

Wachstumssimulation in Mischbeständen

DISSERTATION

durchgeführt am
Institut für Waldwachstumsforschung
an der
Universität für Bodenkultur

Eingereicht von
Georg Erich KINDERMANN

Wien, 3. Februar 2004

Vorwort

HUBERT HASENAUER möchte ich für die Anregung, Betreuung und Unterstützung zu dieser Arbeit danken. Außerdem stellte er die finanzielle Unterstützung durch das EU Projekt ITM (Implementing Tree Growth Models as Forest Management Tool, Projektnummer QLRT 1999-31349) sicher. HARALD STRELEC möchte ich für die Betreuung des statistischen Teils sowie für die kritische Durchsicht des Manuskripts als auch hilfreicher und humorvoller Hinweise danken. HUBERT STERBA möchte ich für die erste Begeisterung für das Nachbilden der Natur mit Modellen, OTTO ECKMÜLLNER für die Beantwortung zahlreicher kleinerer und größerer Fragen sowie für den Datensatz des Nationalparks Kalkalpen, ALEXANDER PLONER für die Kurzeinführung in R sowie die Erstellung von Entscheidungsbäumen, MARTIN WEINGARTNER für eine wesentliche Erweiterung meines Verständnisses von Computern, ALEXANDER KITTENBERGER für die Demonstration effizienten Programmierens und zahlreicher Diskussionen und Anregungen zur Koordinatengenerierung, JOACHIM BUTZ für die Demonstration, daß man auch mit einem Konzept Programme erstellen kann, WOLFGANG BÖHEIM für die angenehme Zusammenarbeit im ITM-Projekt und THOMAS LEDERMANN für einige anregende Diskussionen über Verbesserungsmöglichkeiten bei der Modellierung, JOSEF GASCH für die aktive Mithilfe bei der Erstellung eines Verjüngungsaufnahmedesigns und zahlreicher fachlicher Diskussionen, FRIEDRICH VÖLK für seine kritischen Anmerkungen zum Wildverbiß und MONIKA OSENBURG für das Korrekturlesen danken.

Diese Arbeit konnte nur durch die Mithilfe zahlreicher Personen gelingen. Von diesen möchte ich MARTIN LEMBERGER und MANFRED PONGRUBER für die Hilfe bei der Verjüngungsaufnahme des Lehrforstes im Jahre 2000, CHRISTIAN SCHEIDL für die Verjüngungsaufnahme 1998 sowie die Bestandesaufnahme im Jahre 1997 im Lehrforst, FRITZ PUTZHUBER für die Aufnahmen im Lehrforst und Kammer, RALPH SDINO für die Aufnahmen in Litschau, MICHAEL GOLSER für Aufnahmen in Litschau, Lehrforst und Kammer sowie für seine Arbeiten zum Thema des Höhenzuwachses, JOSEF PAULIČ für die Mitwirkung bei fast allen Aufnahmen der Institutsdaten, MARJAN TOMAŽEJ, AGNES ANDREAE, JAN MERGANIČ und KATHARINA MERGANIČOVA für die Aufnahmen in Litschau, FLORIAN LINKO für die Aufnahmen in Kammer, MIKE BOKALO für die Aufnahmen im Lehrforst, JÜRGEN NAGEL für die Bestandesdaten aus Deutschland, ANDREAS ZINGG für die äußerst umfangreichen Bestandesdaten aus der Schweiz, MARKUS NEUMANN, GÜNTER RÖSSLER und FERDINAND KRISTÖFEL für die Daten der Versuchsanstalt, BERNHARD POSCH und PETER WEINFURTER für die Verbißdaten der ÖBF, danken.

Des weiteren gebührt all jenen Dank, welche die EDV-Verarbeitung durch die kostenlose zur Verfügungstellung von exzellenter Software ermöglichten. Dazu zählt die Gruppe des Debian Teams, welches es versteht, ein äußerst stabiles Linux-Betriebssystem zusammenzustellen. Außerdem allen, die zur Weiterentwicklung von Linux beigetragen haben und den Gedanken von Free Software vertreten. Zu den unzähligen Softwarepaketen, welche die Arbeit erleichterten oder erst ermöglichten, zählten: Bash, xterm, (X)Emacs, vi, sed, gcc, Perl, Tk/Tcl, GNU-Textutilities (sort, cut, uniq, join), L^AT_EX, R, SNNS, gnuplot, Grace, gnumeric, xfig, gv, mutt, elm, pine, Opera, Netscape, Mozilla, mc, mySql, Postgresql, Gnumeric und noch eine Menge weiterer Programme.

Zu guter letzt will ich noch meinen Eltern HELMUT und HILDE für das Korrekturlesen als auch meinen Geschwistern PETER, SONJA und STEFAN für deren Unterstützung danken.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Methoden	3
2.1	Bestehende Modelle	3
2.1.1	Moses	3
2.1.1.1	Konkurrenz	3
2.1.1.2	Bestandesrand	4
2.1.1.3	Potentielle Kronenradien	5
2.1.1.4	Höhenzuwachsmodell	5
2.1.1.5	Höhenzuwachspotential	6
2.1.1.6	Durchmesserzuwachsmodell	7
2.1.1.7	Durchmesserzuwachspotential	7
2.1.1.8	Kronenansatzmodell	8
2.1.1.9	Mortalitätsmodell	8
2.1.1.10	Überlebensfunktion	9
2.1.1.11	Schneebruch	9
2.1.2	Verjüngung	10
2.1.2.1	Höhenzuwachsmodell der Verjüngung	10
2.1.2.2	Mortalitätsmodell der Verjüngung	11
2.1.2.3	Verjüngungswahrscheinlichkeit und Verbißwahrscheinlichkeit	11
2.1.2.4	Verjüngungsdichte und Verjüngungshöhe	11
2.1.2.5	Oberhöhenkurven	13
2.1.3	Koordinatengenerierung	14
2.2	Verjüngung	16
2.2.1	Bestandeskoeffizienten	16
2.2.2	Standortskoeffizienten	17
2.2.3	Ankommen von Verjüngung	18
2.2.4	Höhenzuwachs	19
2.2.5	Mortalität	20
2.2.6	Verbiß	20
2.3	Koordinatengenerierung – Bestandesstruktur	21
2.3.1	Strukturkennzahlen	21
2.3.1.1	Abstand zum nächsten Nachbarn	21
2.3.1.2	Abstand zum nächst stärksten Nachbarn	22
2.3.1.3	Baumartengruppierungen	23
2.3.1.4	Durchmesserdifferenzierung	23
2.3.1.5	Standfläche	23
2.3.1.6	BHD-Verteilung	24
2.3.1.7	Behandlung von Randbäumen	24
2.3.2	Gesetzmäßigkeiten - Korrelationen	26
2.3.2.1	BHD und Abstand zwischen zwei Bäumen	26
2.3.2.2	Baumart des Nachbarn	27

