten Fichtenaltersklassen angesprochen und diese nur als gering eingestuft. Die Einschätzung der Vitalität der Vogelbeeren mit Hilfe des baumartenunabhängigen Kronenanspruchsschlüssels nach ROLFF (2001) ergab in allen betrachteten Fichtenaltersklassen überwiegend eine geschwächte bis merklich geschwächte Vitalität.

#### Ergebnisse des waldbaulichen Experimentes

Die Ergebnisse des waldbaulichen Experimentes zeigten, dass die Wachstumsreaktionen der Vogelbeeren je nach betrachteter Fichtenaltersstufe unterschiedlich sind. Je früher eine Förderung erfolgt, umso stärker sind die Reaktionen des Einzelbaumes.

#### Stamm:

Die freigestellten Bäume reagierten deutlich mit gesteigertem relativem BHD-Zuwachs, wobei die Kategorie „mäßige Freistellung“ am Ende der Beobachtungsperiode tendenziell die höchsten Werte besaß und dieser Zuwachs mit zunehmender Fichtenaltersstufe abnahm. Jahringanalysen an Stammscheiben von entnommenen Probestämmen zeigten, dass die gesteigerte Zuwachsrate des Dickenwachstums nach 3 Vegetationsperioden wieder nachlässt. Das Hö-

henwachstum wurde in jeder beobachteten Fichtenaltersstufe und Konkurrenzsituation nicht signifikant durch die angewendeten Maßnahmen beeinflusst. Insgesamt zeichneten sich alle Probebäume durch hohe HD-Werte (im Mittel 138) aus, nur die Vogelbeeren der Fichtenaltersstufe 19 besaßen vergleichsweise stabile Werte unter 100.

#### Kronendimension

Die freigestellten Vogelbeeren entwickelten in allen betrachteten Altersstufen deutlich erweiterte Kronenschirmflächen und einen signifikanten Kronenradiuszuwachs. Die Ergebnisse der Gesamtblattmasseschätzungen zeigten für Vogelbeeren der Fichtenaltersstufe 26 deutliche Tendenzen, die belegen, dass geförderte Bäume mehr Blattmasse pro Baum ausgebildet haben als nicht geförderte Bäume.

#### Blüte und Fruktifikation

Die Anzahl der fruktifizierenden Bäume stieg von 41 % im Jahr 2001 auf 81 % im Jahr 2003, wobei die Stichprobe im Jahr 2003 um 17 Bäume durch destruktive Beprobungen reduziert gewesen ist. Es zeichnete sich ein Trend zum Anstieg der Fruchttrockenmasse je Vogelbeere in Abhängigkeit von der Freistellungsvariante ab, wobei stärker freigestellte Bäume mehr Fruchtmasse produzierten, als mäßig freigestellte Bäume ( $p = 0,029$ ).

#### Wurzel

Für einen mittleren Probebaum von ca. 5 cm BHD wurde eine Gesamtfinwurzelmasse von ca. 202 g ( $R^2 = 0,30$ ) und eine maximale horizontale Feinwurzelausbreitung von etwa 8 m ermittelt.

#### Oberirdische Allokationsmuster der Vogelbeeren

Die höchsten mittleren Biomasseanteile an der gesamten oberirdischen Biomasse der Bäume hatte jeweils das Kompartiment „Stamm“, mit Anteilen zwischen 67 und 86 % über alle betrachteten Versuchsvarianten. Darauf folgen bei fast allen Versuchsvarianten die Biomasseanteile der Äste aus der Lichtkrone (ca. 5,5 bis 15,5 %). Die Blattbiomasse nimmt am Gesamtbaum einen verhältnismäßig geringen Anteil ein (zwischen 3,1 und 12,4 % über alle Varianten). Die jüngeren Bäume der Fichtenaltersstufe 16 hatten über alle Versuchsvarianten verhältnismäßig hohe Blattmasseanteile im Vergleich zu den Bäumen der Fichtenaltersstufe 26. Insgesamt hat die starke Freistellung tendenziell das Allokationsverhältnis zugunsten der Ast-



biomasse verschoben. Die älteren Bäume bildeten weniger Blattbiomasse im Vergleich zur Stammbiomasse.

#### Die Bedeutung der Vogelbeere für den ökologischen Waldumbau

Einzelbaumweise eingemischte Vogelbeeren können als ideale Mischbaumart für einen ökologischen Waldumbau, speziell in jungen Fichtenreinbeständen, angesehen werden. Die Vogelbeere findet sich auf natürlichem Wege in diesen Beständen ein, wenn eine ausreichende Präsenz an fruktifizierenden Altbäumen gewährleistet ist. Um sie als wertvolle Zeitmischung zu erhalten, muss sie aber als eigenständiger Z-Baum Eingang in die Waldbaustrategien der Fichtenjungbestände finden, indem sie frühzeitig und regelmäßig gefördert wird. Ein passendes Wildmanagement sollte dabei Schäden an den Bäumen weitestgehend vermeiden, welche die Qualität und Vitalität, und somit den Erhalt der Vogelbeeren, nachweislich gefährden.

Aus ökologischem Blickwinkel erfahren Standort, Fauna und Flora der Fichtenreinbestände durch die Präsenz geförderter und somit vitaler Vogelbeeren eine Aufwertung. Die freigestellten Bäume produzieren höhere Blattbiomassen, die nachweislich zu einer Verbesserung der Humusaufgabe führen, und von gesteigerten Fruktifikationsraten können Insekten und Säugetiere profitieren. Eine erhöhte unterirdische Wurzelaktivität und entsprechende Bodenmelioration wird zudem angenommen.

Wenn geeignete Verjüngungsnischen in näherer Umgebung der Einzelbäume existieren, kann mit einer konsequent und regelmäßig geförderten Vogelbeere auch dem Nachhaltumbau für die Gestaltung von zukünftigen Bestandsgenerationen gedient werden. Weiterhin kann sie als eine geeignete Baumart hinsichtlich der Gestaltung eines Risikomanagements nach Störungen und Katastrophen angesehen werden, da sie aufgrund ihrer Eigenschaften für eine rasche Wiederbewaldung sorgt. Vor dem Hintergrund eines prognostizierten Klimawandels stellt sie zudem mit ihrer standörtlichen Anspruchslosigkeit eine geeignete Mischbaumart für zukünftige Bestockungen dar.

Die vorliegende Arbeit konnte zeigen, dass das Wuchspotential der Vogelbeere in bisherigen Untersuchungen und daraus resultierenden Erkenntnissen unterschätzt wurde. Konsequent gepflegte Vogelbeeren ohne Wildschäden existieren kaum und konnten somit kaum untersucht werden. An dieser Stelle besteht weiterer Forschungsbedarf, welcher auf längerfristigen Versuchsaufbauten basieren sollte.

## 6 Summary

### Background and Scope

The present work is part of the joint research program „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft (1998-2003)“ which was funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF). The program acted on nationwide requests and formulated goals of federal forest administrations to convert artificial and instable conifer stands unsuited to the site and to significantly increase the portion of mixed populations. Besides economic goals the conversion measures primarily were to consider ecological needs. These were assured by scientific supervision by the BMBF in respective focal programs.

Rowan (*Sorbus aucuparia* L.) exhibits high climatic and habitational adoptability. Therefore, it is a major secondary tree species in Europe's average mountain ranges both in natural and artificial spruce forests.

This work aimed to investigate how naturally seeded single tree admixtures of rowan can preciously be integrated into the management of young spruce stands. By rowan is viewed as a vital member of stand for a considerable part of the stand's life-cycle in the sense of natural forest conversion, at least until its potential natural rejuvenation. The major goal in this approach was an ideal single tree development of rowan with respect to dimension, quality and, above all, its vitality.

### Methods

As a basis, the areal potential of young spruce stands aged up to 50 years in the mid altitudinal ranges containing naturally seeded single tree admixtures of rowan was determined by querying the forest inventory system database of the Federal Forest of Saxony (FESA). Selected stands were visited at random in the frame of a terrestrial inventory and found rowans were examined with respect to dimension, quality, vitality and damage.

Furthermore, young spruce stands in the age of 16, 19, 26 and 32 years at sites of moderate trophic level at mid-altitude of the Saxon forestry district Bärenfels were selected for a silvicultural experiment. In these stands single tree admixtures of rowans differing in sociological situation were supported by either no, moderate or strong thinning. Growth responses of different tree compartments of the examined rowans were analyzed in relation to the factors age, thinning variant and competition. For some measurements destructive removal of trees from the experimental design became necessary.

### Results of the potential assessment

In total, approx. 700 ha of young spruce stands containing rowan as single tree admixtures in the overstorey or as additional tree species records were registered. The average percentage of mountain as in the overstorey was approx. 16 %. The terrestrial inventory demonstrated that very young stands with small plot sizes (up to 4 ha) exhibit the highest occurrence of rowan. Even though trees are mainly characterized by several secondary trunks here, straight-shaped stems could be found in the majority of examined individuals. In older stands the percentage of constricted and bifurcated stems raised and sociological position of the rowan trees was increasingly determined as “dominated” and “repressed”. Recorded stripping damage was low in contrast to expectations. Notable stripping damage was only found in the two oldest age classes of spruce and was determined as low. The vitality assessment of the rowans using the tree species independent crown assessment method according to ROLOFF (2001) resulted predominantly in a weakened to substantially weakened vitality.

### Results of the silvicultural experiment

Results of the silvicultural experiment demonstrated the growth reactions of rowan differ depending on the age class of spruces under investigation. The earlier crown release is initiated the stronger are the reactions of a single tree.

### Stem

Released trees considerably reacted by enhanced increment of relative diameter at breast height with the category of “moderate thinning” in direction showed highest values at the end of the observation period while this increment decreased with increasing age class of the spruces.

Tree-ring analysis of stem disks from removed individuals revealed that the enhanced rate of diameter growth decreased again after 3 vegetation periods. Vertical growth was not significantly influenced by the taken measures in any of the spruce age classes or competitive situations under investigation. Overall, all trees under investigation were characterized by high height to diameter ratios (mean of 138) with only rowans of age category 19 exhibiting relatively stable values below 100.

### Crown dimension

Released rowans developed markedly expanded crown areas in all investigated age-classes and a significantly elevated increment in crown diameter. Results of the total leaf biomass

estimations revealed clear tendencies for rowans in the spruce age category 26. These prove the supported trees having developed more leaf biomass per individual as non-supported.

#### Flower and fructification

The number of fructifying trees rose from 41 % in 2001 to 81 % in 2003 whereas the sample size was reduced by 17 in 2003 by destructive sampling. A tendency of increased dry fruit mass per rowan berry depending on the release variant could be seen with stronger released trees producing more fruit mass than moderately released ones ( $p=0.029$ ).

#### Root

For an average sample tree of approx. 5 cm breast height diameter a total hair root mass of approx. 202 g ( $R^2 = 0.30$ ) and a maximum horizontal hair root distribution of approx. 8 m was determined.

#### Aboveground allocation patterns of rowan

Highest mean portions of overall aboveground biomass of the trees were assigned to the stem compartment with percentages ranging from 67 to 86 % throughout all experimental variants. These were followed by the biomass portions of branches from the light crown (approx. 5.5 to 15.5 %). The leaf biomass accounts for a comparatively low proportion of the tree (between 3.1 and 12.4 % throughout all variants). The younger trees of spruce age category 16 had relatively high portions of leaf biomass as compared to trees of spruce age category 26. Altogether the strong release shifted the allocation pattern in favor of the branches biomass. Older trees developed less leaf biomass compared to stem biomass.

#### Importance of rowan for ecological forest conversion

Single tree admixtures of rowan can be considered ideal for ecological forest conversion, especially in young spruce stands. Rowan naturally adapts to these stands if a sufficient presence of fructifying, old trees is ensured. To preserve it as valuable temporal mixture, it has to make its way into forestry planting strategies for young spruce stands as an autonomous future tree by being receiving early and regular support. Associated wildlife management should as far as possible avoid damage of the trees endangering quality and vitality and by that preservation of rowans.

From an ecological perspective the site, fauna and flora of pure spruce stands experience a revaluation through the presence of supported and therefore vital rowans. The released trees produce higher amounts of leaf biomass demonstrably leading to an amelioration of the humus layer and insects and mammals can profit from enhanced fructification rates. Furthermore, an increased underground root activity and related soil melioration is assumed.

If suitable regeneration niches exist nearby the single trees, consequently and regularly supported rowans can as well serve sustainable conversion for the design of future generations of tree populations. Furthermore it can be considered a suitable tree species in view of the creation of a risk management plan following disturbances and catastrophes as its characteristics ensure fast reforestation. Against the background of a predicted climate change the rowan with its habitational modesty constitutes a suitable species for future stockings.

The present work could demonstrate a clear underestimation of the growth potential of rowan in studies to date and their resulting conclusions. Consequently maintained rowans without damage caused by game do rarely exist and could therefore rarely be examined. Here, additional research is needed which should be based on longer-term experimental setups.

## 7 Literaturverzeichnis

- ABETZ, P. (1975): Eine Entscheidungshilfe für die Durchforstung von Fichtenbeständen. Allgemeine Forstzeitung 30 (33/34): 666-667.
- ACKERMANN, J.; ADLER, P.; ENGELS, F.; HOFFMANN, K.; JÜTTE, K.; RÜFFER, O.; SAGISCHEWSKI, H.; SEITZ, R. (2014): Forstliche Fernerkundung in den Bundesländern auf neuen Wegen. AFZ-DerWald 9: 8-10.
- AFL (ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN) (1998): Luftbildinterpretationsschlüssel - Bestimmung der natürlichen Altersklasse von Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild (CIR-Luftbild). LÖBF-Mitteilungen 1/98: 45-50.
- AFL (ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN) (1999): Luftbildinterpretationsschlüssel II - Bestimmung der natürlichen Altersklasse und der Baumarten von Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild (CIR-Luftbild). LÖBF-Mitteilungen 4/99: 51-56.
- AFL (ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN) (2012): Das digitale Luftbild: ein Praxisleitfaden für Anwender im Forst- und Umweltbereich. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA), Band 7, Universitätsverlag Göttingen.
- ARENHÖVEL, W. (1996): Waldumbau als Bestandteil des naturnahen Waldbaus – Waldumbauprogramm für ganz Thüringen. AFZ/DerWald 9: 486-488.
- AKAIKE, H. (1973): Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: PETROV, B.N.; CSAKI, B.F. (Hrsg.): Proceeding of the Second International Symposium on Information Theory Budapest: Akademia Kiado. 267-281.
- AMMER, C. (1996): Konkurrenz um Licht - zur Entwicklung der Naturverjüngung im Bergmischwald. Forstliche Forschungsberichte München, Schriftenreihe der Universität München und der Bayerischen Forstlichen Versuchsanstalt, Nr. 158. 198 S.
- AMMER, C.; DINGEL, C. (1997): Untersuchungen über den Einfluß starker Weichlaubholzkonzurrenz auf das Wachstum und die Qualität junger Stieleichen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 116 (1-6): 346-358.
- AMMER, C.; WAGNER, S. (2002): Problems and options in modelling fine-root biomass of single mature Norway spruce trees at given points from stand data. Can. J. For. Res., 32: 581-590
- AMMER, C.; ZIEGLER, C.; KNOKE, T. (2005): Zur Beurteilung von intra- und interspezifischer Konkurrenz von Laubbaumbeständen im Dickungsstadium. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 176 (5): 85-94.
- ANIC, M. (1958): Rhythmus des Höhenwachstums bei Pflanzen verschiedener Holzarten im Laufe ihrer Vegetationsperiode. London, Oxford. 12. Kongreß der IUFRO.
- ANONYMUS (2000): AG Waldbau und Inventurmethode, Projektverbund „Südlicher Schwarzwald“. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA).
- ANW (2015): <http://www.anw-deutschland.de/pages/die-anw.php> (abgerufen am 31.05.2015).
- ASSMANN, E. (1961): Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft, München, Bonn, Wien 104 S.
- BACHMANN, M. (1998): Indizes zur Erfassung der Konkurrenz von Einzelbäumen. Methodische Untersuchung in Bergmischwäldern. Forstliche Forschungsberichte München, 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: 58-146.
- BALDWIN, JR, V.C.; PETERSON, K.D.; BURKHART, H.E.; AMATEIS, R.L.; DOUGHERTY, P.M. (1997). Equations for estimating loblolly pine branch and foliage weight and surface area distributions. Canadian Journal of Forest Research 27 (6): 918-927.
- BALDWIN, V.C.; PETERSON, K.D.; CLARK, A.; FERGUSON, R.B.; STRUB, M.R.; BOWER, D.R. (2000): The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 38-year-old loblolly pine. Forest Ecology and Management 137 (1): 91-102.
- BARCLAY, A.M.; CRAWFORD, R.M.M. (1984): Seedling emergence in the rowan (*Sorbus aucuparia*) from an altitudinal gradient. Journal of Ecology 72: 627-636.
- BARTELINK, H.H. (1997): Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (*Fagus sylvatica* L.). Annales of Science in Forestry 54: 39-50.
- BARTELS, H. (1993): Gehölzkunde. Einführung in die Dendrologie. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 336 S.
- BATHEN, K.; IRRGANG, S. (2004): Dynamic of gaps and their integration in the conversion of pure Norway spruce stands – actively created gaps:176-186. In: FÜRST, C; BITTER, A.W.; EISENHAUER, D.-R.; MAKESCHIN, F.; RÖHLE, H.; ROLOFF, A.; WAGNER, S. (2004): Sustainable Methods and Ecological Processes of a Conversion of Pure Norway Spruce and Scots Pine Stands into Ecologically Adapted Mixed Stands. Joint Research Project 'Future Oriented Forestry', Region Saxony, Supported by the Federal Ministry for Education and Research (BMBF), Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt / Contributions to Forest Sciences, Heft 20.
- BATSCHULET, E. (1981): Circular Statistics in Biologie (Mathematics in biology). Academic Press, New York, 371 S.
- BAUMGARTEN, M.; DÖRING, C.; FÜRST, C.; JANSEN, M.; JENSSEN, U.; KLINS, U. (2003): Zukunftsorientierte Waldwirtschaft. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn.
- BAUMGARTEN, M.; TEUFFEL, K.v. (2005): Nachhaltige Waldwirtschaft in Deutschland. In: TEUFFEL K.v.; BAUMGARTEN, M.; HANEWINKEL, M.; KONOLD, W.; SAUTER, U.H.; SPIECKER, H.; WILPERT, K.v. (Hrsg.): Waldumbau: für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft. Springer-Verlag, Berlin, 1-23.
- BECK, G. (2010): Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, Heft 4, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart
- BECK, W. (2007): Analyse des Wachstumsverhaltens von Kiefern-Beständen auf unterschiedlichen zeitlichen Skalenebenen. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 32: 341-356.
- BECK, W. (2010): Auswirkungen von Trockenheit und Hitze auf den Waldzustand in Deutschland – waldwachstumskundliche Ergebnisse der Studie im Auftrag des BMELV. DVFFA-Sektion Ertragskunde, Jahrestagung.
- BECK, W. (2015): mündliche Mitteilung
- BEDBUR, I.; MATTHES, U.; KONOLD, W. (2010). Pionierbaumarten-Chancen, Verbreitung und Potenziale im Klimawandel in Rheinland-Pfalz. Forst und Holz 65: 20-27.
- BEGON, M.; HARPER, J.L.; TOWNSEND, C.R. (1998): Ökologie. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg-Berlin, 750 S.

- BERGMANN, J.-H. (1965): Waldbaulich-ökonomische Untersuchungen zur Birke- und Unholzbekämpfung in Kiefernkulturen. Tagungsberichte Nr. 75: Aktuelle Probleme der Kiefernwirtschaft. Internationales Symposium des Instituts für Forstwissenschaften Eberswalde der Deutschen Akademie der Landwirtschaften zu Berlin, vom 28. September bis 3. Oktober 1964 in Eberswalde, 391-394.
- BERGMANN, J.H. (2000): Die Sandbirke - Ihre Stellung in der Sukzession im Gebiet des Nordostdeutschen Pleistozäns und die sich daraus ableitende waldbauliche Behandlung. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 9: 34-38.
- BEBLER, H. (2003): Einzelbaumbezogene Analyse der räumlichen Feinwurzelverteilung für *Betula pendula* (Roth.) in Kiefernbeständen der Düben-Dahlener-Heide. Diplomarbeit, Fachrichtung Forstwissenschaften Tharandt
- BIBER, P. (1996): Konstruktion eines einzelbaumorientierten Wachstumssimulators für Fichten-Buchen-Mischbestände im Solling. Dissertation. Forschungszentrum Waldökosysteme der Universität Göttingen, 252 S.
- BIEDERMANN, L. (1991): Synökologische Einschätzung der Waldvegetation eines Erzgebirgsgebietes für die Ernährung des Rotwildes (*Cervus elaphus* L.). Beiträge zur Jagd- und Wildtierforschung, Berlin, 17: 21-34.
- BIGING, S.; DOBBERTIN, M. (1992): A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. *Forest Science* 38 (3): 695-720.
- BILKE, G. (2000): Die Sandbirke als Wirtschaftsbaumart. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 9: 85-92.
- BITTER, A.W. (2001): Zukunftsorientierte Forsteinrichtungsinstrumente zur nachhaltigen Steuerung von Forstbetrieben. In: KÖPF, E.U. (Hrsg.) (2001): Raum und Zeit – Dimensionen der Forstwirtschaft. Tagungsband zum Ehrenkolloquium anlässlich des 70. Geburtstages von Herrn Prof. habil. Dr. h.c. Horst Kurth am 19. April 2001 in Tharandt an der Fachrichtung Forstwiss. der TU Dresden.
- BLANCKMEISTER, J.; HENGST, E. (1971): Die Fichte im Mittelgebirge. Neumann, Radebeul, 286 S.
- BLOOM A.J.; CHAPIN, F.S.; MOONEY, H.A. (1985): Resource limitation in plants – an economic Analogy. *Annual Reviews of Ecology and Systematics* 16: 363-392.
- BMEL (2014): Dritte Bundeswaldinventur. [https://bwi.info/Hilfe/DEUTSCH\\_WichtigFuerDasVerstaendnis.pdf](https://bwi.info/Hilfe/DEUTSCH_WichtigFuerDasVerstaendnis.pdf). Abfrage der 3. Bundeswaldinventur, [https://bwi.info/Hilfe/DEUTSCH\\_WichtigFuerDasVerstaendnis.pdf](https://bwi.info/Hilfe/DEUTSCH_WichtigFuerDasVerstaendnis.pdf); Abruf am 05.06.2015). (Abfrage aus der dritten Bundeswaldinventur, Thünen-Institut, Stand 2012, Abgefragt bei Petra Henning, Thünen-Institut.
- BMUB (2015, IPCC 2015): <http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/internationale-klimapolitik/ipcc/>
- BOLTE, A.; RAHMANN, T.; KUHR, M.; POGODA, P.; MURACH, D.; GADOW, K. v. (2004): Relationships between tree dimension and coarse root biomass in mixed stands of European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). *Plant and Soil* 264: 1-11.
- BOLTE, A.; VILLANUEVA, I. (2006): Interspecific competition impacts on the morphology and distribution of fine roots in European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *European Journal of Forest Research* 125 (1): 15-26.



- BOND-LAMBERTY, B.; WANG, C.; GOWER, S.T. (2002): Aboveground and belowground biomass and sapwood area allometric equations for six boreal tree species of northern Manitoba. *Canadian Journal of Forest Research* 32 (8): 1441-1450.
- BORN, A. (1997): Jugendentwicklung *Sorbus aucuparia* - dominierter Bestände im Sauerland. Diplomarbeit. Georg-August-Universität Göttingen.
- BORTZ, J. (1999): Statistik für Sozialwissenschaftler, 5. Auflage. Verlag Springer, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest, 836 S.
- BOURIAUD, O.; BRÉDA, N.; LE MOGUEDEC, G.; NEPVEU, G. (2004): Modelling variability of wood density in beech as affected by ring age, radial growth and climate. *Trees* 18 (3): 264-276.
- BOYD, W.E.; DICKSON, J.H. (1987): A post-glacial pollen sequence from Loch a'Mhuilinn, North Arran: a record of vegetation history with special reference to the history of endemic *Sorbus* species. *New Phytologist*, 107 (1): 221-244.
- BRA V (1978): Betriebsregelungsanweisung (Anweisung zur periodischen Forsteinrichtung des Waldfonds der DDR. VEB Forstprojektion Potsdam.
- BRAND, D.G. (1986): A competition index for predicting the vigour of planted Douglas-fir in southwestern British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 16 (1): 23-29.
- BRANG, P. (HRSG.) (2004): Biologische Rationalisierung im Waldbau. Jahrestagung der Sektion Waldbau im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. 110 S.
- BRAUN, H.; SCHULZE, G.; REINHARDT, W. (2000): FESA-Forsteinrichtung in Sachsen. *AFZ-Der Wald* 55 (1): 4-6.
- BRAUN, S.; CANTALUPPI, L.; FLÜCKIGER, W. (2005). Fine roots in stands of *Fagus sylvatica* and *Picea abies* along a gradient of soil acidification. *Environmental Pollution* 137 (3): 574-579.
- BROSINGER, F.; TRETTER, S. (2007): Waldbau im Zeichen des Klimawandels. *LWF aktuell* 60: 21.
- BROSIUS, F. (2009): Spss. Das mitp-Standardwerk. Redline GmbH. Heidelberg. 1024 S.
- BRUNNER, A.; NIGH, G. (2000): Light absorption and bole volume growth of individual Douglas-fir trees. *Tree Physiology* 20: 323-332.
- BRÜNING, E.; MAYER, H. (1980): Waldbauliche Terminologie. Institut für Waldbau. Universität für Bodenkultur, Wien, 207 S.
- BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR FORST- UND HOLZWIRTSCHAFT (1994): Der Wald in den neuen Bundesländern. Institut für Forstökologie und Walderfassung, Eberswalde. 20 S.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2011): Waldstrategie 2020. Nachhaltige Waldbewirtschaftung – eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung, 35 S.
- BURGER, H. (1939): Kronenaufbau gleichaltriger Nadelholzbestände. *Mitteilungen der Schweizer Anstalt f. d. Forstl. Versuchsw.* 21: 5-58.
- BURGS DORF, F.A.L. v. (1795): Forsthandbuch. 3. Auflage, Frankfurt und Leipzig.

- BURSCHEL, P. (1990): Waldumbau, Belastung für die Gegenwart – Hoffnung für die Zukunft. Allgemeine Forstzeitschrift 45 (3): 57-59.
- BURSCHEL, P.; HUSS, J. (1997): Grundriß des Waldbaus. Ein Leitfaden für Studium und Praxis, 2. Auflage (Pareys Studentexte 49), Parey Buchverlag, Berlin 487 S.
- BURTON, P.J. (1993): Some limitations inherent to static indices of plant competition. Canadian Journal of Forest Research 21: 2141-2152.
- CANCINO, J.O.C. (2003): Analyse und praktische Umsetzung unterschiedlicher Methoden des Randomized Branch Sampling. Dissertation, Universität Göttingen, 191 S.
- CANCINO, J.; SABOROWSKI, J. (2005): Comparison of randomized branch sampling with and without replacement at the first stage. Silva Fennica 39 (2): 201-216.
- CANCINO, J.; SABOROWSKI, J. (2007): Improving RBS estimates—effects of the auxiliary variable, stratification of the crown, and deletion of segments on the precision of estimates. J. For. Sci, 53(7), 320-333.
- CHRISTLICH DEMOKRATISCHEN UNION DEUTSCHLANDS - LANDESVERBAND SACHSEN; FREIE DEMOKRATISCHE PARTEI - LANDESVERBAND SACHSEN (2009): Freiheit. Verantwortung. Solidarität. Gemeinsam für ein starkes und selbstbewusstes Sachsen. Vertrag zwischen der Christlich Demokratischen Union Deutschlands Landesverband Sachsen und der Freien Demokratischen Partei Landesverband Sachsen über die Bildung der Staatsregierung für die 5. Legislaturperiode des Sächsischen Landtages. 57 S.
- CIENCIALA, E.; CERNY, M.; APLTAUER, J.; EXNEROVA, Z. (2006): Biomass functions applicable to European beech. Journal of Forest Science 51 (4): 147-154.
- CONERS, H.; HERTEL, D.; LEUSCHNER, C. (1998): Horizontal- und Vertikalstruktur des Grob- und Feinwurzelsystems von konkurrierenden Buchen und Eichen in einem Mischbestand. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie 28: 435-440.
- COOMES, D.A.; GRUBB, P.J. (2000): Impact of roots competition in forest and woodlands: a theoretical framework and review of experiments. Ecol. Monogr. 70: 171-207.
- CRAMER, J.A. (1798): Anleitung zum Forstwesen. Braunschweig. 304 S.
- COUTTS, M.P.; NIELSEN, C.C.N.; NICOLL, B.C. (2000): The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root system of conifers. In The Supporting Roots of Trees and Woody Plants: Form, Function and Physiology (pp. 3-17). Springer Netherlands.
- DE JAGER N.R.; PASTOR J. (2010): Effects of simulated moose *Alces alces* browsing on the morphology of rowan *Sorbus aucuparia*. Wildlife Biol 16: 301-307.
- DENGLER, A. (1930). Waldbau auf ökologischer Grundlage. Ein Lehr- und Handbuch. 560 S.
- DEUTSCHE SÄGE- UND HOLZINDUSTRIE (2010): Der Waldumbau gefährdet die künftige Nadelholzversorgung. <http://www.saegeindustrie.de/sites/pressemitteilungen.php> (abgerufen am 22.01.2015).
- DIE LINKE; SPD; BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (2014): Thüringen gemeinsam voranbringen – demokratisch, sozial, ökologisch. Koalitionsvertrag zwischen den Parteien Die Linke, SPD, Bündnis 90/Die Grünen für die 6. Wahlperiode des Thüringer Landtags. 98 S.
- DIPPEL, M. (1988): Wuchsleistung und Konkurrenz von Buchen/Lärchen-Mischbeständen im Südniedersächsischen Bergland. Dissertation Univ. Göttingen.
- DÖBBELER, H.; ALBERT, M.; SCHMIDT, M.; NAGEL, J.; SCHRÖDER, J. (2006): BWINPro. Programm zur Bestandesanalyse und Prognose. Version, 6.

- DORMANN, C.; KÜHN, I. (2011): Angewandte Statistik für die biologischen Wissenschaften. 2. Auflage, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung-UFZ.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. (1998): Applied regression analysis. New York: Wiley, 706 S.
- DRAPIER, N. (1993): Les Sorbus en France: caractères botaniques et généralités. Rev. For. Fr. 45 (3): 207-215.
- DREXHAGE, M.; COLIN, F. (2001): Estimating root system biomass from breast-height diameters. Forestry 74 (5): 491-497.
- DREXHAGE, M.; GRUBER, F. (1999): Above- and below-stump relationships for *Picea abies*: estimating root system biomass from breast-height diameters. Scand. J. For. Res. 14: 328-333.
- DREXHAGE, M.; HUBER, F.; COLIN, F. (2000): Comparison of radial increment and volume growth in stems and roots of *Quercus petraea*. 121-130; In: STOKES, A. (ed.): The Supporting Roots of Trees and Woody Plants: Form, Function and Physiology. Kluwer Academic Publishers.
- DRINKWATER, M. H. (1960). Crown release of young sugar maple. Department of Northern Affairs and National Resources. Forest Research Division Technical Note No. 89, 18 S.
- DÜLL, R. (1959): Unsere Ebereschen und ihre Bastarde. A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt. 122 S.
- EBERT, W. (1973): Mehr Vogelbeere für Landschaftspflege und Vogelschutz! Der Forst- und Holzwirt 11: 216-217.
- ECKHARDT, R. (2014): mündliche Mitteilungen
- ECKMÜLLER, O.; STERBA, H. (2000): Crown condition, needle mass, and sapwood area relationships of Norway spruce (*Picea abies*). Canadian Journal of Forest Research 30 (10): 1646-1654.
- EILERMAN, F. (2002): Beiträge zum Aufbau eines forstlichen geographischen Informationssystems unter besonderer Berücksichtigung der Integration der digitalen Photogrammetrie. Dargestellt am Beispiel der Entwicklung von Entscheidungshilfen für einen ökologische begründeten Waldumbau. Dissertation, Tharandt, 207 S.
- EISENHAUER, D.R.; KURTH, CH., BERGER, A. (2004): Conversion of Pure Pine Stands on Sites of Non-Coniferous Forest Ecosystems Including Stand Succession. 153-166. In: FÜRST, C; BITTER, A.W.; EISENHAUER, D.-R.; MAKESCHIN, F.; RÖHLE, H.; ROLOFF, A.; WAGNER, S. (2004): Sustainable Methods and Ecological Processes of a Conversion of Pure Norway Spruce and Scots Pine Stands into Ecologically Adapted Mixed Stands. Joint Research Project 'Future Oriented Forestry', Region Saxony, Supported by the Federal Ministry for Education and Research (BMBF), Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt / Contributions to Forest Sciences, Heft 20.
- ELFLEIN, T.; WÖRLE, A.; AMMER, C. (2008): Zur Reaktionsfähigkeit der Elsbeere (*Sorbus torminalis* [L.] Crantz) auf späte Kronenumlichtung. Do old wild service tree (*Sorbus torminalis* [L.] Crantz) respond to competition release? Forstarchiv 9 (5): 155-163.
- ERLBECK, R. (1998): Die Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*) - ein Porträt des Baumes des Jahres 1997. In: SCHMIDT, O. (1998): Beiträge zur Vogelbeere. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) 17: 2-14.
- ERLBECK, R.; HASEDER, I.E.; STINGLWAGNER, G.K.F. (2002): Das Kosmos Wald und Forstlexikon. Kosmos-Verlag. Stuttgart. 880 S.

- ERLER, J. (1983): Einfluss von Weichhölzern in einem Douglasienjungwuchs. Forst und Holzw. 38 (4): 87-91.
- EULE, H.W. (1959): Verfahren zur Baumkronenmessung und Beziehungen zwischen Kronengröße, Stammstärke und Zuwachs bei Rotbuche, dargestellt an einer nordwestdeutschen Durchforstungsreihe. Allgemeine Forst-und Jagdzeitung 130 (7): 185-201.
- FALTL, W.; GIELER, N.; NEUFANGER, M. (2010): Inventurdaten als zentrale Grundlage der Betriebssteuerung. AFZ-DerWald 19: 19-22.
- FEHRMANN, L. (2006): Alternative Methoden zur Biomasseschätzung auf Einzelbaumebene unter Berücksichtigung der *k*-Nearest Neighbour (*k*-NN) Methode. Dissertation, Göttingen.
- FIEBIGER, C.; SCHULTZE, B.; SCHERZER, J.; SUTMÖLLER, J.; HENTSCHEL, S.; JUNGHANS, U.; DÖBBELER, H.; MEESENBURG, H. (2009): Abschlussbericht zum Projekt: Risiken und Anpassungsstrategien für Wälder als Folge der prognostizierten Klimaveränderung in Sachsen-Anhalt. Arbeitsgruppe Klimawandel Sachsen-Anhalt, 133 S. <http://www.sachsen-anhalt.de/index.php?id=37748>
- FIEDLER, F. (1962): Das Höhenwachstum junger Birken im Vorwaldgefüge auf verschiedenen Standorten. Archiv für Forstwesen 11 (7): 860-876.
- FIRBAS (1949): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. I. Bd.: Allgemeine Waldgeschichte. Jena.
- FIRBAS (1952): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. II. Bd.: Waldgeschichte der einzelnen Landschaften. Jena.
- FISCHER, A.; FISCHER, H. (2006): Restoration of forests. 124-140. In: VAN ANDEL, J.; ARONSON, J. (2006): Restoration Ecology - The New Frontier. Blackwell Publishing, Malden-Oxford-Carlton, Chapter 10: 124-150.
- FOSSITT, J.A. (1996): Late quaternary vegetation history of the Western Isles of Scotland. New Phytologist 132: 171-196.
- FRANKEN, F.; HOFFMANN, K. (2010): Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, Heft 4, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart
- FRANKHAUSER F. (1910): Zur Kenntnis des Vogelbeerbaumes. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 61 (4): 116-120.
- FRAZER, G.W.; FOURNIER, R.A.; TROFYMOW, J.A.; HALLA, R.J. (2001): A comparison of digital and film fisheye photography for analysis of forest canopy structure and gap light transmission. Agricultural and Forest Meteorology 109: 249-263.
- FRISCHBIER, N. (2011): Untersuchungen zur einzelbaumverursachten kleinräumigen Variabilität und regenhöhenbasierten Dynamik des Bestandesniederschlages am Beispiel zweier Buchen-Fichten-Mischbestände. Dissertation. Technische Universität Dresden, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften; Institut für Waldbau und Forstschutz, 307 S.
- FRISCHBIER, N.; ZEIBIG, A. (2008): Methoden und Ergebnisse einzelbaumorientierter Forschung. Vortrag und Tagungsband zur Jahrestagung der Sektion Waldbau, Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten 10. - 11.09.2007, Gotha, 12-25.
- FRITZ, P. (HRSG.) (2006): Ökologischer Waldumbau in Deutschland. Fragen, Antworten, Perspektiven. oekom verlag, 351 S.