2.3.2.3	Durchmesser des Nachbarn	27
2.3.2.4	Standfläche und BHD	27
2.3.2.5	BHD-Verteilung	27
2.3.3	Strukturерzeugung	27
2.3.3.1	Koordinatenerzeugung	27
2.3.3.2	Abstand zu Nachbarn verschieben	27
2.3.3.3	Nachbarschaftsbeziehung der Baumarten	28
2.3.3.4	Durchmesserdifferenzierung	28
2.3.3.5	Standflächenverteilung	28
2.3.3.6	BHD-Verteilung	28
2.4	Bestandesrand	28
2.4.1	Keine Berücksichtigung	29
2.4.2	Spiegelung der Probefläche	29
2.4.2.1	Spiegelung entlang der Aufnahmegrenze	29
2.4.2.2	Spiegelung entlang der ersten Baumreihe	29
2.4.2.3	Spiegelung um den untersuchten Baum	29
2.4.3	Verschieben der Probefläche	29
2.4.4	Gewichtung der Randbäume	30
2.4.4.1	Gewichtung mit der außerhalb liegenden Fläche	30
2.4.4.2	Gewichtung mit dem Verhältnis der Kreisbogenlängen	31
2.4.5	Aussparen eines fixen Randbereiches	31
2.4.6	Randbäume nicht auswerten	31
2.4.7	Generierung von Baumkoordinaten	31
2.4.8	Untersuchte Methoden	31
2.4.9	Anwendungsdesign der Randberücksichtigungsmethoden	31
2.5	Regression	32
2.5.1	Klassische Regressionen	33
2.5.1.1	Lineare und linearisierte Regression	33
2.5.1.2	Nichtlineare Regression	33
2.5.1.3	Logitregression	33
2.5.2	Neuronale Netze	33
2.5.3	Entscheidungsbaum	35
2.5.4	Lokale Regression	36
3	Daten	37
3.1	Verjüngung	37
3.1.1	Ankommen	37
3.1.1.1	Lehrforst	38
3.1.1.2	Hirschlacke	39
3.1.1.3	Nationalpark Kalkalpen	39
3.1.2	Höhenzuwachs	40
3.1.2.1	Lehrforst	46
3.1.2.2	Kammer	47
3.1.2.3	Litschau	47
3.1.3	Verbißanalyse	47
3.2	Koordinatengenerierung	48
3.3	Bestandesrand	52
4	Ergebnisse	53
4.1	Verjüngung	53
4.1.1	Ankommen	53
4.1.2	Höhenzuwachs	71
4.1.3	Verbiß	74
4.2	Bestandesstruktur	80

4.2.1	BHD und Abstand zwischen zwei Bäumen	80
4.2.2	Baumart des Nachbarn	87
4.2.3	Durchmesserdifferenzierung	88
4.2.4	Standfläche	89
4.2.5	Formkoeffizient der BHD-Verteilung	90
4.2.6	Beispiele von Koordinatengenerierungen	90
4.2.6.1	Hauersteig	90
4.2.6.2	Lehrforst	95
4.2.6.3	Neuerzeugung	95
4.2.6.4	Operatnachbildung	97
4.3	Bestandesrand – Randgewichtung	97
5	Implementierungsvorschläge	104
5.1	Verjüngung	104
5.1.1	Mortalität	104
5.1.2	Ankommen	104
5.1.3	Verbiß	106
5.1.4	Höhenzuwachs	106
5.2	Koordinatengenerierung	108
6	Diskussion	109
6.1	Bestehende Modelle	109
6.1.1	Konkurrenz	109
6.1.2	Potentielle Kronenradien	109
6.1.3	Höhenzuwachsmodele	110
6.1.4	Potentieller Durchmesserzuwachs	110
6.1.5	Kronenansatzmodell	111
6.1.6	Mortalitätsmodell	111
6.1.7	Koordinatengenerierung	111
6.2	Verjüngung	112
6.2.1	Ankommen von Verjüngung	112
6.2.2	Höhenzuwachs der Verjüngung	113
6.2.3	Verbiß	114
6.3	Koordinatengenerierung – Bestandesstruktur	115
6.4	Bestandesrand	118
6.5	Regression	119
A	Anhang	121
A.1	Verjüngungsaufnahme auf WZP-Punkt	121
A.2	Aufnahme von Fixflächen	129
A.3	C-Programm zur rechnerischen Randgewichtung	134
	Sachregister	144

Tabellenverzeichnis

2.1	Koeffizienten der Oberhöhenfunktionen	15
2.2	Verwendete Variablen der Verjüngungsmodelle	19
3.1	Anzahl der Probepunkte mit bestimmter Baumart in der WZP bzw. in der Verjüngung	43
3.2	Baumarten des Oberbestandes der Verjüngungsaufnahme	44
3.3	Einfluß von Bodenart und Seitenlicht auf das Ankommen von Verjüngung	45
3.4	Datenübersicht der Vollaufnahmen des Lehrforstes, Litschau und Kammer verwendet für das Höhenzuwachsmodell der Verjüngung	46
3.5	Datenübersicht der WZP 1998+00 für den Höhenzuwachs der Verjüngung	46
3.6	Datenübersicht der WZP 2002 für den Höhenzuwachs der Verjüngung	47
3.7	Stichprobenumfang der Verbißaufnahme	48
3.8	Anzahlübersicht der Probeflächen welche zur Koordinatengenerierung ausgewertet wurden	49
3.9	Anzahl der Beobachtungen zum nächsten Nachbarn	50
3.10	Anzahl der Probeflächen, wo diese Nachbarschaft beobachtet wurde (Insgesamt 190 Probeflächen)	51
3.11	Anzahl der Beobachtungen zum nächst stärksten Nachbarn	51
3.12	Anzahl der Probeflächen, wo diese Nachbarschaft bei WZP beobachtet wurde (Insgesamt 190 Probeflächen)	52
3.13	Datenübersicht der 106 Probeflächen zur Bestandesrandauswertung	52
4.1	Koeffizienten des Konkurrenzindes nach Gleichung (2.74)	53
4.2	Koeffizienten der Verjüngungswahrscheinlichkeits Logitmodelle und der Ln-Modells für N/m^2	54
4.3	Koeffizienten des Logitverjüngungsankommensmodells für Baumarten	55
4.4	Koeffizienten zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit, daß sich eine Baumart in den letzten fünf Jahren verjüngt hat	56
4.5	Koeffizienten zur Berechnung der Stammzahl der Baumart in der Verjüngung der letzten fünf Jahre	56
4.6	Schwellwerte der Verjüngungsankommensmodelle	58
4.7	Treffergenauigkeit der Ankommensmodelle bei $p = 0.5$	60
4.8	Treffergenauigkeit der Baumartenmodelle bei $p = 0.5$	61
4.9	Treffergenauigkeit der Modelle bei $p = z[0, 1]$	62
4.10	Treffergenauigkeit der Modelle bei $p = z[0, 1]$	63
4.11	Treffergenauigkeit der Direkt-Modelle bei $p = z[0, 1]$	64
4.12	Treffergenauigkeit der Modelle bei $p = \bar{x}$ der Beobachtung	65
4.13	Treffergenauigkeit der Modelle bei $p = \bar{x}$ der Beobachtung	66
4.14	Treffergenauigkeit der Modelle bei p so gewählt, daß das Modell gleiche Anzahlen wie Beobachtung ergibt	67
4.15	Treffergenauigkeit der Modelle bei p so gewählt, daß das Modell gleiche Anzahlen wie Beobachtung ergibt	68

4.16	Koeffizienten nach Gleichung (2.43), parametrisiert mit Vollaufnahmedaten	73
4.17	Koeffizienten nach Gleichung (2.43) wobei EIL durch SUMD ersetzt wurde, parametrisiert mit Vollaufnahmedaten	73
4.18	Koeffizienten nach Gleichung (2.78), parametrisiert mit Vollaufnahmedaten	74
4.19	Koeffizienten nach Gleichung (2.78), parametrisiert mit WZP-Daten	74
4.20	Höhenzuwachsfunction (2.78), mit den Parametern aus Tabelle 4.18, angewandt auf die WZP-Daten des Lehrforstes	75
4.21	Median der Stammzahlen bei entsprechendem Verbißprozent in der Höhenklasse bis 30 cm	77
4.22	Stichprobenumfang zur Berechnung der Stammzahlen bei entsprechendem Verbißprozent in der Höhenklasse bis 30 cm	78
4.23	Stammzahlverminderung durch Verbiß in der Höhenklasse bis 30 cm	78
4.24	Koeffizienten zur Beschreibung der BHD-Abhängigkeit des Abstandes zwischen zwei Bäumen	84
4.25	Abhängigkeit des Abstandes zwischen zwei Bäumen nach Prodan	85
4.26	Bereich des berechneten Clark & Evans und Prodanindex der einzelnen Probeflächen	85
4.27	Bereich des berechneten r_a/r_e der WZP der einzelnen Probeflächen	86
4.28	Baumartenindex des nächsten Nachbarn und des nächst stärksten Nachbarn	87
4.29	Durchmesserdifferenzierung	88
4.30	Durchmesserdifferenzierung über alle Probeflächen	89
4.31	Streuung der Standflächenprozent	89
4.32	Streuung des Formkoeffizienten	90
4.33	Korrelation und Regressionsanstieg zwischen wirklicher Stammzahl im Probekreis mit der hochgerechneten Stammzahl	100
4.34	Absolutglied und Anstieg einer linearen Regression	100
4.35	Mittelwert und Standardabweichung bei fixen Probekreisen	101
4.36	Standardabweichung und Mittelwert der Stammzahl bei verschiedenen Hochrechnungsfaktoren und einem Probekreisradius von 7.5 m	101
4.37	Flächenüberlappung mit Einflußradius $r = 3.75$ m	102
4.38	Standardabweichung bei CI mit $r = 3.75$ m	102
4.39	Überlappungsflächen mit Einflußradius $r = 3.75 - \sqrt{1 - \frac{113.5 - BHD}{113.5}}$ m	102
4.40	Standardabweichung der Flächenüberlappungen bei $r = 3.75 - \sqrt{1 - \frac{113.5 - BHD}{113.5}}$ m mit verschiedenen Hochrechnungsfaktoren	103