- FUCHS, A. (1993): Wiederholungsaufnahme und Auswertung einer permanenten Betriebsinventur im Bayerischen Forstamt Ebrach. Forstliche Forschungsberichte München. N. 131.
- FÜRST, C.; BITTER, A.W.; EISENHAUER, D.-R.; MAKESCHIN, F.; RÖHLE, H.; ROLOFF, A.; WAGNER, S. (2004): Sustainable Methods and Ecological Processes of a Conversion of Pure Norway Spruce and Scots Pine Stands into Ecologically Adapted Mixed Stands. Joint Research Project 'Future Oriented Forestry', Region Saxony, Supported by the Federal Ministry for Education and Research (BMBF), Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt / Contributions to Forest Sciences 20, 244 S.
- FUJIMORI, T. (2001): Ecological and Silvicultural Strategies for Sustainable Forest Management. Elsevier Science B.V., Amsterdam, 412 p.
- GAFFREY, D. (1988): Forstamts- und bestandsindividuelles Sortimentierungsprogramm als Mittel zur Planung, Aushaltung und Simulation. Diplomarbeit Forstl. Fak. Göttingen. 86 S.
- GAFFREY, D. (1996): Sortenorientiertes Bestandeswachstums-Simulationsmodell auf der Basis intraspezifischen, konkurrenzbedingten Einzelbaumwachstums-insbesondere hinsichtlich des Durchmessers - am Beispiel der Douglasie. Bericht des Forschungszentrums Waldökosysteme (A-133): 413 S.
- GAFFREY, D.; SABOROWSKI, J. (1999a): RBS, ein mehrstufiges Inventurverfahren zur Schätzung von Baummerkmalen. I. Schätzung von Nadel- und Asttrockenmassen bei 66-jährigen Douglasien. AFJZ 170 (10-11): 177-183.
- GAFFREY, D.; SABOROWSKI, J. (1999b): RBS, ein mehrstufiges Inventurverfahren zur Schätzung von Baummerkmalen. II. Modifizierte RBS-Verfahren. AFJZ 170 (12): 223-227.
- GAYER, K. (1886): Der gemischte Wald: seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirtschaft. Berlin, Parey, 168 S.
- GAYER, K. (1898): Der Waldbau. 4. Auflage, Verlagsbuchhandlung Paul Parey; Verlag für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwesen Berlin; 626 S.
- GEROLD, D. (1996): Empfehlungen für den Waldumbau im Mittelgebirge auf Grundlage von Bestandeszieltypen. In: Waldumbau – Beiträge zum Kolloquium. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten. Heft 6/96: 118-140.
- GILL, S.J.; BIGING, G.S.; MURPHY, E.C. (2000): Modeling conifer tree crown radius and estimating canopy cover. Forest Ecology and Management 126 (3): 405-416.
- GILLHAM, C.M. (1980) The Biology of Rowan (*Sorbus aucuparia* L.). The ecology of *Sorbus aucuparia*, taxonomy of *Sorbus* section *aucuparia*, and the use of those species as amenity trees. MSc Thesis, University of Liverpool, Liverpool, UK.
- GILLNER, S. (2012): Stadtbäume im Klimawandel – Dendrochronologische und physiologische Untersuchungen zur Identifikation der Trockenstressempfindlichkeit häufig verwendeter Stadtbaumarten in Dresden. Dissertation, Professur für Forstbotanik, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, TU Dresden. 221 S.
- GOCKEL, S.; WAGNER, S. (2004): Growth reaction of single tree admixtures of Rowan (*Sorbus aucuparia*, L.) after release from conifer competitors in young Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands. In: FÜRST, C.; BITTER, A. W.; EISENHAUER, D.-R.; MAKESCHIN, F.; RÖHLE, H.; ROLOFF, A.; WAGNER, S. (Eds.): Sustainable Methods and Ecological Processes of a Conversion of Pure Norway Spruce and Scots Pine Stands into Ecologically Adapted Mixed Stands. Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt / Contributions to Forest Sciences Heft 20: 187-194.

- GÖHRE, K. (1961): Werkstoff Holz. 2. Auflage, Leipzig
- GOWER, S.; MCMURTRIE, RE.; MURTY, D. (1996): Aboveground net primary production decline with stand age: potential causes. *Trees* 11 (9): 378-382.
- GRALLA, T.; MÜLLER-USING, B.; UNDEN, T.; WAGNER, S. (1997): Über die Lichtbedürfnisse von Buchenvoranbauten in Fichtenbaumhölzern des Westharzes. *Forstarchiv* 68: 51-58.
- GREGOIRE, T.G.; VALENTINE, H.T.; FURNIVAL, G.M. (1995): Sampling methods to estimate foliage and other characteristics of individual trees. *Ecology* 76 (4): 1181-1194.
- GROSENBAUGH, L.R. (1964): STX-Fortran 4 program for estimates of tree populations from 3P sampling tree measurements. USDA For. Serv. Res. Pap. PSW-13. Berkley, Calif.
- GROSSER, D.; LEDER, B. (1998): Das Holz der Vogelbeere – Seine Eigenschaften und Verwendung. *LWF-Wissen* 17: 53-58.
- GUERICKE, M. (1999): Untersuchungen zur Kronenplastizität der Buche. Tagungsbericht Sektion Waldbau im DVFF, 8 Jahrg. (10.9)
- GUERICKE, M. (2001): 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, Georg-August-Universität Göttingen, 220 S.
- GUERICKE, M. (2005): Waldwachstumskundlicher Vergleich zweier Wuchsreihen in Buchen-Edellaubbaummischbeständen. - Ein Beitrag zur Diskussion des Wuchsreihenansatzes. Sektion Ertragskunde der DVFFA, Freising 2005, Tagungsband 60-71.
- HAMILTON, G.J. (1981): The effects of high intensity thinning on yield. *Forestry (Oxford)* 54: 1-15.
- HANEWINKEL, M. (2005): Finanzielle Konsequenzen des Waldumbaus – Analyse mit Methoden der Investitionsrechnung. In: TEUFFEL, K.V.; BAUMGARTEN, M.; HANEWINKEL, M.; KONOLD, W.; SAUTER, U.H.; SPIECKER, H.; WILPERT, K.V. (Eds.): *Waldumbau: für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 248-260.
- HARTARD, B.; SCHRAMM, E. (2009): Biodiversität und Klimawandel in der Debatte um den ökologischen Waldumbau – eine Diskursfeldanalyse. Knowledge Flow Paper Nr. 1, Forschungszentrum Biodiversität und Klima (BiKF), 18 S.
- HARTMANN, O.; LANGE, B.; KREBS, R.; KÖCHLI, R.; LÜSCHER, P. (2010): Hochwasserschutz durch Vogelbeerwurzeln? *Bulletin BGS* 30: 135-138.
- HASEL, K.; SCHWARTZ, E. (2002): *Forstgeschichte. Ein Grundriß für Studium und Praxis*. 2. Auflage, Remagen: Verlag Dr. Kessel, 394 S.
- HASENAUER, H.; LEITGEB, E.; STERBA, H. (1996): Der A-Wert nach JOHANN als Konkurrenzindex für die Abschätzung von Durchforstungseffekten. *AFJZ* 167: 169-174.
- HEDRICH, T. (2002): Untersuchungen zur Wuchsdynamik der Eberesche (*Sorbus aucuparia* L.) in Lücken von Fichtenreinbeständen des Erzgebirges unter besonderer Beachtung des Strahlungsangebotes. Diplomarbeit, Tharandt
- HEGER, A. (1949): *Die Begründung von Mischwäldern auf Großkahlfächen unter besonderer Berücksichtigung des Vorwaldgedankens*. Neumann Verlag. Radebeul und Berlin. 48 S.

- HEGYI, F. (1974): A simulation model for managing jack-pine stands. *Growth models for tree and stand simulation* 30: 74-90.
- HEINZEL, K.; PETERS, S. (2001): Umbau von Fichten- und Kiefernreinbeständen zu naturnahen Mischwäldern. *AFZ/Der Wald* 56: 467-468.
- HEMERY, G.E.; SAVILL, P.S.; PRYOR, S.N. (2005): Applications of the crown diameter–stem diameter relationship for different species of broadleaved trees. *Forest Ecology and Management*, 215(1), 285-294.
- HEMMANN, A. (1904): Schutzholz, Treibholz, Füllholz. Eine weitere waldbauliche Studie. Köstritz. 48 S.
- HEROLDOVÁ, M.; HOMOLKA, M.; KAMLER, J. (2003): Breakage of rowan caused by red deer – an important factor for Sorbeto-Piceetum stand regeneration? *Forest Ecology and Management* (181): 131-138.
- HERRERA, J.M.; GARCÍA, D. (2009): The role of remnant trees in seed dispersal through the matrix: being alone is not always so sad. *Biological Conservation* 142 (1): 149-158.
- HERTEL, D. (1999): Das Feinwurzelsystem von Rein- und Mischbeständen der Rotbuche: Struktur, Dynamik und interspezifische Konkurrenz. *Dissertationes Botanicae*, 317, Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 206 S.
- HERTEL, D.; LEUSCHNER, C. (1998): Die Rhizosphäre in einem Eichen-Buchenmischwald: Feinwurzelproduktion und die Bedeutung von Wurzelkonkurrenz. *Verhandlungen-Gesellschaft für Ökologie* 28: 441-448.
- HILDEBRANDT, G. (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. – 1. Auflage, Wichmann Verlag, Heidelberg, 676 S.
- HILL, M.O. (1979): The development of a flora in even-aged plantations. *The Ecology of Even-aged Forest Plantations*, In: Ford, E.D.; Malcolm, D.C.; Atterson, J.C. (eds): NERC, Institute of Terrestrial Ecology, Cambridge, UK.: 175-192 S.
- HILLEBRAND, K. (1995): Untersuchungen zum Wachstum und zur Ökologie von älteren Vogelbeeren-Fichtengruppen in Hochlagen: LÖBF (Hrsg.): Weichlaubhölzer und Sukzessionsdynamik in der naturnahen Waldwirtschaft. *Schriftenreihe der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten / Landesamt für Agrarordnung Nordrhein-Westfalen*, 109-124.
- HILLEBRAND, K. (1997): Simulation waldbaulicher Eingriffsfolgen für Buchen- und Fichtenmischbestände mit Vogelbeere. *AFZ/Der Wald* 10: 535-538.
- HILLEBRAND, K. (1998): Vogelbeere (*Sorbus aucuparia* L.) im Westfälischen Bergland – Wachstum, Ökologie, Waldbau -. Hrsg.: Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten / Landesamt für Agrarordnung NRW, LÖBF-Schriftenreihe Band 15.
- HILLEBRAND, K.; LEDER, B. (1995): Auch die Vogelbeere kann erhebliche Dimensionen erreichen. *AFZ* 49: 582-584.
- HILMO, O.; ELY-AASTRUP, H.; HYTTEBORN, H.; HOLIEN, H. (2011): Population characteristics of old forest associated epiphytic lichens in *Picea abies* plantations in the boreal rain-forest of Central Norway. *Can J For Res* 41:1743-1753.
- HOFFMANN, K. (2008): Erfassung von Waldstruktur- und Waldzustandsparametern aus digitalen Luftbilddaten der sachsenweiten Befliegung 2005. In: SCHMIDT, O.; SEITZ, R. (Eds.): *Der gepixelte Wald – forstliche Fernerkundung vor dem Hintergrund aktueller*

- Entwicklungen in Umwelt und Technik. Weihenstephan: Zentrum Wald-Forst-Holz, Forstl. Forsch.ber Münch 209: 18–29.
- HOFFMANN, K. (2013): Die Vogelbeere im Waldbau - The rowan in forest management. Bachelorarbeit an der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen. 25 S.
- HOLMES, M.J.; REED, D.D. (1991): Competition indices for mixed species Northern Hardwoods. *Forest Sciences* 37: 1338-1349.
- HÖLSCHER, D.; DUNKER, B.; HARBUSCH, M.; CORRE, M. (2009): Fine root distribution in a lower montane rain forest of Panama. *Biotropica* 41 (3): 312-318.
- HUMMEL, S. (2000): Height, diameter and crown dimensions of *Cordia alliodora* associated with tree density. *Forest Ecology and Management* 127: 31-40.
- HUSTON, M.; DEANGELIS, D.; POST, W. (1988): New computer models unify ecological theory. *BioScience* 38 (10): 682-691.
- HUTH, F. (2009): Untersuchungen zur Verjüngungsökologie der Sand-Birke (*Betula pendula* Roth). Dissertation, Technische Universität Dresden, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Institut für Waldbau und Forstschutz, 383 S.
- IMMITZER, M.; ATZBERGER, C.; KOUKAL, T. (2012): Eignung von WorldView-2 Satellitenbildern für die Baumartenklassifizierung unter besonderer Berücksichtigung der vier neuen Spektralkanäle. *Photogramm. Fernerkundung* 2012: 573-588.
- JESSEN, R. J. (1955): Determining the fruit count on a tree by randomized branch sampling. *Biometrics* 11 (1): 99-109.
- JOBLING, J.; PEARCE, M.L. (1977): Free Growth of Oak. *Forest Record*, Forestry Commission, HMSO, London, , vol. 113: 17 S.
- JOHANN, K. (1982). Der A-Wert ein objektiver Parameter zur Bestimmung der Freistellungsstärke von Zentralbäumen. *Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten – Sektion Ertragskunde*, 25, 27.
- JOHANN, M.; WILLIG, J.; FISCHER, W.; ZINK, E. (2012): Das neue Forsteinrichtungsverfahren von Hessen-Forst. *AFZ-DerWald* 21:7-9.
- JOHNSON, E.A.; MIYANISHI, K.; KLEB, H. (1994): The hazards of interpretation of static age structures as shown by stand reconstructions in a *Pinus Contorta* - *Picea Engelmannii* Forest. *The Journal of Ecology* 82 (4): 923-931.
- JOHNSON J.E.; BOLLIG, J.J.; RATHFON, R.A. (1998): Above-ground biomass and nutrient distribution of released and fertilized yellow-poplar trees. *Forest Ecology and Management* 105: 231-240.
- JONÁŠOVÁ, M.; PRACH, K. (2004): Central-European mountain spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) forests: regeneration of tree species after bark beetle outbreak. *Ecological engineering* 23: 15-27.
- JONES, M.; HARPER, J.L. (1987): The influence of neighbours on the growth of trees II: The fate of buds on long and short shoots in *Betula pendula*. *Series B. Biological sciences* 232 (1266): 19-33.
- JUODVALKIS, A.; KAIRIUKSTIS, L.; VASILIAUSKAS, R. (2005): Effects of thinning on growth of six tree species in north-temperate forest of Lithuania. *Eur. J. Forest Res.* 124: 187-192.



- KARIUKI, M. (2008): Modelling the impacts of various thinning intensities on tree growth and survival in a mixed species eucalypt forest in central Gippsland, Victoria, Australia. *Forest Ecology and Management* 256 (12): 2007-2017.
- KEIDEL, S.; MEYER, P.; BARTSCH, N. (2008): Regeneration eines naturnahen Fichtenwaldökosystems im Harz nach großflächiger Störung. *Forstarchiv* 79: 187-196.
- KELLY, D. (1994). The evolutionary ecology of mast seeding. *Trends in Ecology & Evolution* 9 (12): 465-470.
- KENNEL, R. (1966): Soziale Stellung, Nachbarschaft und Zuwachs. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 85 (7): 193-204.
- KENTER, B. (1999): Untersuchungen über Entwicklung und Einfluss eines Salweidenschirmes auf das Wachstum und die Qualität junger Buchen. Diplomarbeit, Fachrichtung Forstwissenschaft, Tharandt.
- KIKUZAWA, K.; UMEKI, K. (1996): Effect of Canopy Structure on Degree of Asymmetry of Competition in Two Forest Stands in Northern Japan. *Annals of Botany* 77: 565-571.
- KING, D.A. (1991): Correlations between biomass allocation, relative growth rate and light environment in tropical forest saplings. *Functional ecology*: 485-492.
- KLAUSCH, H.-J. (2000): mündliche Mitteilung
- KLEIN, L. (1913): Forstbotanik. In: WAGNER, C. (Hrsg.): *Handbuch der Forstwissenschaft* (3. Aufl.). Laupp'sche Buchhandlung; Tübingen: 229-584.
- KOBRO, S.; SØREIDE, L.; DJØNNE, E.; RAFOSS, T.; JAASTAD, G.; WITZGALL, P. (2003): Masting of rowan *Sorbus aucuparia* L. and consequences for the apple fruit moth *Argyresthia conjugella* Zeller. *Popul Ecol* 45: 25-30.
- KOCH, B. (2011). Stand und Perspektiven der Nutzung neuer Fernerkundungstechnologien im Waldbereich. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 162 (6): 156-163.
- KOCH, B.; FRITZ, R. (1998): Satelliten-Fernerkundung im Rahmen forstlicher Kartographie. *AFZ/Der Wald* 53: 164-166.
- KOCH, B.; SVOBODA, J.; ADLER, P.; DEES, M. (2001): Automatische Baumartenerkennung auf der Grundlage digitalisierter CIR-Luftbilder. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 173 (7-8): 131-140.
- KOCH, H. (1997): Die Vogelbeere und ihre wiederentdeckte Bedeutung und Behandlung im Waldbau. In: SCHMIDT, O. (1998): Beiträge zur Vogelbeere. *Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF-WISSEN* 17: 45-49.
- KÖHLER, W.; SCHACHTEL, G.; VOLESKE, P. (2007): *Biostatistik. Eine Einführung für Biologen und Agrarwissenschaftler*. 4. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 329 S.
- KÖLLING, C.; AMMER, C. (2006): WALDUMBAU UNTER DER ZEICHEN DES KLIMAWANDELS. *AFZ-DERWALD* 20: 1087-1089.
- KORKUT, S.; GULLER, B.; AYTIN, A.; KOK, M.S. (2009): Turkey's native wood species: Physical and mechanical characterization and surface roughness of Rowan (*Sorbus aucuparia* L.). *Wood Research* 54 (2): 19-30.
- KORPEL, Š. (1995). *Die Urwälder der Westkarpaten*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-Jena-New York, 310 S.
- KÖSTLER, J.N.; BRÜCKNER, E.; BIBELRIETHER, H. (1968): *Die Wurzeln der Waldbäume*. Hamburg, Parey. 248 S.

- KOZLOWSKI, T.T.; PALLARDY, S.G. (1997): Physiology of Woody Plants. 2. Edition. Academic Press, London.
- KRAFT, G. (1884): Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Klindworth's, Hannover.
- KRAMER, H. (1988): Waldwachstumslehre. Ökologische und anthropogene Einflüsse auf das Wachstum des Waldes, seine Massen- und Wertleistungen und die Bestandessicherheit. Verlag Paul Parey, Hamburg-Berlin, 374 S.
- KRAMER, H.; AKÇA, A. (1987): Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur, Frankfurt a.M.: J.D. Sauerländer's Verlag, 287 S.
- KRETSCHMER, J. (2004): Auswirkungen des ökologischen Waldumbaus auf Bestand und Verjüngung. Eine quantitative Strukturanalyse. Dissertation. Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Brsg. 140 S.
- KRISSL, W.; MÜLLER, F. (1988): Mischwuchsregulierung von Fichte und Buche in der Jungbestandsphase. Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt (FBVA) 29, Wien. 50 S.
- KRUTZSCH, H. (1952): Waldaufbau. Deutscher Bauernverlag. 159 S.
- KUCBEL, S.; VENCURIK, J. (2008): Rolle der Vogelbeere (*Sorbus aucuparia* L.) in der Struktur eines Gebirgsfichtenwaldes. In: LEHRSTUHL FÜR WALDBAU (Hrsg.): Die Rolle der Weichlaubebäume im Waldbau. XVII. Waldbau-Kolloquium Brno-Tharandt vom 15. Oktober bis 17. Oktober 2007 in Tharandt: 32-38.
- KUIJPER, D.P.J.; CROMSIGT, J.; CHURSKI, M.; ADAM, B.; JEDRZEJEWSKA, B.; JEDRZEJEWSKI, W. (2009): Do ungulates preferentially feed in forest gaps in European temperate forest? For Ecol Manag 258: 1528-1535.
- KULL, O.; TULVA, I. (2000): Modelling canopy growth and steady-state leaf area index in an aspen stand. Annals of Forest Science 57 (5): 611-621.
- KULL, O.; TULVA, I. (2002): Shoot structure and growth along a vertical profile within a Populus-Tilia canopy. Tree Physiology 22 (15-16): 1167-1175.
- KULLMAN, L. (1986): Temporal and spatial aspects of sub-alpine populations of *Sorbus aucuparia* in Sweden. Annales Botanici Fennicae 23: 267-275.
- KÜPPERS, M. (1989): Ecological Significance of Above-ground Architectural Patterns in Woody Plants: A Question of Cost-Benefit Relationships. Tree 4 (12): 375-379.
- KURT, A. (1982): Ziel, Voraussage und Kontrolle von Nutzungen im Forstbetrieb. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 133 (2): 93-114.
- KURT, B.; BLOBFELD, O.; WERNER, E.; FISCHER, K.; GÖBEL, W.; HAJEK, G.; HAUSER, H.; HEYNE, D.; HINSELMANN, D.; HOLZ, D.; KEHR, E.; KLOß, R.; KÜNZELMANN, E.; LANGENDORF, G.; LENHART, K.; MÜLLER, H.; PECINA, H.; RÜCHEL, E.; SCHEIBERT, W.; SCHEITHAUER, M.; SCHMUTZLER, W.; SCHÖLZEL, C.; SCHWARZE, K.; WAGENFÜHR, R.; WALTER, F.; WIENHAUS, O.; WÜNSCHMANN, H.; ZEUBE, M. (1990): Lexikon der Holztechnik. 4. Auflage, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 928 S.
- KÜSTER (1998): Geschichte des Waldes. München: C.H. Beck Verlag, 266 S.
- KUTSCHERA, L.; LICHTENEGGER, E. (2002): Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. 6. Band der Wurzelatlas-Reihe. Leopold Stocker Verlag, Graz-Stuttgart, 604 S.