Abbildungsverzeichnis

2.1	Kronenüberlappung	4
2.2	Weibullverteilungen bei unterschiedlichen Formkoeffizienten	25
2.3	Probeflächenspiegelung	29
2.4	Probeflächentranslation	29
2.5	Spiegelung um einen Baum	30
2.6	Gewichtung mit Kreisflächenverhältnissen	30
2.7	Gewichtung mit dem Kreisbogenverhältnis	30
2.8	Probeflächendesign zur Untersuchung des Bestandesrandeinflusses	32
2.9	Versuchsdesign zur Untersuchung der Randgewichtungsmethoden	32
2.10	Darstellung der verarbeitenden Elemente eines neuronalen Netzes	34
2.11	Ein feedforward-Netzwerk mit drei Schichten von Verbindungen und vier Zellschichten	34
2.12	Durch lokale Regression berechnete Höhenkurve	36
2.13	Mittels lokaler Regression ausgeglichene Sinusfunktion, welcher eine Zufallsstreuung aufgelagert wurde.	36
3.1	Verjüngung je m^2 auf den Probeflächen	39
3.2	Verteilung des d_g und des maximalen bhd's auf den Probeflächen Lehrforst (Lf) und Nationalpark Kalkalpen (Np)	40
3.3	Verteilung der Stammzahl (N/ha) und der Grundfläche (G/ha) auf den Probeflächen Lehrforst (Lf) und Nationalpark Kalkalpen (Np)	41
3.4	Verteilung des d_g und des maximalen bhd's auf den Probeflächen des Lehrforstes	41
3.5	Verteilung der Stammzahl (N/ha) und der Grundfläche (G/ha) auf den Probeflächen des Lehrforstes	42
3.6	Verteilung des d_g und des maximalen bhd's auf den Probeflächen der Hirschlacke	42
3.7	Verteilung der Stammzahl (N/ha) und der Grundfläche (G/ha) auf den Probeflächen der Hirschlacke	44
3.8	Verteilung des d_g und des maximalen bhd's auf den Probeflächen zur Bestandesstrukturanalyse	50
3.9	Verteilung der Stammzahl (N/ha) und der Grundfläche (G/ha) auf den Probeflächen zur Bestandesstrukturanalyse	50
4.1	Modellwahrscheinlichkeiten und Tatsächliche Beobachtung von Verjüngung für den Parametrisierungsdatensatz Lf98+00	65
4.2	Modellwahrscheinlichkeiten und tatsächliche Beobachtung von Verjüngung für den Validierungsdatensatz Lf01	65
4.3	Modellzusammenhang zwischen beobachteter und prognostizierter Stammzahl der neuen Verjüngung in N/m^2 angewandt auf den Parametrisierungsdatensatz (Lf98+00).	69
4.4	Modellzusammenhang zwischen beobachteter und prognostizierter Stammzahl der neuen Verjüngung in N/m^2 angewandt auf den Validierungsdatensatz NpKa.	69

4.5	Modellzusammenhang zwischen beobachteter und prognostizierter Stammzahl der neuen Verjüngung in N/m^2 angewandt auf den Validierungsdatensatz Lf01.	70
4.6	Modellzusammenhang zwischen beobachteter und prognostizierter Stammzahl der neuen Verjüngung in N/m^2 angewandt auf den Validierungsdatensatz Lf02.	70
4.7	Modellzusammenhang zwischen beobachteter und prognostizierter Stammzahl der neuen Verjüngung in N/m^2 angewandt auf den Validierungsdatensatz Hi87.	70
4.8	Modellzusammenhang zwischen beobachteter und prognostizierter Stammzahl der neuen Verjüngung in N/m^2 angewandt auf den Validierungsdatensatz Hi02.	70
4.9	Ausgleich der Verjüngungsdichte N/m^2 und des Stichprobenumfangs mittels In-Gleichung	71
4.10	Praktischer Verjüngungssimulationsdurchlauf	72
4.11	Funktion (2.78) mit den Parametern aus Tabelle 4.18, angewandt auf die WZP-Daten Lf9800	75
4.12	Funktion (2.78) mit den Parametern aus Tabelle 4.18, angewandt auf die WZP-Daten Lf02	75
4.13	Verbißanteil einiger Baumarten	76
4.14	Verbiß in verschiedenen Betrieben ohne Berücksichtigung der Baumart	79
4.15	Verbissprozent in verschiedenen Betrieben mit Berücksichtigung der Baumart	79
4.16	Verbissprozent in verschiedenen Seehöhen für Fichte, Buche und Tanne	80
4.17	Verbissprozent bei verschiedenen Vegetationstypen für Fichte, Buche und Tanne	81
4.18	Verbissprozent bei verschiedenen Standortseinheiten für Fichte, Buche und Tanne	82
4.19	Einfluß des Baumartenanteils auf das Verbißprozent der Bäume unter 30 cm.	83
4.20	Verbißanteil für Fichte, Buche und Tanne bei unterschiedlicher Schutzintensität	83
4.21	Abhängigkeit des Abstandes zum nächststärksten Nachbarn von dessen BHD bei einer Nachbarschaft von Fichte zu Fichte	86
4.22	Abhängigkeit des Abstandes zum nächststärksten Nachbarn von dessen BHD bei einer Nachbarschaft von Buche zu Buche	86
4.23	Zusammenhang zwischen Grundfläche und Standfläche	89
4.24	Variation der Bestandesdichte	90
4.25	Abweichung der Standflächenschwerpunkte vom Fußpunkt des Baumes	91
4.26	Darstellung der vorhandenen Baumkoordinaten	93
4.27	Darstellung der vorhandenen und händisch ergänzten Baumkoordinaten	93
4.28	Darstellung der vorhandenen, händisch ergänzten, interpolierten und zum Standflächenschwerpunkt verschobenen Baumkoordinaten	94
4.29	Darstellung der vorhandenen und ergänzten Baumkoordinaten	94
4.30	Koordinaten der Fläche 15b1 (5.16 ha)	95
4.31	Koordinaten der Fläche 18b3 (0.94 ha)	96
4.32	Ci-Differenzen-Vergleich zwischen generierten und tatsächlichem Bestand	96
4.33	Ci-Vergleich zwischen generiertem und tatsächlichem Bestand	96
4.34	Beispiel 1 eines generierten Bestandes	97
4.35	Beispiel 2 eines generierten Bestandes	97
4.36	Konstruktion der Abteilung 21 mit StandGen	98
4.37	Abteilung 21 in perspektivischer Darstellung	99
5.1	Beispielhafte Probeflächenaufteilung zur Verjüngungsprognose	105
5.2	Gewichtung der Probebäume am Bestandesrand	105
5.3	Bestimmung des potentiellen Höhenzuwachses	107
6.1	Einfluß der Periodenlänge auf den Höhenzuwachs	111
6.2	Nicht homogene Bestandesstruktur	116
6.3	Verteilung der Cl&Ev-Index bei Einzelbaumbetrachtung	117
6.4	Aussagekraft des Strukturindex nach Clark und Evans (1954)	118
A.1	Aufnahmedesign	122
A.2	Aufnahmedesign der fixen Aufnahmefläche	130