- KUTSKO, A.A.; SAKOVETS, B.H.; BELONOVOVA, T.B. (1982): Fruit productivity of *Sorbus aucuparia* in Southern Karelia (in Russian). *Rastitel'nye Resursy* 18: 202-207.
- KUTZELNIGG, H. (1994): *Sorbus*. In: Hegyi, G. (Hrsg.): *Illustrierte Flora von Mitteleuropa*. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien, 328-385.
- LAGERGREN, F.; LINDROTH, A. (2004): Variation in sapflow and stem growth in relation to tree size, competition and thinning in a mixed forest of pine and spruce in Sweden. *Forest Ecology and Management* 188 (1): 51-63.
- LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NORDRHEIN-WESTFALEN (2007): *Empfehlungen für die Wiederbewaldung der Orkanflächen in Nordrhein-Westfalen*. Wald und Holz. NRW. Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen. 71 S.
- LANDWIRTSCHAFTSRAT BEIM MINISTERRAT DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK (Hrsg.) (1966): *Waldbau und Holzartenrichtlinien* VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin. 259 S.
- LARSEN, J. BO (Hrsg.) (1996): *Sustainable Forest Management*. Temanord Series 578, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 231 S.
- LEBAUBE, S.; LE GOFF, N.; OTTORINI, J. M.; GRANIER, A. (2000): Carbon balance and tree growth in a *Fagus sylvatica* stand. *Annals of Forest Science* 57 (1): 49-61.
- LECK, M.A.; PARKER, V.T.; SIMPSON, R.L. (2008): *Seedling Ecology and Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge, 514 S.
- LEDER, B. (1991): Untersuchungen über den Generationswechsel der Buche mit Hilfe der Vogelbeere. In: LAFO (Hrsg.): *Waldbau und Naturschutz I*. Schriftenreihe der Landesanstalt für Forstwirtschaft Nordrhein-Westfalen (2): 33-56.
- LEDER, B. (1992): Weichlaubhölzer: Verjüngungsökologie, Jugendwachstum und Bedeutung in Jungbeständen der Hauptbaumarten Buche und Eiche. *Schriftenr. LAFO-NRW Bd. 7*: 63-71.
- LEDER, B. (1995): Jugendwachstum und waldbauliche Behandlung von natürlich angesamten Weichlaubhölzern in Laubholzjungwüchsen. In: LÖBF (Hrsg.): *Weichlaubhölzer und Sukzessionsdynamik in der naturnahen Waldwirtschaft*. Schriftenreihe der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten/Landesamt für Agrarordnung Nordrhein-Westfalen, Bd. 4: 29-44.
- LEDER, B. (1996): Die Bedeutung der Vogelbeere bei Sekundärsukzessionen im Eggegebirge. *AFZ/DerWald* 51 (18): 997-1000.
- LEDER, B. (1997): Die Einbeziehung der Vogelbeere in die Jungbestandsphase von Hauptbaumarten. *AFZ-DerWald* 10: 530-534.
- LEDER, B. (1998): Die Vogelbeere – eine unterschätzte Baumart unserer Mittelgebirge. In: SCHMIDT, O. (1998): *Beiträge zur Vogelbeere*. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) Nr. 17: 31-44.
- HILLEBRAND, K.; LEDER, B.; (1995): Auch die Vogelbeere kann erhebliche Dimensionen erreichen. *Allg. Forstzeitschr./Der Wald* 50 (11): 582-584.
- LEDER, B.; PETRAK, M. (2000): Bedeutung der Vogelbeere für Waldbau und Wild. *LÖBF-Mitteilungen* 1/00: 28-32.
- LEE, W. K.; GADOW, K. V. (1997): Iterative Bestimmung der Konkurrenz bäume in *Pinus densiflora* Beständen. *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung* 168 (3-4): 41-44.

- LEHTONEN, A.; MAKIPAA, R.; HEIKKINEN, J.; SIEVANEN, R.; LISKI, J. (2004): Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management* 188 (1-3): 211-224.
- LINDER, P.; ELFVING, B.; ZACKRISSON, O. (1997): Stand structure and successional trends in virgin boreal forest reserves in Sweden. *Forest Ecology and Management* 98: 17-33.
- LINNERT, M. (2009): Wachstum und Qualität junger Buchen in einem unterschiedlich aufgelichteten Fichtenaltbestand. Universitätsverlag Göttingen.
- LIU, J.; ASHTON, P.S. (1995): Individual-based simulation models for forest succession and management. *Forest Ecology and Management* 73 (1): 157-175.
- LOCKOW, K.-W. (1998): Ertragstabellen für die Sandbirke (*Betula pendula* Roth) sowie für die Moorbirke (*Betula pubescens* Ehrh.) für das nordostdeutsche Tiefland. Landesforstanstalt Eberswalde.
- LOKVENC, T., & CHROUST, L. (1987): Influence of birch on spruce culture growth. Lesnictví-UVTIZ (Czechoslovakia). Tschechische Sprache mit englischer Zusammenfassung.
- LOHR, C.; STEIGER, G. (2000): Datenfluss vom Forsteinrichter zum forstlichen Anwender. Das Sächsische Forsteinrichtungssystem FESA. *AFZ/DerWald* 1: 7-9.
- LOTT, J.E.; HOWARD, S.B.; BLACK, C.R.; ONG, C.K. (2000): Allometric estimation of above-ground biomass and leaf area in managed *Grevillea robusta* agroforestry systems. *Agroforestry systems*: 49 (1): 1-15.
- LUDWIG, J. (1998): Das Saaler Birken-Lichtwuchsmodell – The heavy Thinning Modell of Saal (Mecklenburg-Pomerania). *Forst und Holz* 4: 112-116.
- LÜPKE, B. v. (1991): Einfluß der Konkurrenz von Weichlaubhölzern auf das Wachstum junger Traubeneichen. *Forst und Holz* 7: 166-171.
- LYR, H.; FIEDLER, H. J.; TRANQUILLINI, W. (1992): Physiologie und Ökologie der Gehölze. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart, 620 S.
- MCCÁRTHAIGH, D.; SPETHMANN, W. (Eds.) (2000): Krüssmanns Gehölzvermehrung. Parey bei Blackwell
- MÄKINEN, H. (1997): Possibilities of competition indices to describe competitive differences between Scot pine families. *Silva Fennica* 31 (1): 43-52.
- MÄKINEN, H. (1999). Growth, suppression, death, and self-pruning of branches of Scots pine in southern and central Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 29 (5): 585-594.
- MÄKINEN, H.; COLIN, F. (1999): Predicting the number, death, and self-pruning of branches in Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research* 29 (8): 1225-1236.
- MÅRD, H. (1997): Damage and growth response in suppressed *Picea abies* after removal of overstorey birch (*Betula* spp.). *Scandinavian Journal of Forest Research* 12: 248-255.
- MAUER, O.; PALÁTOVÁ, E. (2002). Mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.) root system morphogenesis. *Journal of Forest Science* 48: 342-350.
- MC DONALD, B.; MORRIS, D.M.; MARSHALL, P.L. (1990): Assessing components of competition indices for young boreal plantations. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 1060-1068.
- MESSIER, C.; PUTTONEN, P. (1994): Growth, allocation, and morphological responses of *Betula pubescens* and *Betula pendula* to shade in developing Scots pine stands. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 629-637.

- MESSIER, C.; PUTTONEN, P. (1995): Growth, allocation, and morphological responses of *Betula pubescens* and *Betula pendula* to shade in developing Scots pine stands. Canadian Journal of Forest Research 25 (4): 629-637.
- METTE, H.-J.; KOMMERT, R.; BLOSSFELD, O. (1989): Holzkundliche Grundlagen der Forstnutzung (2. Aufl.). VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 148 S.
- MILLER, G.R.; KINNAIRD, J.W.; CUMMINS, R.P. (1982): Liability of saplings to browsing on a red deer range in the scottish Highlands. Journal of Applied Ecology 19: 941-951.
- MILNIK, A. (Ed.). (2013). In Verantwortung für den Wald: die Geschichte der Forstwirtschaft in der Sowjetischen Besatzungszone und der DDR. 2. Auflage. Verlag Kessel. 650 S.
- MINISTERIUM FÜR LAND,-FORST- UND NAHRUNGSGÜTERWIRTSCHAFT (1985): Verfügung über die Grundsätze für die Bewirtschaftung der Wälder der Deutschen Demokratischen Republik
- MITSCHERLICH, G. (1970). Wald, Wachstum und Umwelt, Bd. I, Form und Wachstum von Baum und Bestand, JD Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M.
- MÖLLER, A. (1922): Der Dauerwaldgedanke. Sinn und seine Bedeutung. Springer, Berlin, 84 S.
- MOOSMAYER, M.; GILSA, H. (2004): Das neue Forsteinrichtungsverfahren in Baden-Württemberg. AFZ-DerWald 4: 206-208.
- MOSANDL, R. (1996): Strategien und Hemmnisse beim Übergang zum „naturnahen“ Waldbau im sächsischen Mittelgebirge. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten Heft6/96. Graupa: LAF, 53-63.
- MOSANDL, R.; EL KATEB, H.; ECKER, J. (1991): Untersuchungen zur Behandlung von jungen Eichenbeständen. Forstwissenschaftliches Centralblatt vereinigt mit Tharandter forstliches Jahrbuch 110 (1): 358-370.
- MOSHAMMER, R. (2005): Erfassung der Biodiversität von Wäldern anhand von Stichprobeninventuren. In: Korn, H.; Feit, U. (Bearb.): Treffpunkt Biologische Vielfalt VI. Aktuelle Forschung im Rahmen des Übereinkommens über die biologischen Vielfalt vorgestellt auf einer wissenschaftlichen Expertentagung an der Internationalen Naturschutzakademie Insel Vilm vom 22. – 26. August 2005; Seiten: 193-197.
- MOTTA, R. (2001): Ungulate impact on rowan (*Sorbus aucuparia* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst.) height structure in mountain forest in the eastern Italian Alps. Forest Ecology and Management, 181: 139-150.
- MÜLLER, K. (1998): Untersuchungen zur Struktur und Ableitung von Empfehlungen zur waldbaulichen Behandlung eines Fichten-Ebereschen-Jungwuchses unter besonderer Berücksichtigung ökologischer Aspekte in den Höheren Berg- und Kammlagen des Thüringer Waldes – Anlagen eines Bewirtschaftungsversuches. Diplomarbeit an der TU-Dresden, Forstwiss., Tharandt. 67 S.
- MÜLLER, K. (1999): Waldbauliche Behandlung eines Fichten-Ebereschen-Jungwuchses. AFZ/DerWald 24: 1310-1312.
- MÜLLER, K.H. (2002): mündliche Mitteilung
- MÜLLER, K.H. (2004): Lückendynamik in Fichtenreinbeständen des Erzgebirges – Bestandesreaktion, Ressourcenverfügbarkeit und Empfehlungen zum Waldumbau. Forstwiss. Beiträge Tharandt, Heft 18. Ulmer, Stuttgart, 230 S.

- MÜLLER, K.; WAGNER, S. (2003): Fine root dynamics in gaps of Norway spruce stands in the German ore Mountains. *Forestry* 76 (2): 149-158.
- MÜLLER, K.H.; WAGNER (2004): Integration of gap dynamics in the forest restoration of pure Norway spruce stands of the German Ore Mountains. In: FÜRST, C.; BITTER, A. W.; EISENHAUER, D.-R.; MAKESCHIN, F.; RÖHLE, H.; ROLOFF, A.; WAGNER, S. (Eds.): Sustainable Methods and Ecological Processes of a Conversion of Pure Norway Spruce and Scots Pine Stands into Ecologically Adapted Mixed Stands. *Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt / Contributions to Forest Sciences Heft 20*: 167-175
- MÜNDER, K. (2005): Konkurrenzuntersuchungen und Wachstumsmodellierung in Waldumbaubeständen des Mittleren Erzgebirges. Dissertation. Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der Technischen Universität Dresden, 160 S.
- MUNRO, D.D. (1974). Forest growth models-a prognosis. In: Fries, J. (Ed.), Growth models for tree and stand simulation, Department of Forest Yield Research, Royal College of Forestry, Stockholm. Research Note 30: 7-21.
- MURACH, D. (1984): Die Reaktion der Feinwurzeln von Fichten auf zunehmende Bodenversauerung. *Göttinger Bodenk. Berichte* 77, 128 S.
- MYKING, T.; SOLBERG, E.J.; AUSTRHEIM, G.; SPEED, J.D.M.; BØHLER, F.; ASTRUP, R.; ERIKSEN, R. (2013): Browsing of willow (*Salix caprea* L.) and rowan (*Sorbus aucuparia* L.) in the context of life history strategies: a literature review. *Eur J Forest Res* 132: 399-409.
- MYSTERUD, A.; ASKILSRUD H.; LOE, L.E.; VEIBEERG, V. (2010): Spatial patterns of accumulated browsing and its relevance for management of red deer *Cervus elaphus*. *Wildlife Biology* 16: 162-172.
- NAGEL, J. (1996): Anwendungsprogramm zur Bestandesbewertung und zur Prognose der Bestandesentwicklung. *Forst und Holz* 51 (3): 76-78.
- NAGEL, J. (1999): Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems Nordwestdeutschland. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanstalt*, Band 128, J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M., 122 S.
- NAGEL, J.; WAGNER, S.; BIBER, P.; GUERICKE, M. (1996): Vergleich von Strahlungswerten aus Fisheye-Fotos und Modellrechnungen. *Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Ertragskunde: Beiträge zur Jahrestagung*. Neresheim 20 (22): 306-313.
- NAMVAR, K.; SPETHMANN, W. (1985): Die Baumarten der Gattung Sorbus: Vogelbeere, Mehlbeere, Elsbeere und Speierling. *AFZ* 36: 937-943.
- NÄTHER, W.; WÄLDER, K. (2003): Experimental Design and Statistical Inference for Cluster Point Processes – with applications to the Fruit Dispersion of Anemochorous Forest Trees. *Biometrical Journal*: 1006-1022.
- NÄTHER, W.; WÄLDER, K. (2007): Applying fuzzy measures for considering interaction effects in root dispersal models in Fuzzy Sets and Systems 158.
- NELDER, J.A. (1962): New kinds of systematic designs for spacing experiments. *Biometrics* 18 (3): 283-307.
- NEUPERT, J. (1965): Vergleichende ertragskundliche Untersuchungen zwischen Fichte und Eberesche in der Oberförsterei Oberhof. Diplomarbeit, 71 S.

- NIELSEN, C.; MACKENTHUN, G. (1991): Die horizontale Variation der Feinwurzelintensität in Waldböden in Abhängigkeit von der Bestockungsdichte. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 162 (5/6): 112-119.
- NIELSON, C.N.; DENCKER, I. (1998): Root architecture and root/shoot-ratios of Norway spruce as affected by thinning intensity and soil type in Denmark. *Root Demographics and Their Efficiencies in Sustainable Agriculture, Grasslands and Forest Ecosystems Developments in Plant and Soil Sciences* 82: 721-735.
- NIKLAS, K. J. (1994): *Plant allometry: the scaling of form and process*. University of Chicago Press.
- NILSSON, U.; GEMMEL, P. (1993): Changes in growth and allocation of growth in young *Pinus sylvestris* and *Picea abies* due to competition. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8 (1-4): 213-222.
- NOWACK, S. (2012): Ziele für ein neues Forsteinrichtungsprogramm/-verfahren. *AFZ-DerWald* 21: 4-5.
- NÜBLEIN, S. (1995): *Struktur und Wachstumsdynamik juengerer Buchen-Edellaubholz-Mischbestände in Nordbayern*. Forstliche Forschungsberichte Muenchen (Germany). no. 151.
- NUTTO, L. (1999): *Neue Perspektiven für die Begründung und Pflege von jungen Eichenbeständen*. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.
- OLIVER, C.D.; LARSON, B.C. (1996): *FOREST STAND DYNAMICS*. J. WILEY, NEW YORK
- OLSSON, U.; BINKLEY, D.; SMITH, F.W. (1998): Nitrogen Supply, Nitrogen Use and Production in an Age Sequence of Lodgepole Pine. *Forest Science* 44 (3): 454-457.
- ONTRUP, G. (2008): Vortrag: [http://www.uni-trier.de/index.php?id=141&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=6546&cHash=0f3b9d3eb6e6d5468d5afd5921ef1a05](http://www.uni-trier.de/index.php?id=141&tx_ttnews[tt_news]=6546&cHash=0f3b9d3eb6e6d5468d5afd5921ef1a05)  
[https://www.uni-trier.de/fileadmin/forschung/FRU/Downloads/Kolloquium\\_zur\\_Regional-\\_und\\_Umweltstatisik/Ontrup.pdf](https://www.uni-trier.de/fileadmin/forschung/FRU/Downloads/Kolloquium_zur_Regional-_und_Umweltstatisik/Ontrup.pdf)
- OTTO, A. (2014): mündliche Mitteilung
- OLSTHOORN, A.F.M.; BARTELINK, H.H.; GARDINER, J.J.; PRETZSCH, H.; HEKHUIS, H.J.; FRANC, A. (1999): *Management of mixed-species forest: silviculture and economics*. IBN Scientific Contributions 15, DLO Institute for Forestry and Nature Research (IBN-DLO), Wageningen, 389 p.
- PACALA, S.W.; CANHAM, C.D.; SILANDER JR, J.A.; KOBE, R.K. (1994): Sapling growth as a function of resources in a north temperate forest. *Canadian Journal of Forest Research* 24 (11): 2172-2183.
- PELKKI, H. (2004): Effects of thinning in a Cherrybark oak plantation. *Southern Journal of Applied Forestry* 28 (1): 55-58.
- PETERS, R.; TANAKA, H.; SHIBATA, M.; NAKASHIZUKA, T. (1995): Light climate and growth in shade-tolerant *Fagus crenata*, *Acer mono* and *Carpinus cordata*. *Ecoscience* 2 (1): 67-74.
- PIOVESAN, G.; ADAMS, J.M. (2005): The evolutionary ecology of masting: does the environmental prediction hypothesis also have a role in mesic temperate forests? *Ecological Research* 20 (6): 739-743.