Zusammenfassung

Waldwachstumsmodelle bestehen in der Regel aus drei Modulen. Diese sind Verjüngung, Wachstum und Mortalität. In dieser Arbeit wird das Modul Verjüngung beschrieben. Dazu wurden Modelle für das Ankommen von neuer Verjüngung, deren Höhenzuwachs und Mortalität erstellt, welche auf leicht zu erhebenden Bestandesdaten aufbauen. Neben der Verjüngung wurde die Berücksichtigung von Aufnahme-flächengrenzen behandelt, da diese bei der Parametrisierung und auch Implementierung von abstandsabhängigen Wachstumsmodellen einen nicht zu vernachlässigenden Bereich darstellt. Als Ergebnis dieses Teiles wurde ein Algorithmus entwickelt, der es erlaubt, den Randeffekt von beliebigen Polygonen und auch von Kreisflächen zu kompensieren. Im letzten Teil wurde versucht, die Bestandesstruktur zu beschreiben, deren Gesetzmäßigkeiten aufzuzeigen und auch künstlich nachzubilden. Diese Generierung von Baumkoordinaten ist für eine betriebsweite Anwendung von abstandsabhängigen Wachstumsmodellen unerlässlich.

Abstract

Growth-models usually consists of three parts. These are regeneration, growth and mortality. This work describes the regeneration. For the regeneration some models have been created. The first one describes the arrival of a new regeneration, the second one the hight growth and the last one the mortality. These models use simple input data. Another part of this work deals with the plot edge bias. This is a part of growth-models which has high influence on the growth, especially for trees situated on the border. The result of this part is an algorithm for compensation the border-impact for polygons and circles. The last part handles the stand structure. First the structure should be described and with this description a generation of tree-positions should be possible. This stand-generator enables a company wide usage of distance dependent growth-models.

Kapitel 1

Einleitung

Seit dem Bestehen von Wachstumsmodellen müssen diese, um Prognosen für längere Zeit sinnvoll erstellen zu können, nicht nur den zum Ausgangszeitpunkt bestehenden Bestand fortschreiben sondern auch Abgänge und Zugänge zu diesem beschreiben. Diese Zu- und Abgänge können sich auf das Umfeld, in dem der Bestand lebt, und auch auf den Bestand selbst beziehen. Als klassisches Beispiel der Umweltveränderung seien die Nährstoffeinträge und –austräge genannt. Üblicherweise werden diese derzeit nicht in Einzelbaumwachstumssimulatoren berücksichtigt. Die Zu- und Abgänge der Bäume eines Bestandes werden hingegen sehrwohl prognostiziert. Im Wachstumssimulator MOSES 2 (Hasenauer 1994a) existierte jedoch nur ein Mortalitätsmodell. Verjüngungsmodelle wurden zwar von Schweiger (1997) und Golser (1997) entwickelt, implementiert wurden sie jedoch nie. Um diese Lücke dennoch zu schließen, mußten Verjüngungsmodelle entwickelt werden, die einfach genug sind, um sie in einen Wachstumssimulator einbauen zu können, die jedoch auch noch komplex genug sind, um die Verjüngungssituation ausreichend genau zu beschreiben. Dazu mußte auf alle aufgenommenen Merkmale verzichtet werden, die bei der praktischen Anwendung nicht zur Verfügung standen oder mit unverhältnismäßig hohem Aufwand erhoben werden mußten. Zusätzlich mußten die Merkmale in jeder Simulationsphase zur Verfügung stehen. Beispielsweise könnte eine Vegetationsaufnahme oder ein angesprochener Vegetationstyp die Verjüngungssituation beschreiben, diese Information steht jedoch in den Prognosen nicht mehr zur Verfügung. Daher müßte ein Modell, welches die Vegetation aus den Daten beschreibt, die auch in der Prognose existieren, erstellt werden. Es scheint daher effizienter, nur auf Daten aufzubauen, welche immer zur Verfügung stehen oder sich nur in längeren Zeiträumen ändern. Mit den erstellten Modulen läßt sich das Ankommen von Verjüngung und deren Wachstum und Mortalität beschreiben, sowie der Einfluß von Verbiß auf die Stammzahl quantifizieren.