- PLAUBORG, K.U. (2004): Analysis of radial growth responses to changes in stand density for four tree species. *Forest Ecology and Management* 188: 65-75.
- POLOMSKI, J.; KUHN, N. (1992): *Wurzelsysteme*. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Stuttgart, Wien, 290 S.
- PRESSLER, H.P. (1866): Der forstliche Zuwachsbohrer neuester Construction. *Tharandter forstliches Jahrbuch* 17: 155-223.
- PRETZSCH, H. (1992): Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. *Forstliche Forschungsberichte München, Schriftenreihe der Universität München und der bayerischen forstlichen Versuchsanstalt* Nr. 115.
- PRETZSCH, H. (2002): *Grundlagen der Waldwachstumsforschung*. Verlag Parey, Berlin, 414 S.
- PRIEN, S. (1964): Untersuchungen über waldbauliche und holzkundliche Eigenschaften der Eberesche (*Sorbus aucuparia* L.). Dissertation TU Dresden, Sektion Forstwirtschaft Tharandt, 227 S.
- PRIEN, S. (1967): Rationelle Pflege des Ebereschenvorwaldes. *Sozialistische Forstwirtschaft* 17: 176-180.
- PRIEN, S. (1995): Struktur, waldbauliche Eigenschaften und waldbauliche Bedeutung von Ebereschenvorwäldern. *Schriftenr. LÖBF-NRW* 4:45-61.
- PRIEN, S. (1997): Die Bedeutung der Vogelbeere für freilebende Vögel und Säugetiere. *Allg. Forstzeitschr./Der Wald* 52 (10): 551-553.
- PRIEN, S.; LEMME, H. (1997): Risikofaktoren, Schädigungen und Forstschutzmaßnahmen bei Vogelbeere. *Allg. Forstzeitschr./Der Wald* 52 (10): 524-529.
- PRYOR, D. (2010): Analysis of Light Environments under Forest Canopies using Integrated Digital Hemispherical Image System. Dissertation. Staffordshire University, 182 S.
- PUKKALA, T.; KOLSTRÖM, T. (1987): Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine.
- PUKKALA, T.; MIINA, J.; KELLOMÄKI, S. (1998): Response to Different Thinning Intensities in Young *Pinus sylvestris*. *Scand. J. For. Res.* 13: 141-150.
- PUKKALA, T.; MIINA, J.; PALAHÍ, M. (2002): Thinning response and thinning bias in a young Scots pine stand. *Silva Fennica* 36 (4): 827-840.
- RAATIKAINEN, M.; ROSSI, E.; VÄNNINEN, I. (1990): Berry yield of rowan (*Sorbus aucuparia* L.). *Memoranda Societatis pro Fauna et Flora Fennica* 66 (2): 68-74.
- Raspé, O.; Findlay, C.; Jacquemart, A.-L. (2000): *Sorbus aucuparia* L.. *Journal of Ecology* 88: 910-930.
- RAUH, W. (1939): Über die Gesetzmäßigkeit der Verzweigung und deren Bedeutung für die Wuchsform der Pflanzen. *Mitteldeutsche dendrologische Gesellschaft* 52: 86-111.
- REGNELL, M.; GAILLARD, M.J.; BARTHOLIN, T.S.; KARSTEN, P. (1995): Reconstruction of environment and history of plant use during the late Mesolithic (Ertebolle culture) at the inland settlement of Bokeberg-III, southern Sweden. *Vegetation History and Archaeobotany* 4: 67-91.
- REINHARDT, W. (2008): mündliche Mitteilung
- REINWARTH, J. (2002): mündliche Mitteilung



- REIS (1994): Untersuchungen über das Konkurrenzverhalten von Fichte und Eberesche im Oberharz. Diplomarbeit FHS Hildesheim/Holzmindn: Göttingen: 52S.
- REITBERGER, J. (2010): 3D-Segmentierung von Einzelbäumen und Baumartenklassifikation aus Daten flugzeuggetragener Full Waveform Laserscanner. Unpublished doctoral dissertation, TU Munich, Munich, Germany.
- REQUARDT, A.; KÖHL, M.; NÄSCHER, F. (2004): Ist Nachhaltigkeit messbar und dokumentierbar? Eine Herausforderung an die gesamteuropäischen Kriterien und Indikatoren. *AFZ/DerWald* 9: 494-498.
- RIBBENS, E.; SILANDER, J.A. Jr.; PACALA, S.W. (1994): Seedling recruitment in forests: Calibrating models to predict patterns of tree seedling dispersion. *Ecology* 75 (6): 1794-1806.
- RICHTER, C. (2010): Holzmerkmale. 3. Aufl. Leinfelden-Echterdingen, DRW-Verlag, 223 S.
- RIVAS, J.J.C.; GONZÁLEZ, J.G.Á.; AGUIRRE, O.; HERNÁNDEZ, F.J. (2005): The effect of competition on individual tree basal area growth in mature stands of *Pinus cooperi* Blanco in Durango (Mexico). *European Journal of Forest Research* 124 (2): 133-142.
- ROGGE M. (2007): Ernte, Saatgut und Anzucht der Vogelbeere. *AFZ/DerWald* 10: 522-523.
- RÖHLE, H.; HUBER, W. (1985): Untersuchungen zur Methode der Ablotung von Kronenradien und der Berechnung von Kronengrundflächen. *Forstarchiv* 56: 238-243.
- RÖHLE, H. (1995): Großräumige Änderungen der Wachstumsbedingungen in Bayern - dargestellt am Beispiel der Fichte. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde des DVFFA Joachimsthal, 29.-31.05.1995; 86-98 S.
- RÖHLE, H.; GEROLD, D.; SCHRÖDER, J.; MÜNDEK, K. (2004-2011): BWINPro – Programm zur Bestandesanalyse und Prognose. Handbuch zur gemeinsamen Version von BWINPro und BWINPro-S, Version 6.3. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt und TU Dresden, Lehrstuhl für Waldwachstum und Holzmeßkunde.
- RÖHRIG, E.; BARTSCH, N.; LÜPKE, B.V. (2006): Waldbau auf ökologischer Grundlage. 7. Vollständig aktualisierte Auflage, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 479 S.
- ROLOFF, A. (2001): Baumkronen: Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens, Verlag Ulmer, Stuttgart, 148 S.
- ROLOFF, A.; GRUNDMANN, B.M. (2008): Waldbaumarten und ihre Verwendung im Klimawandel. *Archiv Forstwes. Landsch. ökol*, 42: 97-109.
- ROLOFF, A.; WEISGERBER, H.; LANG, U.; STIMM, B. (2010): Bäume Mitteleuropas – Von Aspe bis Zirbel-Kiefer, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 479 S.
- ROSENBERG, A. (1995): Klimatische Einflüsse auf den Durchmesserzuwachs von Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) und Eberesche (*Sorbus aucuparia* L. syn. Vogelbeere) in den Hochlagen des Sauerlandes. Diplomarbeit. Forstl. Fak. Göttingen, 98 S.
- ROSIN, A. (2000): Aktuelle Waldbaukonzepte Deutschlands im Vergleich untereinander sowie International. Diplomarbeit an der Georg-August-Universität Göttingen, 120 S.
- RYAN, M.G.; BINKLEY, D.; FOWNES, J.H. (1997): Age-Related Decline in Forest Productivity: Pattern and Process. 214-262. Siehe desktop
- SACHS, L. (1999): Angewandte Statistik – Anwendung statistischer Methoden. 9. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York. Springer-Verlag, 881 S.

- SACHSSE, H.; NEUFELDT, P.; OECHSLER, E. (1988): Untersuchung wichtiger Holzeigenschaften der Eberesche (*Sorbus aucuparia* L.). Holz als Roh- und Werkstoff 46 (6): 207-213.
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN (1998): Zuordnung der natürlichen Waldgesellschaften zu den Standortsformengruppen (Ökogramme), Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 15/98.
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN (1999): VwV Waldbaugrundsätze. Verwaltungsvorschrift des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft über die Waldbaugrundsätze für den Staatswald des Freistaates Sachsen (Landeswald) vom 01.01.1999
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN (2002): Richtlinien zur Bestandespflege und Werttätung im Staatswald des Freistaates Sachsens, 40 S.
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTWIRTSCHAFT (LAF) (1996): Waldumbau. Heft 6/96, 150 S.
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN, (1995): Arbeitsanweisung zur bestandesweisen Zustandserfassung und Planung (Waldaufnahmebeleg), Fassung vom 01.06.1995.
- SMUL (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT) (1999): Verwaltungsvorschrift des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft über die Waldbaugrundsätze für den Staatswald des Freistaates Sachsen (Landeswald), vom 1.1.1999 (VwV Waldbaugrundsätze)
- SMUL (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT) (2013): Waldstrategie 2050 für den Freistaat Sachsen, 46 S.
- SAETRE, P. (1999): Spatial patterns of ground vegetation, soil microbial biomass and activity in a mixed spruce-birch stand. *Ecography* 22 (2): 183-192.
- SATAKE, A.; BJØRNSTAD, O.N.; KOBRO, S. (2004): Mastings and trophic cascades: interplay between rowan trees, apple fruit moth, and their parasitoid in southern Norway. *Oikos* 104: 540-550.
- SCHÄDELIN, W. (1942): Die Auslesedurchforstung als Einzelhieb höchster Wertleistung. (3.Aufl.). Verlag Paul Haupt, Bern-Leipzig. 147 S.
- SCHINDLER, T. (1992): Waldbauliche Eignung und Behandlung der Eberesche in Pionier- und Schutzwaldbestockungen von SO<sub>2</sub>-Schadgebieten des Erzgebirges am Beispiel des Raumes Seiffen/Deutsch-Einsiedel. Diplomarbeit. Technische Universität Dresden, Fakultät Bau-, Wasser- und Forstwesen, 108 S.
- SCHLESINGER, U. (1995): Assimilattransport und Kohlenhydratverteilung in *Fraxinus excelsior* L. und *Sorbus aucuparia* L.. Dissertation Fachbereich Bio- und Geowissenschaften, Universität Essen. 167 S.
- SCHMALEN, W. (1997): Die Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*) – ihre Beerntung und Nachzucht. In: SCHMIDT, O. (1998): Beiträge zur Vogelbeere. Berichte aus der Bayrischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) Nr. 17: 50-55.
- SCHMIDT, F. (1981): Gebt den Weichlaubhölzern eine Chance! *Allgemeine Forstzeitschrift* 36: 310-311.
- SCHMIDT, O. (1989): Zur Gefährdung der Vogelbeere durch Insektenfraß. *AFZ* 14: 358-359.
- SCHMIDT, P. (1995): Übersicht der natürlichen Waldgesellschaften Deutschlands. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 4.

- SCHMIDT, O. (1998): Beiträge zur Vogelbeere. Berichte aus der Bayrischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) Nr. 17
- SCHMIDT-VOGT, H. (1977). Die Fichte: ein Handbuch in zwei Bänden. Band 1. Taxonomie: Verbreitung: Morphologie: Ökologie: Waldgesellschaften. Parey, Hamburg: 647 S.
- SCHMIDT-VOGT, H.(1989): Die Fichte-2,2: Krankheiten, Schäden, Fichtensterben. Parey Verlag, Hamburg.
- SCHMIDT-VOGT, H. (1991): Die Fichte-2,3: Waldbau, Ökosysteme, Urwald, Wirtschaftswald, Ernährung, Düngung, Ausblick. Parey Verlag, Hamburg, 732 S.
- SCHMIDTKE, H., BUDMIGER, P., & TOMISAWA, S. (2000): Interpretation von Stichprobendaten aus digitalen Orthofotos. AFZ/Der Wald 55 (4): 212-214.
- SCHNOKLAKE, S.; AKÇA, A.; (1998): Möglichkeiten und Grenzen der einfachen Luftbilddauswertung. AFZ/DerWald 24:1452-1453.
- SCHOBER, R. (1971): Die Rotbuche. Schriftenreihe der Universität München und der Bayerischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, Nr. 115.
- SCHREIBER A.; ELMER W.; EERLBECK G. (1996): Die Orkankatastrophe und Borkenkäferkalamität im Thüringer Wald 1946 bis 1954. Entstehung, Schadensbewältigung und Wiederbewaldung der Kahlfächenlandschaft im Mittleren Thüringer Wald. Mitteilungen der Landesanstalt für Wild, Jagd und Fischerei. Aus den thüringischen Wäldern, Sonderdruck 4/1999.
- SCHRÖDER, J. (2004). Zur Modellierung von Wachstum und Konkurrenz in Kiefern/Buchen-Waldumbaubeständen Nordwestsachsens. Dissertation. Forstwissenschaftliche Beiträge Heft 19.
- SCHUA, K.; WENDE, S.; WAGNER, S.; FEGER, K.H. (2015): Soil Chemical and Microbial Properties in a Mixed Stand of Spruce and Birch in the Ore Mountains (Germany)—A Case Study. Forests 6 (6): 1949-1965.
- SCHUBERT, J. (1999): Lagerung und Vorbehandlung von Saatgut wichtiger Baum- und Straucharten. Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten, Landesanstalt für Argarordnung NRW (LÖBF), Eberswalde-Finow.
- SCHUTZGEMEINSCHAFT DEUTSCHER WALD E.V. (1997): Baum des Jahres 1997: Die Vogelbeere/Eberesche. Baum des Jahres Nr.11: 4 S.
- SCHÜTZ, J.-P. (1975): Dynamique et conditions d'équilibre de peuplements jardinés sur les stations de la hêtraie à sapin. Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen 126: 637-671.
- SCHÜTZ, J. P. (1989). Zum Problem der Konkurrenz in Mischbeständen. Schweiz. Z. Forstwes. 140 (12): 1069-1083.
- SCHÜTZ, J.-P. (1999): Praktische Bedeutung der Überführung für die Umsetzung der Plenteridee. In: Hanewinkel, M. (Hrsg.): Berichte Freiburger Forstliche Forschung, Heft 8. Überführung von Altersklassenwäldern in Dauerwälder. Freiburg. 217 S.
- SCHWANECKE, W. (1993): Merkmalstabellen für Haupt- und Lokalbodenformen der forstlichen Standortserkundung im Freistaat Sachsen (Bodenformenkatalog). Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten.
- SCHWANECKE, W.; KOPP, D. (1996): Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 15/98.

- SCHWAPPACH, A.F. (1929): Ertragstabellen der wichtigeren Holzarten in tabellarischer und graphischer Form.
- SCHWEINGRUBER, F.H. (2001): Dendroökologische Holzanatomie. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. Verlag Haupt Bern Stuttgart Wien. 472 S.
- SHAINSKY, L.J.; RADOSEVICH, S.R. (1991): Analysis of yield-density relationships in experimental stands of Douglas-fir and red alder seedlings. *Forest Science* 37 (2): 574-592.
- SHINOZAKI, K.; YODA, K.; HOZUMI, K.; & KIRA, T. (1964a): A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory: I. Basic analyses. *Japanese Journal of Ecology* 14 (3): 97-105.
- SHINOZAKI, K., YODA, K., HOZUMI, K., & KIRA, T. (1964b). A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory: II. Further evidence of the theory and its application in forest ecology. *Japanese Journal of Ecology* 14 (4): 133-139.
- SIMARD, S.W.; BLENNER-HASSETT, T.; CAMERON, I.R. (2004): Pre-commercial thinning effects on growth, yield and mortality in even-aged paper birch stands in British Columbia. *Forest Ecology and Management* 190 (2): 163-178.
- SLOBODA, B.; PFREUNDT, J. (1989): Baum- und Bestandeswachstum. Ein systemanalytischer räumlicher Ansatz mit Versuchsplanungskonsequenzen für die Durchforstung und Einzelbaumentwicklung. Tagungsbericht von der Jahrestagung Sektion Ertragskunde der DVFFA, Attendorn 1989.
- SNELL, O. (1892): Die Abhängigkeit des Hirngewichts von dem Körpergewicht und den geistigen Fähigkeiten. *Arch. Psychiatr.* 23, 436-446.
- SNORRASON, A.; EINARSSON, S.F. (2006): Single-tree biomass and stem volume functions for eleven tree species used in Icelandic forestry. *ICEL. AGRIC. SCI.* 19: 15-24.
- SPD; BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (2013): Erneuerung und Zusammenhalt Nachhaltige Politik für Niedersachsen – Koalitionsvertrag zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD) Landesverband Niedersachsen und Bündnis 90/Die Grünen Landesverband Niedersachsen für die 17. Wahlperiode des Niedersächsischen Landtages 2013 bis 2018. 96 S.
- SPEIDEL, G. (1972): Planung im Forstbetrieb: Grundlagen und Methoden der Forsteinrichtung. Paul Parey
- SPELSBERG, G. (1997): Situation der Vogelbeere im Staatswald Nordrhein-Westfalen. *AFZ-DerWald* 10: 539-541.
- SPERENS, U. (1996): Is fruit and seed production in *Sorbus aucuparia* L.(Rosaceae) pollen-limited?. *Ecoscience*, 325-329.
- SPERENS, U. (1997a): Fruit production in *Sorbus aucuparia* L.(Rosaceae) and pre-dispersal seed predation by the apple fruit moth (*Argyresthia conjugella* Zell.). *Oecologia* 110 (3): 368-373.
- SPERENS, U. (1997b): Long-term variation in, and effects of fertiliser addition on, flower, fruit and seed production in the tree *Sorbus aucuparia* (Rosaceae). *Ecography*, 20(6), 521-534.
- SPLETTSTÖBER (1936): Eine Verwertung für Vogelbeerholz. *Der deutsche Forstwirt* 18 (19): 238.
- SPRUGEL, D.G.; HINCKLEY, T.M.; & SCHAAP, W. (1991): The theory and practice of branch autonomy. *Annual Review of Ecology and Systematics* 309-334.