Abstandsabhängige Wachstumsmodelle benötigen für deren Anwendung Baumkoordinaten. Bei manchen Probeflächen werden diese auch erhoben. Für die Anwendung im Forstbetrieb stellt diese Forderung jedoch eine gewaltige Einschränkung dar, da in der Regel keine Baumposition bekannt ist. Es gibt nun Methoden die Baumposition automatisch aus Luftbildern zu bestimmen (Dralle 1997; Tarp-Johansen 2001). Da diese bis jetzt für Reinbestände entwickelt wurden und teilweise nicht jeden Baum erkennen, zusätzlich Luftbildaufnahmen benötigen, die ebenfalls kostenaufwändig sind, ist derzeit nicht damit zu rechnen, daß ein Forstbetrieb die Koordinaten aller seiner Bäume besitzt. Einen Ausweg bietet dabei die Generierung von Baumkoordinaten aus Strukturansprachen des Bestandes, wie dies Pretzsch (1997, 1995) zeigt. Der damit erzeugte Bestand entspricht einem Bestand in der Natur. Dieser kann nun verschiedenen Behandlungsszenarien unterzogen werden und so eine optimale Behandlung für den Bestand im Revier gefunden werden. In dieser Arbeit sollte ebenfalls ein Algorithmus entwickelt werden, um Baumkoordinaten zu generieren. Dabei wird die Bestandesstruktur um so eher den wirklichen Verhältnissen nachgebildet, je mehr Information über diese angegeben werden kann. Es können auch Bestände ohne Angabe einer Bestandesstruktur erzeugt werden. Dabei kann jedoch nur eine durchschnittliche – an Probeflächen beobachtete – Verteilung oder eine Zufallsverteilung erzeugt werden.

Als dritter Teil wurde noch der Einfluß des Bestandesrandes untersucht. Bei abstandsunabhängigen Wachstumssimulatoren wird der Bestandesrand durch Angabe der Bestandesfläche charakterisiert. Sobald die Baumposition berücksichtigt wird, muß auch die Position des Bestandesrandes bekannt sein, solange der aufgenommene Bestand nicht von einer Freifläche umgeben ist. Falls außerhalb der aufgenommenen Fläche Bäume stocken, welche in Konkurrenz zu jenen innerhalb der Fläche stehen, würde ohne rechnerische Randkorrektur die Konkurrenz dieser Randbäume unterschätzt werden. Bei der Parametrisierung der Wachstumsgleichungen kann man sich damit behelfen, daß nur Bäume ab einer bestimmten Entfernung zum Bestandesrand verwendet werden wie dies z. B. Monserud (1975) vorgezeigt hat. Bei der Simulation wäre diese Vorgehensweise für den Anwender eher verwirrend. Dort wird in der Regel die Annahme getroffen, daß das, was am Bildschirm sichtbar ist, nur einen Ausschnitt eines großen Bestandes darstellt, welcher sich nach allen Seiten über den Bildschirmrand erstrecken würde. Von den vorgezeigten Möglichkeiten, den Bestandesrandeinfluß zu kompensieren, erwies sich jene nach Martin u. a. (1977) am geeignetesten, sowohl zur Implementierung als auch zur Korrektur des Randeinflusses. Daher wurde ein Algorithmus erstellt, welcher dieses System bei allgemeinen Polygonen und bei Kreisen zur Anwendung bringt.

Kapitel 2

Methoden

2.1 Bestehende Modelle

Da diese Arbeit an bestehende Arbeiten anschließt und diese in einzelnen Teilbereichen erweitert und ergänzt, werden jene Modelle beschrieben, für welche die neuen Teilkomponenten primär erstellt wurden, sowie jene Modelle, die zwar bestehen, jedoch weniger zur Integration in das bestehende Kernmodell geeignet scheinen. Als Kernmodell wird hier der Waldwachstumssimulator MOSES, welcher in Hasenauer (1994a); Moser (1995) beschrieben ist, angesehen.

2.1.1 Moses

Der Waldwachstumssimulator MOSES basiert in seinem Grundkonzept auf WASIM (Filla 1981), welcher wiederum auf FOREST nach der Arbeit von Monserud (1975) beruht. Nach Hasenauer (1994a) bzw. nach Böheim (2003) wird in dem Waldwachstumssimulator MOSES das Einzelbaumwachstum mit den im Folgenden beschriebenen Funktionen dargestellt. Diese wurden in der bestehenden Version (MOSES 3) für Bäume mit einer Höhe über 1.3 m verwendet.

2.1.1.1 Konkurrenz

Die Konkurrenz zwischen den einzelnen Bäumen wird durch den Konkurrenzfaktor c_i nach Monserud (1975) ausgedrückt, welcher mit Gleichung (2.1) berechnet wird und auf dem Konkurrenzindex nach Bella (1971) aufbaut. Es wird also das Verhältnis von der Überlappungsfläche zweier potentieller Kronenflächen (siehe Abbildung 2.1) zur potentiellen Kronenfläche des untersuchten Baumes mit dem Verhältnis Baumhöhe mal potentiellern Kronenradius des Nachbarn zu Baumhöhe mal potentiellern Kronenradius des untersuchten Baumes multipliziert. Dies wird mit allen Nachbarn des untersuchten Baumes gemacht und davon die Summe gebildet. Um den Effekt einer Konkurrenzänderung feststellen zu können, wird der c_i am Anfang einer Periode zweimal berechnet. Beim ersten Mal werden alle Bäume, welche zum Zeitpunkt der Erhebung leben, als Konkurrenten verwendet. Beim zweiten Mal werden nur jene Bäume, welche am Anfang der Wachstumsperiode lebten und am Ende noch leben, verwendet. Einwüchse, die im Laufe der Wachstumsperiode stattfinden, werden nicht berücksichtigt.