- STÄDLER, H. (1998): "Löwe-Waldbau" mit Birke, Aspe und Eberesche – Begleitende Pionierbaumarten des südniedersächsischen Berglandes. *AFZ-DerWald* 18: 959-961.
- STEINIGEN, A. (1996). Untersuchungen zu den Auswirkungen einer Defoliation durch *Operophtera brumata* L. (Lepidoptera, Geometridae) auf die Bestandesstruktur von Ebereschen-Vorwäldern bei Seiffen (Mittleres Erzgebirge) (Diplomarbeit).
- STIELL, W.M. (1970): Some competitive relations in a red pine plantation. *Dep. Fish. For., Can. For. Serv. Publ.* 1275. 10S.
- STOYAN, D.; STOYAN, H. (1992): *Fraktale-Formen-Punktfelder/Methoden der Geometrie-Statistik*. Akademie-Verlag, Berlin, 394 S.
- STOYAN, D.; WAGNER, S. (2001): Estimating the fruit dispersion of anemochorous forest trees. *Ecolog. Modelling* 145: 35-47.
- SUZUKI, M.; HIURA, T. (2000): Allometric differences between current-year shoots and large branches of deciduous broad-leaved tree species. *Tree Physiology* 20: 203-209.
- SVOBODA, P. (1937): *Z biologie jeřábu*. *Lesn. Práce* 16: 337–357.
- TEISCHINGER, A. (2007): Ressourcenverknappung in der Holzwirtschaft als Herausforderung für Technologie und Innovation. *Lignovisionen* 15: 48.
- TEUFFEL, K.V.; BAUMGARTEN, M.; HANEWINKEL, M.; KONOLD, W.; SAUTER, U.H.; SPIECKER, H.; WILPERT, K.V. (2005): *Waldumbau für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 422 S.
- TEUFFEL, K.V.; BAUMGARTEN, M. (2005): *Waldumbau: Für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft Ergebnisse aus dem Südschwarzwald*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 413 S.
- THAM, A. (1988): Yield prediction after heavy thinning of birch in mixed stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and birch (*Betula pendula* Roth & *Betula pubescens* Ehrh.). Department of Forest Yield Research. Report No. 23. Swedish University of Agricultural Sciences, 36 S.
- THOMAS, S.C. (1996): Asymptotic height as a predictor of growth and allometric characteristics in Malaysian rain forest trees. *Am. J. Bot.* 83: 556-566.
- THOMASIU, H. (1990): Vorkommen, Bedeutung und Bewirtschaftung der Fichte in der DDR. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 109: 138-151.
- THOMASIU, H. (1996): Geschichte, Anliegen und Wege des Waldumbaus in Sachsen. In: *Waldumbau – Beiträge zum Kolloquium*. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 6/96: 11-52.
- TMLFUN (2010): *Thüringische Forsteinrichtungsanweisung und Anweisung zur Fortschreibung der Waldbiotopkartierung für den Staats- und Körperschaftswald*.
- THÜRINGENFORST (2013): mündliche Mitteilung
- TIEDE, T.; HERZOG, S. (2004): Using zoochorous dispersal within the scope of converting pine and spruce pure stands into mixed forests. In: FÜRST, C.; BITTER, A. W.; EISENHAEUER, D.-R.; MAKESCHIN, F.; RÖHLE, H.; ROLOFF, A.; WAGNER, S. (Eds.): *Sustainable Methods and Ecological Processes of a Conversion of Pure Norway Spruce and Scots Pine Stands into Ecologically Adapted Mixed Stands*. *Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt / Contributions to Forest Sciences Heft* 20: 144-152.
- TOMÉ, M.; BURKHART, H.E. (1989): Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees. *Forest Science* 35 (3): 816-831.

- TOMPO, E.; GSCHWANTNER, TH.; LAWRENCE, M.; MCROBERTS, R.E. (2010): National forest inventories, Springer Verlag Heidelberg Dordrecht London New York
- TREMME, D.C.; BAZZAZ, F.A. (1995): Plant architecture and allocation in different neighborhoods: implications for competitive success. *Ecology*: 262-271.
- TRIEMER, F. (2013): Die Aussaat von Ebereschen-Trester (*Sorbus aucuparia* L.) auf einer Umwandlungsfläche im Erzgebirge. Bachelorarbeit. Fachrichtung Forstwissenschaften Tharandt, 50 S.
- TURCEK, F.J. (1961): Ökologische Beziehungen der Vögel und Gehölze. Bratislava, 329 S.
- TÜRK, W. (1997): Die Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*) als Bestandteil einheimischer Wald- und Gebüschgesellschaften. In: SCHMIDT, O. (1998): Beiträge zur Vogelbeere. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) Nr. 17: 22-30.
- UDATA (2006): Generierung von rasterbasierten täglichen Witterungsdaten für das Land Sachsen. In: CHMIELEWSKI, F-M.; HENNIGES, Y.; SCHULTZE, B.; PÖHLER, H.; SCHERZER, J. (2006): Projektbericht „Weiterentwicklung von WaSiM-ETH und COUPMODEL - Implementierung flexibler Vegetationsperioden, (KliWEP Phänologie – Forstmodul).
- UHL, E. (2009): Variabilität des Zuwachsverhaltens unter- und zwischenständiger Bäume nach Freistellung, ein Beitrag zur Baumart Fichte (*Picea abies* (L.) KARST.). DVFFA – Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 2009: 61-68.
- UNGER, J. (1997): Die Gemeine Eberesche (*Sorbus aucuparia* L.) - Stand des Wissens sowie Untersuchungen über ihr Triebhängewachstum und die Ursache der Garbenbildung (Diplomarbeit)
- URBAN, S.T.; LIEFFERS, V.J.; MACDONALD, S.E. (1994): Release in radial growth in the trunk and structural roots of white spruce as measured by dendrochronology. *Canadian Journal of Forest Research* 24 (8): 1550-1556.
- UTSCHIG, H. (2002): Analyse der Standraumökonomie von Einzelbäumen auf langfristig beobachteten Versuchsflächen - Methoden, Programmentwicklung und erste Ergebnisse. *Forstw. Cbl.* 121: 335-348.
- UTSCHIG, H., PRETZSCH, H. (2001): Der Eichen-Durchforstungsversuch Waldleiningen 88. Auswirkungen unterschiedlicher Eingriffsstärken nach 65 Jahren Beobachtung. *Forstw. Cbl.* 120: 90--113.
- VÁLEK, Z. (1977): Lesní dřeviny jako vodohospodářský a protierozní činitel. Praha, SZN: 203.
- VALENTINE, H.T.; HILTON (1977): Sampling oak foliage by the randomized-branch method. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 295-298.
- VALENTINE, H.T.; TRITTON, L.M.; FURNIVAL, G.M. (1984): Subsampling trees for biomass, volume or mineral content. *Forest Science* 30: 673-68.
- VANNINEN P.; WLITALO, H.; SIEVÄNEN, R.; MÄKELÄ, A. (1996): Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Trees* 10 (4): 231-238.
- VANNINEN, P.; MÄKELÄ, A. (2000): Needle and stem wood production in Scots pine (*Pinus sylvestris*) trees of different age, size and competitive status. *Tree Physiology* 20 (8): 527-533.

- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1993): Richtlinie 3793 Blatt 2. Messen von Vegetationschäden am natürlichen Standort – Interpretationsschlüssel für die Auswertung von CIR-Luftbildern zur Kronenzustandserfassung von Nadel- und Laubgehölzen (Fichte, Buche, Eiche, Kiefer).
- VERTESSY, R.A.; BENYON, R.G.; O' SULLIVAN, S.K.; GRIBBEN, P.R. (1995): Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest. *Tree Physiology* 15: 559-567.
- WAGENFÜHR, R. (2000): *Holzatlas*. Hanser Verlag, Leipzig, 707 S.
- WAGNER, S. (1994): Strahlungsschätzung in Wäldern durch hemispärische Fotos. Methode und Anwendung. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen. Reihe A, Band 123*. 166 S.
- WAGNER, S. (1997): Ein Modell zur Fruchtausbreitung der Esche (*Fraxinus excelsior* L.) unter Berücksichtigung von Richtungseffekten. *AFJZ* 168 (8): 149-155.
- WAGNER, S. (2007): Rationaler Waldumbau – Fragen und Anregungen. *Forst und Holz* 62 (8): 12-17.
- WAGNER, S. (2008): Klimawandel: Überlegungen zu waldbaulichen Strategien. *AFZ-DerWald* 20: 1104-1107.
- WAGNER, S.; FISCHER, H. (2007): Klimawandel –wie reagiert der Waldbau. *ProWALD* 3 (2007): 4-7.
- WAGNER, S.; FISCHER, H. (2008): Die Bestandesbehandlung und deren technologische Umsetzung (B11) – waldbauliche Aspekte, Skript B11; 146 S.
- WAGNER, S.; RÖKER, B. (1999): Birkenanflug in Eichenkulturen: Untersuchungen zur Dynamik der Konkurrenz über 7 Vegetationsperioden. *Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten – Sektion Waldbau; Tagung vom 9. bis 11. September 1998 in Eberswalde*.
- WAGNER, S.; RÖKER, B. (2000): Birkenanflug in Stieleichenkulturen - Untersuchungen zur Dynamik der Konkurrenz über 5 Vegetationsperioden. *Forst und Holz* 55: 18-22.
- WAGNER, S.; SPELLMANN, H. (1995): Methodische Probleme bei der Erfassung der Konkurrenzsituation zwischen Baumarten in Jungwüchsen. *DVFFA, Gotha, Tagungsbeitrag* 105-122.
- WAGNER, S.; WÄLDER, K.; RIBBENS, E.; ZEIBIG, A. (2004): Directionality in fruit dispersal models for anemochorous forest trees. *Ecological Modelling* 179 (4): 487-498.
- WÄLDER, O.; WÄLDER, K. (2008): Modeling the fine root biomass dispersion using a special influence function. *iForest – Biogeosciences and Forestry* 1: 141-144.
- WALKER, J.; SHARPE, P.J.H.; PENRIDGE, L.K.; WU, H. (1989): Ecological Field –theory: the concept and field tests. *Vegetatio* 83: 81-95.
- WALLENIUS, T.H. (1999): Yield variations of some common wild berries in Finland in 1956±96. *Annales Botanici Fennici* 36: 299-314.
- WEICHEL, H.; KLEINSCHMIT, B. (2010): Editorial - Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, Heft 4, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) Stuttgart
- WEIDEMANN, H.-J. (1986): *Tagfalter* Bd. 1, Neumann-Neudamm
- WEIDEMANN, H.-J. (1988): *Tagfalter*, Bd. 2, Neumann-Neudamm

- WEIDENBACH, P. (2001): Waldbauliche Ziele im Wandel. In: Der Bürger im Staat - Der deutsche Wald, 51 (1): 30-38.
- WEIHS (1995): Waldumbau auf Tieflands- und Mittelgebirgsstandorten in Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten Heft 19/99.
- WEINER, J. (2001): The nature of tree growth and the „age-related decline in forest productivity“. OIKOS 94 (2): 374-376.
- WEINER, J. (2004): Allocation, plasticity and allometry in plants. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 6/4: 207-215.
- WENK, G.; RÖMISCH, K.; GEROLD, D. (1984): DDR-Fichtenertragstafel 1984, Tharandt, 64 S.
- WENK, G.; ANTANAITIS, V.; SMELKO, S. (1990): Waldertragslehre, Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin GmbH, 448 S.
- WEST, B.T.; WELCH, K.B.; GALECKI, A.T. (2014): Linear mixed models: a practical guide using statistical software. CRC Press.
- WICKEL, A. (1998): Waldumbau aus ökologischer Verantwortung. In: Waldumbau – Beiträge zum Kolloquium. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten. Heft 6/96: 7-10.
- WICKEL, A.; BENABDELLAH, B.; KÜBNER, R.; RAJANOW, S. (1998): Waldumbau und Wiederbewaldung im Osterzgebirge. AFZ/DerWald 18: 949-952.
- WIDLÓWSKI, J.-L.; VERSTRAETE, M.; PINTY, B.; GOBRON, N. (2003): Allometric relationships of selected European tree species. European Commission Joint Research Centre. Technical Report. EUR 20855 EN. EC Joint Research Centre, Ispra, Italy.
- Wood, J.E.; Althen, F.W.v.; Mitchell, E.G. (1996): Crown release improves growth of 20-year-old *Betula alleghaniensis* in tolerant northern hardwood stands. New forests 12 (2): 87-99.
- WU, H.; SHARPE, P.J.H.; WALKER, J.; PENRIDGE, L.K. (1985): Ecological Field Theory: A spatial analysis of resource interference among plants. Ecological Modelling 29: 215-243.
- WUTZLER, T.; WIRTH, C.; SCHUMACHER, J. (2008): Generic biomass functions for Common beech (*Fagus sylvatica* L.) in Central Europe – predictions and components of uncertainty. Canadian Journal of Forest Research 38 (6): 1661-1675.
- ZEIBIG (2002): mündliche Mitteilung
- ZERBE, S. (1993): Die Eberesche (*Sorbus aucuparia*) in Wald- und Gebüschgesellschaften unter besonderer Berücksichtigung schutzwürdiger Ebereschen-Buchenwälder in hochmontanen Lagen des Thüringer Waldes. Fragmenta floristica geobotanica 38 (1): 183-198.
- ZERBE, S. (2000): Eberesche und Birke: ein biologisch-ökologisches Kurzporträt von zwei sehr unterschiedlichen Weichlaubhölzern. Forst und Holz 55 (16): 499-502.
- ZERBE, S. (2001): On the Ecology of *Sorbus aucuparia* (Rosaceae) with special regard to germination, establishment and growth. Polish Botanical Journal 46 (2): 229–239.
- ZERBE, S.T.; MEIWES, K.J. (2000): Zum Einfluß von Weichlaubhölzern auf Vegetation und Auflagehumus von Fichtenforsten – Untersuchungen in einem zwei Jahrzehnte alten Birken-Ebereschen-Vorwald im Hoch-Solling. Forstw. Cbl. 119: 1-19.
- ZIANIS, D.; MUUKKONEN, P.; MÄKIPÄÄ, R.; MENCUCCINI, M. (2005): Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe. Silva Fennica Monographs 4, 63 S.



- ŻYWIEC, M.; HOLESKA, J. (2012): Sprouting extends the lifespan of tree species in a seedling bank: 12-year study. *Forest Ecology and Management* 284: 205–212.
- ŻYWIEC, M.; HOLESKA, J.; LEDWOŃ, M. (2012): Population and individual level of masting in a fleshy-fruited tree. *Plant Ecol* 213:993–1002.
- ŻYWIEC, M.; LEDWOŃ, M. (2008): Spatial and temporal patterns of rowan (*Sorbus aucuparia* L.) regeneration in West Carpathian subalpine spruce forest. *Plant Ecol* 194: 283-291.

**Abkürzungen**

ALM = Allgemeines Lineares Modell

Anmerk. d. Verfass. = Anmerkung der Verfasserin

BHD = Brusthöhendurchmesser

BWI = Bundeswaldinventur

cm = Zentimeter

DIFFSF = Diffuse Site Factor

dm = Dezimeter

FKI = Fisheyekonkurrenzindex

IUFRO = International Union of Forest Research Organizations

K-Index = Konkurrenzindex

K-Indizes = Konkurrenzindizes

m = Meter

n.s. = nicht signifikant ( $\alpha$ -Niveau = 0,005)

Z-Baum = Zukunftsbaum

ZmZ = Ziehen mit Zurücklegen

ZoZ = Ziehen ohne Zurücklegen

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Definition einschlägiger Begriffe für grundlegende Umgestaltungen von Wäldern.....	3
Tab. 2: Maximale Wachstumskennwerte von Fichte und Vogelbeere im Vergleich.....	29
Tab. 3: Verteilung und Auswahl der Bestände zur terrestrischen Inventur auf Flächen- und Altersklassen.....	48
Tab. 4: Baumartenunabhängiger Vitalitätsstufenschlüssel nach ROLOFF.....	53
Tab. 5: Baumartenverteilung des Forstbezirkes Bärenfels <sup>1</sup> , der Reviere Bärenfels und Seyde und der Waldteile Kreuzwald und Schönfeld <sup>2</sup> .....	55
Tab. 6: Mittlere Klimadaten für den Zeitraum 1970 bis 2003 und den Zeitraum 2000 bis 2003 in den Waldteilen Kreuzwald und Schönfeld.....	56
Tab. 7: Mittlere Klimadaten für die Jahre 2000, 2001, 2002 und 2003 in den Waldteilen Kreuzwald und Schönfeld.....	56
Tab. 8: Standörtliche Verhältnisse im Bereich der Versuchsanlage.....	57
Tab. 9: Kennzeichen der für die Wuchsreihe ausgewählten Fichtenbestände.....	61
Tab. 10: Parameter der Vogelbeeren und Fichtenkonkurrenten zur Ermittlung der Konkurrenzsituation.....	70
Tab. 11: Anzahl und Verteilung der Probebäume bei denen die Fisheye-Aufnahme in 5 m Höhe erfolgte, aber nicht in Höhe der definierten Lichtkronenbasis durchgeführt wurde.....	72
Tab. 12: Gemittelte Wachstumsparameter der generierten Fichtenbestände.....	74
Tab. 13: Methodenübersicht zur Konkurrenzbestimmung.....	75
Tab. 14: Bezeichnung und Beschreibung der Freistellungsvarianten im Versuchsdesign.....	76
Tab. 15: Planung und Vorgehen der experimentellen Freistellung am Beispiel der Vogelbeere Bä-909.....	77
Tab. 16: Verteilung der Probebäume auf die Faktorstufen.....	78
Tab. 17: Beobachtete Wachstumsparameter an den stehenden Probebäumen.....	79
Tab. 18: Anzahlen der zur Jahrringanalyse vermessenen Stammscheiben getrennt nach Stammbereichen.....	83
Tab. 19: Verteilung der Durchmesser der Probebäume zur Feinwurzeluntersuchung.....	91
Tab. 20: Wurzelmorphologische Kriterien der lebenden Fichten-Feinwurzeln und der lebenden und toten Vogelbeeren-Feinwurzeln.....	93
Tab. 21: Hierarchie der Assimilatverteilung.....	95
Tab. 22: Verteilung der gefälltten Referenzbäume.....	96
Tab. 23: Verteilung der gefälltten Probebäume.....	97
Tab. 24: Übersicht der bei der destruktiven Beprobung erfassten Parameter.....	98
Tab. 25: Übersicht der verwendeten RBS-Stichprobenvarianten.....	106
Tab. 26: Korrelationskoeffizienten und mögliche Interpretationen nach BROSIUS.....	108
Tab. 27: Übersicht der verwendeten nicht linearen Funktionen zur Bestimmung eines nicht linearen Zusammenhangs.....	109
Tab. 28: Werte der Vorgabeparameter der Wurzelverteilungsmodelle.....	117
Tab. 29: Mittelwerte, Minima, Maxima und Standardfehler der Höhenwerte, Altersangaben und Mischprozent der im Oberstand der Fichtenbestände (Datenabfrage FESA) eingemischten Vogelbeeren, aufgeteilt nach Fichtenaltersklassen.....	121
Tab. 30: Anzahl, Mittelwert, Minima, Maxima und Summen der Flächengröße der zur terrestrischen Inventur vorgeschlagenen Fichtenbestände mit einzelbaumweiser Beimischung von Vogelbeeren im Oberstand.....	122
Tab. 31: Prozentuale Verteilung der per terrestrischer Inventur aufgenommenen Vogelbeeren auf die ausgewählten Forstämter.....	123
Tab. 32: Mittlere Bestandeskennwerte der Fichtenbestände je nach Fichtenaltersklasse.....	124