In MOSES findet lediglich der Konkurrenzindex c_i und dessen Änderung in einer Periode Eingang. Im Wachstumssimulator FOREST wird dieser noch transformiert. Mit Gleichung (2.2) wird berücksichtigt, daß bei kleinen Bäumen der Konkurrenzindex sehr hoch wird, diese aber dennoch recht gut wachsen können. Dabei nimmt der Faktor c_1 Werte zwischen 0 und 1 an, wobei $c_1 < 0.5$ kaum eine Toleranzanpassung und $c_1 > 0.9$ eine Reduzierung des c_i 's für kleine Bäume bedeutet, ohne den c_i für große Bäume stark zu ändern. Mit Gleichung (2.3) kann der Effekt einer Freistellung nachgebildet werden. Dabei kann durch entsprechende Wahl der Koeffizienten c_2 und c_3 eine Wuchsbeschleunigung oder eine Wuchsverlangsamung durch die Freistellung bewirkt werden. In Gleichung (2.4) wird ein angepaßter Konkurrenzindex berechnet,

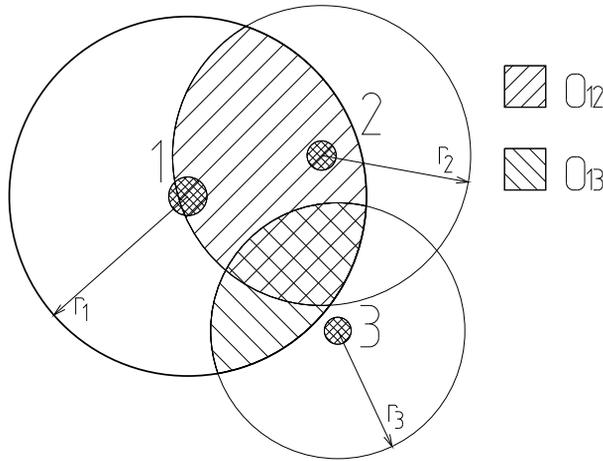


Abbildung 2.1: Kronenüberlappung

Kronenüberlappungsflächen von Baum 1 durch die beiden Nachbarn 2 und 3. Dabei sind r_1 , r_2 und r_3 die jeweiligen potentiellen Kronenradien von Baum 1, 2 und 3. O_{12} ist die Kronenüberlappung zwischen Baum 1 und Baum 2 und O_{13} jene zwischen Baum 1 und Baum 3.

welcher in Gleichung (2.5) nochmals auf Werte zwischen 0 und 1 transformiert wird, solange die Koeffizienten c_4 und c_5 positiv sind.

$$ci_i = \sum_{j=1}^N \left(\frac{O_{ij}}{a_i} \cdot \frac{s_j}{s_i} \right) = \sum_{j=1}^N \left(\frac{O_{ij}}{a_i} \cdot \frac{h_j \cdot cw_j}{h_i \cdot cw_i} \right) \quad (2.1)$$

$$tol = 1 - c_1^{h+1} \quad (2.2)$$

$$rels = (1 + c_2 \cdot \Delta ci)^{-c_3} \quad (2.3)$$

$$cia = 1 + 0.1 \cdot ci \cdot tol \cdot rels \quad (2.4)$$

$$ovs = \left(1 - e^{\frac{-1}{c_4 \cdot cia}} \right)^{c_5} \quad (2.5)$$

$$\Delta ci = ci - ci_{cut} \quad (2.6)$$

a_i Einflußzone des Baumes i , definiert als die Kronenfläche eines Solitärs gleicher Höhe

ci_j Konkurrenzindex für Baum i

ci_{cut} Konkurrenzindex nach der Entnahme und Mortalität

Δci Unterschied zwischen Konkurrenzindex vor und nach der Entnahme und Mortalität

cia Berichtigter Konkurrenzindex (Adjusted Competition Index)

cw Kronendurchmesser eines entsprechenden Solitärs

h Baumhöhe

N Anzahl der Konkurrenten

O_{ij} Überlappungszone des Baumes i mit seinem Bedränger j (siehe auch Abbildung 2.1)

ovs Überlappungsfaktor (Overstocking Multiplier)

$rels$ Faktor, um den ci bei Freistellung anzupassen

s_i, s_j Gewichtung (Size), berechnet aus der Baumhöhe mal dem potentiellen Kronenradius eines Solitärs

tol Schattentoleranzfaktor für junge Bäume

c_1 – c_5 ... Baumarten und modellspezifische Koeffizienten

2.1.1.2 Bestandesrand

Nach Monserud (1975) werden zur Parametrisierung der Koeffizienten nur Bäume verwendet, welche ausreichend weit innerhalb der Probefläche liegen. All jene Bäume, welche in der äußeren

Hälfte der Probefläche lagen, wurden ignoriert. Bei der Implementierung von FOREST wurde der Bestandesrand nach Martin u. a. (1977) berücksichtigt. In MOSES 2 wurden die Probeflächen auf Rechtecke reduziert und die Bestände an den Grenzen gespiegelt.

2.1.1.3 Potentielle Kronenradien

Der Kronenradius eines Solitärs wird mit Gleichung (2.8) nach Krajček u. a. (1961) oder mit Gleichung (2.7) nach Ek (1974); Filla (1981); Hasenauer (1994a); Hasenauer u. a. (1994); Stampfer (1995); Hasenauer (1997) berechnet, wobei der Koeffizient c nur von Ek (1974), bei der Voraussage des Kronendurchmessers aus dem bhd, verwendet wurde. Ek (1974) bestimmt dabei sowohl Koeffizienten für freiwachsende als auch für im Bestand aufgewachsene Bäume, Stampfer (1995); Hasenauer (1997) nur für freiwachsende Bäume und Hasenauer (1994a) nur für Bestandesbäume.