Tab. 33: Modelle der BHD-Höhen-Beziehung der einzelbaumweise eingemischten Vogelbeeren aufgeteilt nach Altersklasse.....	126
Tab. 34: Volumenwerte der einzelbaumweise in den Oberstand eingemischten Vogelbeeren je Hektar anhand der terrestrischen Inventur in den Fichtenbeständen.....	127
Tab. 35: Besonderheiten und Einschränkungen der ermittelten Konkurrenzindizes K-Index, DIFFSF und FKI.....	133
Tab. 36: Mittlere Anzahl Fichtenkonkurrenten und entnommener Fichtenkonkurrenten je Altersstufe und Konkurrenzsituation.....	138
Tab. 37: Anzahl der durch die Freistellungsmaßnahmen geschädigten Vogelbeer-Probeebäume je Altersstufe, Konkurrenzsituation und Freistellungsvariante.....	139
Tab. 38a-b: Ergebnis des Post-hoc Tests (Scheffé-Prozedur) für DIFFSF in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe (a) und der Freistellungsvariante (b).....	142
Tab. 39: Ergebnisse der T-Tests.....	143
Tab. 40a-b: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests (nichtparametrisch) für (a) prozentualer BHD-Zuwachs nach 2 Vegetationsperioden und (b) prozentualer BHD-Zuwachs nach 3 Vegetationsperioden.....	146
Tab. 41a-b: Ergebnisse der T-Tests für (a) BHD-Zuwachs in Prozent nach 2 Vegetationsperioden und (b) BHD-Zuwachs in Prozent nach 3 Vegetationsperioden.....	147
Tab. 42: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur bezüglich der Höhenentwicklung der Vogelbeeren vor der Freistellung und in Abhängigkeit von der Fichtenaltersstufe.....	149
Tab. 43a-b: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests (a) Prozentualer Höhen-Zuwachs nach 2 Vegetationsperioden und (b) Prozentualer Höhen-Zuwachs nach 3 Vegetationsperioden.....	151
Tab. 44a-b: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur (a) Höhen-Zuwachs in Prozent nach 2 Vegetationsperioden in Abhängigkeit von der Altersstufe und (b) Höhen-Zuwachs in Prozent nach 3 Vegetationsperioden in Abhängigkeit von der Altersstufe.....	152
Tab. 45: Ergebnisse des Post-hoc-Tests für den mittleren Triebblängenzuwachs.....	155
Tab. 46: Ergebnisse des Post-hoc-Tests für die Summe der Triebblängen zwischen 2001 bis 2003.....	156
Tab. 47: Alter der Vogelbeeren unterteilt nach Fichtenaltersstufe.....	157
Tab. 48: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Fichtenaltersstufe auf die HD-Werte vor der Freistellung.....	163
Tab. 49: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Fichtenaltersstufe auf die HD-Werte der Vogelbeeren.....	165
Tab. 50: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den HD-Wert der Vogelbeeren nach Freistellung.....	165
Tab. 51: Ergebnisse der T-Tests für den Volumenzuwachs der Vogelbeeren in Abhängigkeit von der Fichtenaltersstufe nach 2 (a) und 3 (b) Vegetationsperioden.....	168
Tab. 52: Mittelwert, Minima, Maxima und Streumaße der Holzdichtewerte aus den Stammkompartimenten Stammfuß, Stammmitte und Baumspitze, aufgeteilt nach Splint- und Kernholz.....	169
Tab. 53: Ergebnisse des einfachen T-Tests für abhängige (gepaarte) Stichproben zur Unterscheidung der Holzdicke zwischen den Kompartimenten und dem Kern- und Splintholzbereich der Holzproben des Stammes.....	170
Tab. 54a: Ergebnisse der LSD-Prozedur für den Einfluss der Fichtenaltersstufe auf den prozentualen Zuwachs der Kronenradien-Werte.....	175
Tab. 54b: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Fichtenaltersstufe auf den prozentualen Zuwachs der Kronenradien-Werte.....	176
Tab. 55a: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Konkurrenzsituation auf den prozentualen Zuwachs der Kronenradien-Werte.....	176

Tab. 55b: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Fichtenaltersstufe auf den prozentualen Zuwachs der Kronenradien-Wert.....	176
Tab. 56a: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Fichtenaltersstufe auf die absoluten Kronenlängen nach 2 Vegetationsperioden.....	177
Tab. 56b: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Fichtenaltersstufe auf die absoluten Kronenlängen nach 3 Vegetationsperioden .....	177
Tab. 57a: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Konkurrenzsituation auf die absoluten Kronenlängen nach 2 Vegetationsperioden.....	178
Tab. 57b: Ergebnisse der Scheffé-Prozedur für den Einfluss der Konkurrenzsituation auf die absoluten Kronenlängen nach 3 Vegetationsperioden .....	178
Tab. 58: Ergebnisse des einfachen T-Tests für unabhängige Stichproben zur Unterscheidung der Primärastzuwächse zwischen Schattenkrone und Lichtkrone im Jahr 2000 vor der Freistellung.....	179
Tab. 59: Modellzusammenfassung Zusammenhang zwischen Astdurchmesser und Asttrockenmasse der beprobten Primäräste, Modelle getrennt nach Fichtenaltersstufe...	182
Tab. 60: Modellzusammenfassung für den Zusammenhang zwischen Durchmesser und Blatttrockenmasse der Primäräste.....	184
Tab. 61: Modellzusammenfassung für den Zusammenhang zwischen Splintfläche und Blatttrockenmasse der Primäräste, Modelle getrennt nach Kronenstratum und Fichtenaltersstufe.....	185
Tab. 62: Ergebnisse der Schätzungen mittels der RBS-Methoden ZmZ und ZoZ.....	187
Tab. 63: Schätzergebnisse und Varianzen der RBS-Methoden ZmZ und ZoZ für 10 gefällte Referenzbäume aus dem Jahr 2002.....	189
Tab. 64: Schätzergebnisse und Varianzen der RBS-Methode ZoZ unterteilt nach Licht- und Schattenkrone für 10 gefällte Referenzbäume aus dem Jahr 2002.....	189
Tab. 65: Modellzusammenfassung zwischen der geschätzten Gesamtblatttrockenmasse (Methode baumindividuelle Primärastdurchmesser-Blatttrockenmasse und Methode RBS-ZoZ) und dem BHD (zum Fällzeitpunkt) der Vogelbeeren aus dem Freistellungs-experiment.....	192
Tab. 66: Überblick über die fruchttragenden Probebäume in den Jahren 2001 und 2003.....	193
Tab. 67: Anzahl Früchte tragender Vogelbeeren in 2001.....	193
Tab. 68: Anzahl Früchte tragender Vogelbeeren in 2003.....	194
Tab. 69: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests.....	195
Tab. 70: Ergebnisse der Modellschätzung „Ribbens für einzelne BHDs“ für Baum Nr. 3202.....	199
Tab. 71a-b: Korrelation der geschätzten Parameter nach dem Ribbensmodell für einzelne BHDs für (a) Baum Nr. 3202 und (b) für Baum Nr. 2625.....	199
Tab. 72: Korrelation der beobachteten und geschätzten Messwerte nach dem Ribbensmodell für einzelne BHDs für Baum Nr. 3202.....	200
Tab. 73: Ergebnisse der Modellschätzung „Log-Normal mit BHD-Ausgleich“ und „Ribbens mit BHD-Ausgleich“ für einen mittleren Baum.....	202
Tab. 74: Korrelation der geschätzten Parameter nach dem Modell Log-Normalverteilung mit BHD-Ausgleich.....	202
Tab. 75: Korrelation der geschätzten Parameter nach dem Ribbensmodell mit BHD-Ausgleich.....	202
Tab. 76: Korrelation der beobachteten und geschätzten Messwerte nach dem Ribbensmodell für einzelne BHDs.....	203
Tab. 77: Ergebnisse der Schätzung der gesamten Feinwurzelmasse nach dem Modell Ribbens mit BHD-Ausgleich.....	204

Tab. 78: Vorkommen der Vogelbeere in den einzelnen Bundesländern (Abfrage aus der dritten Bundeswaldinventur, Thünen-Institut, Stand 2012.....	211
--	-----

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ziele und Techniken des Waldumbaus (aus: Sächsische Landesanstalt für Forsten (1999): Waldumbau auf Tieflands- und Mittelgebirgsstandorten in Sachsen).....	5
Abb. 2: Stand der Forsteinrichtung im Freistaat Sachsen, September 2001 .....	46
Abb. 3: Algorithmus der Datenabfrage nach den spezifischen Kriterien und der anschließenden Stichprobenziehung der Bestände zur terrestrischen Inventur.....	50
Abb. 4: Stammformen Charakteristika (aus RICHTER 2010).....	52
Abb. 5a-c: Mögliche Verzweiselungsformen der Baumart Vogelbeere nach METTE (1989).....	52
Abb. 6a-b: Vitalitätsstufen der (a) Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> L.) und (b) Kirsche ( <i>Prunus avium</i> L.).....	53
Abb. 7: Lage der Versuchsflächen im Forstbezirk Bärenfels.....	58
Abb. 8: Schematische Darstellung des experimentellen Designs.....	59
Abb. 9: Schematische Darstellung einer unechten Wuchreihe mit einem Übergang zu einer echten Wuchreihe.....	60
Abb. 10: Lage der Versuchsflächen im Luftbild; Flächennummer Bā-16, Bā-26 und Bā-32; Revier Bärenfels (Quelle: Google-Earth).....	62
Abb. 11: Lage der Versuchsflächen im Luftbild; Flächennummer Bā-19; Revier Seyde (Quelle: Google-Earth).....	62
Abb. 12: Herleitung der Konkurrenzsituation (K-Index) für den Laubbaum.....	69
Abb. 13: Vorstratifizierung der Probestämme in drei Stufen der Konkurrenzsituation anhand des ermittelten K-Indexes.....	69
Abb. 14: Negativ einer Fisheye-Aufnahme, Fichtenaltersstufe 26, Vogelbeere Nr. 32.....	71
Abb. 15: Bestandesplot der Vogelbeere Nr. 8, Fichtenaltersstufe 26.....	74
Abb. 16: Ausdruck eines simulierten hemisphärischen Fotos und dessen Auswertung nach Bestandesüberdeckung mit Hilfe des Programmes FISHPLOT für den Baum Bā-2632.....	75
Abb. 17: Grafische Darstellung der experimentellen Freistellung am Beispiel der Vogelbeere 1909.....	77
Abb. 18: Definition der erfassten Wachstumsparameter am Probebaum.....	80
Abb. 19: Schema der Stammholzbeprobung.....	82
Abb. 20: Messeinrichtung und Peilhilfe zur Kronenablotung.....	88
Abb. 21: Berechnung des Teilkreismodelles.....	88
Abb. 22: Design zur Probennahme mittels Wurzelbohrungen um den Einzelbaum.....	92
Abb. 23: Feinwurzeln der Baumart Vogelbeere.....	93
Abb. 24: Feinwurzeln der Baumart Fichte.....	93
Abb. 25: Definition der Astlänge (AstL) und des Astbasisdurchmessers (AstBaDm).....	100
Abb. 26: Kern und Splintholzfläche in einem Astquerschnitt.....	100
Abb. 27: Definition und Darstellung von Knoten, Segmenten und Zielgröße innerhalb des klassischen RBS-Schätzverfahrens.....	101
Abb. 28a-c: Herleitung der unbedingten Wahrscheinlichkeiten innerhalb der RBS-Schätzverfahren.....	103
Abb. 29: Definition und Darstellung von Knoten, Segment und Zielgröße innerhalb des bei den Probestämmen angewandten RBS-Schätzverfahrens ZoZ mit 2 Straten.....	106
Abb. 30: Flussdiagramm zum Vorgehen bei den varianzanalytischen Auswertungen des Datenmaterials.....	112
Abb. 31: Häufigkeitsverteilung der Bestände des Bestandestyps Fichte mit einer Beimischung von Vogelbeere im Oberstand in Prozent.....	120
Abb. 32: Mittelwerte der Höhenwerte der im Oberstand der Fichtenbestände eingemischten Vogelbeeren, aufgeteilt nach den Fichtenaltersklassen.....	121

Abb. 33: Häufigkeitsverteilung der per terrestrischer Inventur in Fichtenbeständen aufgenommenen, einzelbaumweise in den Oberstand eingemischten Vogelbeeren, aufgeteilt nach der Fichtenaltersklasse.....	123
Abb. 34: Mittlere Anzahl an Vogelbeeren je Hektar, die durch die terrestrische Inventur in Fichtenbeständen erfasst wurden und einzelbaumweise in den Oberstand eingemischt waren.....	124
Abb. 35: Mittlere Höhen der Vogelbeeren je Hektar, die durch die terrestrische Inventur in den Fichtenbeständen erfasst wurden und einzelbaumweise in den Oberstand eingemischt waren.....	125
Abb. 36a-d: Streudiagramme der BHD-Höhenbeziehung der einzelbaumweise eingemischten Vogelbeeren unterteilt nach Fichtenaltersklassen.....	126
Abb. 37a-d: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der soziologischen Stellung der per terrestrischer Inventur in Fichtenbeständen erfassten, einzelbaumweise in den Oberstand eingemischten Vogel-beeren. Die Aufteilung erfolgt nach Altersklassen.....	128
Abb. 38a-d: Häufigkeitsverteilung der Vitalitätsstufen nach ROLOFF (2001) an den per terrestrischer Inventur in Fichtenbeständen erfassten einzelbaumweise in den Oberstand eingemischten Vogelbeeren, aufgeteilt nach Altersklasse.....	129
Abb. 39a-d: Häufigkeitsverteilung der Stammform der per terrestrischer Inventur in Fichtenbeständen erfassten einzelbaumweise in den Oberstand eingemischten Vogelbeeren, aufgeteilt nach Altersklasse.....	130
Abb. 40a-d: Häufigkeitsverteilung der Verzweiselungen an den einzelbaumweise in den Oberstand eingemischten Vogelbeeren, die über die terrestrische Inventur in den Fichtenbeständen erfassten wurden; aufgeteilt nach Altersklasse.....	131
Abb. 41a-d: Häufigkeitsverteilung der Intensität des Schälsschadens an den per terrestrischer Inventur in Fichtenbeständen erfassten einzelbaumweise in den Oberstand eingemischten Vogel-beeren, aufgeteilt nach Fichtenaltersklasse.....	132
Abb. 42: Ausprägung der K-Index-Werte innerhalb der Fichtenaltersstufen und Konkurrenzsituationen vor der Freistellung.....	134
Abb. 43: Zusammenhang zwischen K-Index und FKI mit den Öffnungswinkeln 180° und 60° vor der Freistellung.....	135
Abb. 44: Zusammenhang zwischen K-Index und FKI mit den Öffnungswinkeln 180° und 60° nach der Freistellung.....	136
Abb. 45a-b: Zusammenhang zwischen DIFFSF, K-Index und FKI (180°, Schnittebene gleich Kamerahöhe der Fisheye-Aufnahme) nach der Freistellung.....	137
Abb. 46a-b: Differenz der FKI-Werte nach der Freistellungsbehandlung bei einem Öffnungswinkel von 180° in Abhängigkeit der Freistellungsstärke und der Fichtenaltersstufe (a) und der Freistellungsstärke und der Konkurrenzsituation (b).....	140
Abb. 47: DIFFSF in Abhängigkeit der Freistellungsvariante und der Fichtenaltersstufe....	141
Abb. 48: Mittlerer BHD (cm) der Probestämme in 2001 vor dem Durchforstungsexperiment in Abhängigkeit des Alters des Fichtenbestandes.....	143
Abb. 49: Zusammenhang zwischen Konkurrenzindex und BHD vor der Freistellung.....	144
Abb. 50a-b: Einfluss des Konkurrenzindex vor der Freistellung auf den prozentualen BHD-Zuwachs innerhalb der verschiedenen Fichtenaltersstufen (a) und Freistellungsvarianten (b).....	145
Abb. 51a-b: BHD-Zuwachs in Prozent nach zwei und nach drei Vegetationsperioden in Abhängigkeit der Freistellungsvariante.....	146
Abb. 52a-b: BHD-Zuwachs in Prozent nach 2 (a) und 3 (b) Vegetationsperioden in Abhängigkeit des Alters des Fichtenbestandes.....	147
Abb. 53a-b: Einfluss der Fichtenaltersstufe auf den prozentualen (relativen) BHD-Zuwachs nach 2 (a) und nach 3 (b) Vegetationsperioden in Abhängigkeit des BHDs vor der Freistellung.....	148



Abb. 54: Mittlere Höhe (cm) der Probebäume in 2001 vor dem Durchforstungsexperiment in Abhängigkeit des Alters des Fichtenbestandes.....	149
Abb. 55: Zusammenhang zwischen Konkurrenzindex und Höhe vor der Freistellung.....	150
Abb. 56a-b: Einfluss des Konkurrenzindex vor der Freistellung auf den prozentualen Höhen-Zuwachs nach (a) Fichtenalterstrufe und (b) nach Freistellungsstärke.....	150
Abb. 57a-b: Höhen-Zuwachs in Prozent nach (a) 2 und nach (b) 3 Vegetationsperioden in Abhängigkeit von der Freistellungsvariante.....	151
Abb. 58a-b: Höhen-Zuwachs in Prozent nach 2 (a) und 3 (b) Vegetationsperioden in Abhängigkeit des Alters des Fichtenbestandes.....	152
Abb. 59a-b: Höhen-Zuwachs in Prozent nach 2 (a) und nach 3 (b) Vegetationsperioden in Abhängigkeit der Ausgangs-Höhe des Probebaumes.....	153
Abb. 60: Mittelwert des absoluten Triebhöhenzuwachses der Probebäume je Freistellungsvariante in den Jahren 2000 bis 2003.....	154
Abb. 61: Mittlerer Triebhöhenzuwachs im Jahr 2003 in Abhängigkeit der Freistellungsvariante.....	155
Abb. 62: Aufsummierter Triebhöhenzuwachs der Jahre 2001 bis 2003 in Abhängigkeit der Freistellungsvariante.....	156
Abb. 63a-d: Darstellung des mittleren Jahrringzuwachses der nicht freigestellten und freigestellten Probebäume aus den Stammbereichen Stammfuß, BHD und Stammmitte über die Jahre 1998 bis 2003, aufgeteilt nach Fichtenaltersstufen.....	158
Abb. 64a-c: Darstellung des relativen Durchmessererlaufs der Probebäume innerhalb der Fichtenaltersstufen 16 und 26, unterteilt nach freigestellten und nicht freigestellten Bäumen.....	169
Abb. 65: Mittlerer Verlauf des Jahrringindex (JRI) in der Fichtenaltersstufe 16 für freigestellte und nicht freigestellte Vogelbeer-Probebäume.....	160
Abb. 66: Mittlerer Verlauf des Jahrringindex (JRI) in der Fichtenaltersstufe 26 für freigestellte und nicht freigestellte Vogelbeer-Probebäume.....	161
Abb. 67a-b: Ausprägung des Jahrring-Indexes 3 Vegetationsperioden vor und 3 Vegetationsperioden nach der Freistellung für die freigestellten und nicht freigestellten Bäume der Fichtenaltersstufen 16 (a) und 26 (b).....	162
Abb. 68: Einfluss des Alters der Fichtenbestände auf die HD-Werte der Vogelbeeren vor Beginn der experimentellen Freistellung.....	163
Abb. 69a-b: HD-Werte der Probebäume nach (a) 2 und (b) 3 Vegetationsperioden in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe und der Freistellungsvariante.....	164
Abb. 70a-b: HD-Werte der Probebäume nach (a) 2 und (b) 3 Vegetationsperioden in Abhängigkeit der Freistellungsvariante.....	165
Abb. 71: Ergebnisse der einfachen Volumenformel und der Volumenfunktion nach HILLEBRAND (1998) in Abhängigkeit des BHDs.....	166
Abb. 72: Differenz der Ergebnisse der einfachen Volumenformel und der Volumenfunktion nach HILLEBRAND (1998).....	167
Abb. 73a-b: Verlauf des prozentualen Zuwachses nach (a) 2 und nach (b) 3 Vegetationsperioden.....	168
Abb. 74a-b: Vergleich der Holzdichte im Kernholzbereich (a) und Splintholzbereich (b) der Kompartimente Stammfuß und Stammmitte.....	170
Abb. 75a-c: Gegenüberstellung von Kronenschirmflächen der Versuchsbäume aus verschiedenen Konkurrenzsituationen, Freistellungsvarianten und Fichtenaltersstufen mit Angabe des prozentualen Kronenschirmflächenzuwachses jeweils zwei Vegetationsperioden nach der Freistellung.....	173
Abb. 76a-b: Absoluter Zuwachs der Kronenschirmfläche nach 2 Vegetationsperioden (a) und nach 3 Vegetationsperioden (b) in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe und der Freistellungsvariante.....	174

Abb. 77a-b: Prozentualer Zuwachs der Kronenradien der Probebäume nach (a) 1 Vegetationsperiode und (b) nach 2 Vegetationsperioden in Abhängigkeit der Freistellungsvariante.....	175
Abb. 78: Ausprägung der Kronenlänge der Probebäume in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe und Konkurrenzsituation vor der Freistellung.....	177
Abb. 79a-b: Ausprägung der absoluten Kronenlänge der Probebäume in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe und Konkurrenzsituation nach 2 Vegetationsperioden (a) und nach 3 Vegetationsperioden (b).....	177
Abb. 80: Absoluter Primärastlängenzuwachs [cm] der Vogelbeeren in der Fichtenaltersstufe 16 und 26 unterteilt nach Schatten- und Lichtkrone im Jahr vor der Freistellung.....	179
Abb. 81: Summe Zuwachs der Primärastlängen nach 2 Vegetationsperioden in Abhängigkeit der Konkurrenzsituation und Freistellungsvariante.....	180
Abb. 82: Summe Zuwachs der Primärastlängen nach 3 Vegetationsperioden in Abhängigkeit des Kronenstratums.....	180
Abb. 83a-c: Zusammenhang zwischen Astdurchmesser und Asttrockenmasse der beprobten Primäräste.....	182
Abb. 84: Geschätzte Gesamtastattrockenmasse der Probebäume je Freistellungsvariante in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe.....	183
Abb. 85a-b: Zusammenhang zwischen Astdurchmesser und Blatttrockenmasse der beprobten Primäräste in der (a) Schattenkrone und in der (b) Lichtkrone.....	184
Abb. 86a-b: Zusammenhang zwischen Splintfläche und Blatttrockenmasse der beprobten Primäräste in der (a) Schattenkrone und in der (b) Lichtkrone.....	185
Abb. 87: Ergebnisse der RBS-Simulationsläufe ZmZ (N = 10) und ZoZ (N = 10), ohne Extremwert der ID 11904 mit 2095,16 g.....	186
Abb. 88: Gegenüberstellung der Ergebnisse von Blattmasseschätzungen und der realen Blattmasse (Linie) von 4 gefälltten Referenzbäumen aus dem Jahr 2001.....	187
Abb. 89: Gegenüberstellung der Gesamtblattmasseschätzungen mit den RBS-Methoden ZmZ und ZoZ in Abhängigkeit des BHDs für die neun gefälltten Referenzbäume aus dem Jahr 2002.....	188
Abb. 90: Differenzen der Schätzergebnisse zwischen RBS-ZoZ und Schätzung der gesamten Blatt-trockenmasse je eines Baumes mit der Hilfsvariablen der baumindividuellen Primärastdurchmesser (exponentiell) für die Vogelbeeren im Freistellungsexperiment.....	190
Abb. 91a-d: Zusammenhang zwischen der geschätzten Gesamtblatttrockenmasse (Methode Summe baumindividueller Primärastdurchmesser-Blatttrockenmasse und Methode RBS-ZoZ) und dem BHD (zum Fällzeitpunkt) der Vogelbeeren aus dem Freistellungsexperiment.....	191
Abb. 92a-b: Zusammenhang zwischen der geschätzten Gesamtblatttrockenmasse der gefälltten Vogelbeer-Probebäume mit (a) der Methode „baumindividuelle Primärastdurchmesser-Blatttrockenmasse“ und der Freistellungsvariante; (b): Zusammenhang zwischen der geschätzten Gesamtblatt-trockenmasse der gefälltten Vogelbeer-Probebäume mit der Methode RBS (ZoZ) und der Freistellungsvariante.....	192
Abb. 93a-b: Häufigkeitsverteilung der BHD-Werte von Probebäumen ohne Fruchtmasse in den Jahren (a) 2001 und (b) 2003.....	194
Abb. 94: Absoluter Zuwachs (Vegetationsperiode 2001-2003) der produzierten Fruchttrockenmasse in Abhängigkeit der Fichtenaltersstufe und der Freistellungsvariante.....	195
Abb. 95: Absolute Fruchttrockenmasse im Jahr 2003 in Abhängigkeit der Freistellungsvariante.....	195
Abb. 96a-b: Produzierte Fruchttrockenmasse in Abhängigkeit des BHD in den Jahren (a) 2001 und (b) 2003.....	196

---

Abb. 97a-b: Produzierte Fruchttrockenmasse in Abhängigkeit der (a) Kronenlänge und (b) der Kronenschirmfläche im Jahr 2001.....	197
Abb. 98: Beobachtete Feinwurzelmassen je m <sup>2</sup> von sieben Vogelbeeren in Abhängigkeit der Entfernung von der Stammachse und in Abhängigkeit des BHDs.....	198
Abb. 99: Verteilung der beobachteten und geschätzten Werte der Feinwurzel-dichten nach dem Ribbensmodell für einzelne BHDs mit zunehmender Entfernung zur Stammachse ( $R^2 = 0,32$ ), Baum Nr. 3202.....	200
Abb. 100: Verteilung der Residuen des Ribbensmodells für einzelne BHDs mit zunehmender Entfernung zur Stammachse, Baum Nr. 3202.....	201
Abb. 101: Verteilung der beobachteten und geschätzten Werte der Feinwurzel-dichten nach dem Ribbensmodell mit BHD-Ausgleich mit zunehmender Entfernung zur Stammachse.....	203
Abb. 102: Verteilung der Residuen des Ribbensmodells mit BHD-Ausgleich mit zunehmender Entfernung zur Stammachse, Referenz-BHD = 5,45cm.....	203
Abb. 103: Feinwurzel-dichte in Abhängigkeit der Entfernung zur Stammachse und der Stärke des BHDs, Modell Ribbens mit BHD-Ausgleich.....	204
Abb. 104: Allokationsmuster der produzierten Biomasse der Probestämme in Abhängigkeit der Freistellungsvariante, Konkurrenzsituation und Fichtenaltersstufe.....	206
Abbildung 105: Darstellung von Einflussfaktoren auf die betrachteten Allokationseinheiten (Biomassen) und Dimensionen der Probestämme und Zuordnung von Allokationstheorien.....	286
Abb. 106: Unterschiedliche Hierarchie der Mischungen.....	299



Anhang IIa: Deskriptive Statistik aller erfassten Jahringmesswerte (Zuwachsjahre 1998 bis 2003)

Zuwachs [mm]

Fichtenaltersstufe	Freistellungsvariante	Kompartiment	N	Mittelwert	Minimum	Maximum
16	keine	Stammfuß	32	1,45	,78	2,64
		BHD	32	1,48	,82	2,86
		Stammmitte	32	1,63	,96	2,62
		Insgesamt	96	1,52	,78	2,86
	mäßig	Stammfuß	30	1,35	,70	3,01
		BHD	30	1,51	,68	2,98
		Stammmitte	24	1,83	,72	3,32
		Insgesamt	84	1,54	,68	3,32
	stark	Stammfuß	38	1,85	,78	3,84
		BHD	38	1,54	,61	2,79
		Stammmitte	38	1,52	,67	2,71
		Insgesamt	114	1,64	,61	3,84
	Insgesamt	Stammfuß	100	1,57	,70	3,84
		BHD	100	1,51	,61	2,98
		Stammmitte	94	1,64	,67	3,32
		Insgesamt	294	1,57	,61	3,84
26	keine	Stammfuß	32	1,18	,48	2,10
		BHD	32	1,10	,55	1,87
		Stammmitte	32	1,50	,67	4,26
		Insgesamt	96	1,26	,48	4,26
	mäßig	Stammfuß	36	1,19	,65	2,31
		BHD	36	1,16	,74	1,82
		Stammmitte	36	1,29	,55	2,25
		Insgesamt	108	1,21	,55	2,31
	stark	Stammfuß	21	2,14	,80	6,24
		BHD	21	1,57	,58	3,08
		Stammmitte	21	1,93	,57	2,65
		Insgesamt	63	1,88	,57	6,24
	Insgesamt	Stammfuß	89	1,41	,48	6,24
		BHD	89	1,24	,55	3,08
		Stammmitte	89	1,52	,55	4,26
		Insgesamt	267	1,39	,48	6,24
Insgesamt	keine	Stammfuß	64	1,31	,48	2,64
		BHD	64	1,29	,55	2,86
		Stammmitte	64	1,57	,67	4,26
		Insgesamt	192	1,39	,48	4,26
	mäßig	Stammfuß	66	1,26	,65	3,01
		BHD	66	1,32	,68	2,98
		Stammmitte	60	1,51	,55	3,32

		Insgesamt	192	1,36	,55	3,32
	stark	Stammfuß	59	1,95	,78	6,24
		BHD	59	1,56	,58	3,08
		Stammmitte	59	1,67	,57	2,71
		Insgesamt	177	1,72	,57	6,24
	Insgesamt	Stammfuß	189	1,49	,48	6,24
		BHD	189	1,38	,55	3,08
		Stammmitte	183	1,58	,55	4,26
		Insgesamt	561	1,48	,48	6,24

Anlage IIb: deskriptive Statistik aller Jahringmesswerte vor der Freistellung (Zuwachsjahre 1998 bis 2003)

Zuwachs [mm]

Fichtenaltersstufe	Freistellungsvariante	Kompartiment	N	Mittelwert	Minimum	Maximum
16	keine	Stammfuß	18	1,5187	,89	2,64
		BHD	18	1,4895	,94	2,86
		Stammmitte	18	1,4903	,96	2,21
		Insgesamt	54	1,4995	,89	2,86
	mäßig	Stammfuß	15	1,2043	,70	3,01
		BHD	15	1,3102	,68	2,29
		Stammmitte	12	1,7827	,72	2,31
		Insgesamt	42	1,4074	,68	3,01
	stark	Stammfuß	21	1,4203	,78	3,57
		BHD	21	1,1937	,61	1,87
		Stammmitte	21	1,1264	,67	1,80
		Insgesamt	63	1,2468	,61	3,57
	Insgesamt	Stammfuß	54	1,3931	,70	3,57
		BHD	54	1,3246	,61	2,86
		Stammmitte	51	1,4093	,67	2,31
		Insgesamt	159	1,3750	,61	3,57
26	keine	Stammfuß	18	1,3521	,77	2,10
		BHD	18	1,2396	,68	1,87
		Stammmitte	18	1,4381	,89	2,29
		Insgesamt	54	1,3433	,68	2,29
	mäßig	Stammfuß	18	1,1299	,77	2,04
		BHD	18	1,1198	,74	1,82
		Stammmitte	18	1,2816	,55	2,25
		Insgesamt	54	1,1771	,55	2,25
	stark	Stammfuß	12	1,1858	,80	1,73
		BHD	12	1,1183	,58	1,73

		Stammmitte	12	1,8073	,57	2,65
		Insgesamt	36	1,3704	,57	2,65
	Insgesamt	Stammfuß	48	1,2272	,77	2,10
		BHD	48	1,1644	,58	1,87
		Stammmitte	48	1,4717	,55	2,65
Insgesamt	144	1,2878	,55	2,65		
Insgesamt	keine	Stammfuß	36	1,4354	,77	2,64
		BHD	36	1,3646	,68	2,86
		Stammmitte	36	1,4642	,89	2,29
		Insgesamt	108	1,4214	,68	2,86
	mäßig	Stammfuß	33	1,1637	,70	3,01
		BHD	33	1,2063	,68	2,29
		Stammmitte	30	1,4821	,55	2,31
		Insgesamt	96	1,2778	,55	3,01
	stark	Stammfuß	33	1,3350	,78	3,57
		BHD	33	1,1663	,58	1,87
		Stammmitte	33	1,3740	,57	2,65
		Insgesamt	99	1,2918	,57	3,57
	Insgesamt	Stammfuß	102	1,3150	,70	3,57
		BHD	102	1,2492	,58	2,86
		Stammmitte	99	1,4396	,55	2,65
		Insgesamt	303	1,3336	,55	3,57

Anlage IIc: Deskriptive Statistik aller Jahringmesswerte nach der Freistellung (Zuwachsjahre 1998 bis 2003)

Zuwachs [mm]

Fichtenaltersstufe	Freistellungsvariante	Kompartiment	N	Mittelwert	Minimum	Maximum
16	keine	Stammfuß	14	1,3594	,78	2,06
		BHD	14	1,4604	,82	2,34
		Stammmitte	14	1,8088	1,13	2,62
		Insgesamt	42	1,5429	,78	2,62
	mäßig	Stammfuß	15	1,4950	,77	2,73
		BHD	15	1,7120	1,06	2,98
		Stammmitte	12	1,8700	1,13	3,32
		Insgesamt	42	1,6796	,77	3,32
	stark	Stammfuß	17	2,3717	1,45	3,84
		BHD	17	1,9789	1,05	2,79
		Stammmitte	17	2,0154	1,31	2,71
		Insgesamt	51	2,1220	1,05	3,84
Insgesamt	Stammfuß	46	1,7777	,77	3,84	
	BHD	46	1,7341	,82	2,98	
	Stammmitte	43	1,9075	1,13	3,32	
	Insgesamt	135	1,8042	,77	3,84	
26	keine	Stammfuß	14	,9482	,48	1,51
		BHD	14	,9195	,55	1,57
		Stammmitte	14	1,5849	,67	4,26
		Insgesamt	42	1,1509	,48	4,26

	mäßig	Stammfuß	18	1,2501	,65	2,31
		BHD	18	1,1968	,79	1,80
		Stammmitte	18	1,3041	,62	2,18
		Insgesamt	54	1,2503	,62	2,31
	stark	Stammfuß	9	3,4008	1,86	6,24
		BHD	9	2,1836	1,55	3,08
		Stammmitte	9	2,0820	1,02	2,58
		Insgesamt	27	2,5555	1,02	6,24
	Insgesamt	Stammfuß	41	1,6192	,48	6,24
		BHD	41	1,3187	,55	3,08
		Stammmitte	41	1,5708	,62	4,26
		Insgesamt	123	1,5029	,48	6,24
Insgesamt	keine	Stammfuß	28	1,1538	,48	2,06
		BHD	28	1,1899	,55	2,34
		Stammmitte	28	1,6968	,67	4,26
		Insgesamt	84	1,3469	,48	4,26
	mäßig	Stammfuß	33	1,3614	,65	2,73
		BHD	33	1,4310	,79	2,98
		Stammmitte	30	1,5305	,62	3,32
		Insgesamt	96	1,4382	,62	3,32
	stark	Stammfuß	26	2,7279	1,45	6,24
		BHD	26	2,0498	1,05	3,08
		Stammmitte	26	2,0384	1,02	2,71
		Insgesamt	78	2,2720	1,02	6,24
	Insgesamt	Stammfuß	87	1,7030	,48	6,24
		BHD	87	1,5383	,55	3,08
		Stammmitte	84	1,7432	,62	4,26
		Insgesamt	258	1,6605	,48	6,24

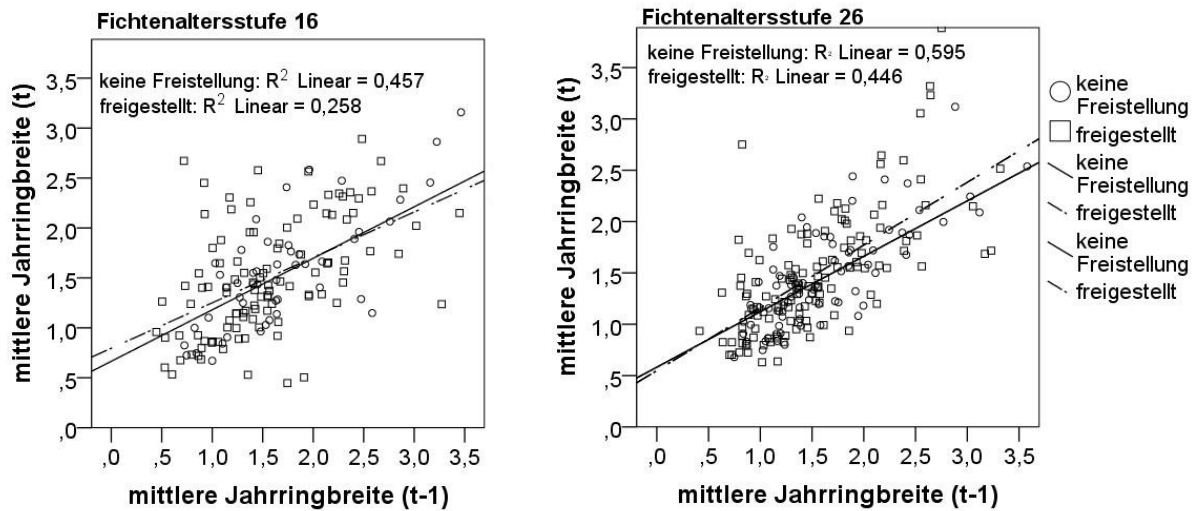
Anlage IId: Jahrringzuwachs im BHD-Bereich[mm]

Fichtenaltersstufe	Freistellungs- variante	Zeit- raum*	N	Mittel- wert	Mini- mum	Maxi- mum
16	keine	vor	18	1,49	0,94	2,86
		nach	14	1,46	0,82	2,34
	mäßig	vor	15	1,31	0,68	2,29
		nach	15	1,71	1,06	2,98
	stark	vor	21	1,19	0,61	1,87
		nach	17	1,98	1,05	2,79
	<b>gesamt</b>	<b>vor</b>	<b>54</b>	<b>1,32</b>	<b>0,61</b>	<b>2,86</b>
		<b>nach</b>	<b>46</b>	<b>1,73</b>	<b>0,82</b>	<b>2,98</b>
26	keine	vor	18	1,24	0,68	1,87
		nach	14	0,92	0,55	1,57
	mäßig	vor	18	1,12	0,74	1,82
		nach	18	1,20	0,79	1,8
	stark	vor	12	1,12	0,58	1,73
		nach	9	2,18	1,55	3,08
	<b>gesamt</b>	<b>vor</b>	<b>48</b>	<b>1,16</b>	<b>0,58</b>	<b>1,87</b>
		<b>nach</b>	<b>41</b>	<b>1,32</b>	<b>0,55</b>	<b>3,08</b>
<b>Über beide Fichtenalters- stufen</b>	keine	vor	36	1,36	0,68	2,86
		nach	28	1,19	0,55	2,34



	mäßig	vor	33	1,21	0,68	2,29
		nach	33	1,43	0,79	2,98
	stark	vor	33	1,17	0,58	1,87
		nach	26	2,05	1,05	3,08
	<b>gesamt</b>	<b>vor</b>	<b>102</b>	<b>1,25</b>	<b>0,58</b>	<b>2,86</b>
		<b>nach</b>	<b>87</b>	<b>1,54</b>	<b>0,55</b>	<b>3,08</b>
* Zeitraum vor oder nach dem Freistellungszeitpunkt (Frühjahr 2001)						
vor = Zuwachs bis zum Jahr 2000						
nach = Zuwachs ab dem Jahr 2001						

Anlage III: Ergebnisse der AR-1 Korrelationen als vorgelagerte Rechenschritte zur Ermittlung des Jahringindex nach BECK (2007)



---

## Erklärung

1. Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als diese kenntlich gemacht worden.
2. Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten:  
*-keine-*
3. Weitere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe eines oder mehrerer Promotionsberater(s) in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.
4. Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zwecke der Promotion vorgelegt.
5. Ich bestätige, dass ich die Promotionsordnung der Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der TU-Dresden anerkenne.

.....  
Ort, Datum

.....  
Unterschrift