In den Fällen, wo mittels Gleichung (2.7) direkt der Kronenradius eines Solitärs ermittelt wird, kann dieser sofort zur Konkurrenzberechnung verwendet werden. Diese Situation war jedoch bei der Parametrisierung von MOSES 1.2 nicht gegeben. Dort wurden die potentiellen Kronendurchmesser durch Einsetzen des rechnerisch ermittelten Solitardurchmesser (Gleichung 2.24) in die Funktion, welche Kronenradien von Bestandesbäumen berechnet (Gleichung 2.7), bestimmt. Ab MOSES 2 werden die Kronenradien mit $cw = c_1 \cdot h^{c_2}$ berechnet.

$$cw = c_0 + c_1 \cdot w^{c_2} \quad (2.7)$$

$$cw = c_3 + c_4 \cdot d \quad (2.8)$$

- cw Schirmdurchmesser (eines freiwachsenden Baumes oder auch eines Baumes unter Bestandeskonkurrenz)
 d Brusthöhendurchmesser
 w Baumabmessung z. B. Brusthöhendurchmesser oder Baumhöhe (nach Monserud (1975) wird zur c_i Berechnung der potentielle Kronenradius aus der Baumhöhe berechnet)
 c_0 - c_4 ... Baumartenspezifische Koeffizienten

2.1.1.4 Höhenzuwachsmodell

Monserud (1975) berücksichtigt zwei Effekte des Höhenwachstums, welche einer Anpassung des Konkurrenzindex bedürfen. Der erste Effekt ist die gelegentliche Unabhängigkeit des Höhenzuwachses kleiner Bäume von der Bestandesdichte. Der zweite Effekt ist die Beobachtung, dass der größte Höhenzuwachs in Beständen, also bei Konkurrenz und nicht bei freiwachsenden Bäumen auftritt. Beide Effekte werden mittels Gleichung (2.9) berücksichtigt. Dabei steigt der Wert von hmy bei Zunahme der Baumhöhe gegen c_7 solange c_8 kleiner als 1 ist. Da c_{ia} maximal 1 ist, nimmt $hshift$ die Größe $1 - hmy$ an wenn $c_i = 0$ ist, und steigt mit Zunahme des c_i gegen 1. Einen weiteren Einfluß auf das Höhenwachstum hat die Kronenlänge, welche durch den Faktor c_6 in Gleichung (2.11) berücksichtigt wird, der zwischen 0 und 1 liegt. Dabei wurde die Kronenlänge nach Ek (1974) berechnet. Der prognostizierte Höhenzuwachs wird mit Gleichung (2.13) bestimmt, wobei diesem noch eine $N(0, \sigma^2)$ verteilte Zufallszahl aufgelagert wird. Diese Zufallszahl korreliert mit jener des Durchmesserzuwachses.

In Moses 2 wird der Höhenzuwachs mit Gleichung (2.15) berechnet. Dazu wird ein potentieller Höhenzuwachs mit den Eingangsgrößen Kronenverhältnis, Konkurrenzindex und Konkurrenzindexänderung modifiziert. Zu diesem prognostizierten Höhenzuwachs wird eine $N(0, \sigma^2)$ verteilte Zufallszahl dazuaddiert, wobei der Wert von σ je Baumart frei gewählt werden kann. Böheim (2003) parametrisierte noch zwei weitere Höhenzuwachsmodelle. Jenes nach Schieler (1997) kommt ohne Konkurrenzindex aus, benötigt jedoch den Durchmesserzuwachs und ist in Gleichung (2.14) dargestellt. Das zweite ist jenem nach Hasenauer (1999) ähnlich, wobei dieses um den Konkurrenzindex von MOSES erweitert und die Standortvariablen sowie die Baumhöhe weggelassen wurden (Gleichung 2.16).

$$\text{hshift} = 1 - \text{hmy}^{\text{cia}} \quad (2.9)$$

$$\text{hmy} = c_7 \cdot (1 - c_8^{\text{h}+1}) \quad (2.10)$$

$$\text{allom} = \text{cr}^{c_6} \quad (2.11)$$

$$\text{hmult} = \text{ovs} \cdot \text{allom} \cdot \text{hshift} \quad (2.12)$$

$$\text{ih} = \text{ih}_{\text{pot}} \cdot \text{hmult} \quad (2.13)$$

$$\text{ih} = c_9 + c_{10} \cdot d + c_{11} \cdot h + c_{12} \frac{1}{d} + c_{13} \frac{1}{h} + c_{14} \cdot \text{id} + c_{15} \frac{\text{id}}{d} \quad (2.14)$$

$$\frac{\text{ih}}{\text{ih}_{\text{pot}}} = \text{cr}^{c_{16}} \cdot \left(1 - e^{\frac{c_{17}}{\text{ci}_{\text{cut}} \cdot (1 + c_{18} \cdot \Delta \text{ci})}} \right) \quad (2.15)$$

$$\ln(\text{ih}) = c_{19} + c_{20} \cdot \ln(\text{cr}) + c_{21} \cdot \ln \frac{\text{id}}{d_n} + c_{22} \cdot \ln \frac{1}{d_n} + c_{23} \cdot \ln(\text{ci}) + c_{24} \cdot \Delta \text{ci} \quad (2.16)$$

allom .. Allometrischer Zuwachsfaktor

ci .. Konkurrenzindex

ci_{cut} .. Konkurrenzindex nach erfolgter Freistellung

Δci .. Differenz im Konkurrenzindex vor bzw. unmittelbar nach erfolgter Freistellung

cia .. Berichtigter Konkurrenzindex (Adjusted Competition Index)

cr .. Kronenverhältnis $CR = \frac{\text{Kronenlänge}}{\text{Baumhöhe}}$

d .. BHD

d_n .. BHD am Ende der Wachstumsperiode

h .. Baumhöhe

hmult .. Höhenzuwachsfaktor

hmy .. Dichteunabhängiger Höhenzuwachstern

hshift .. Höhenwachstumsfaktor, der das mögliche dichteunabhängige Wachstum junger Bäume berücksichtigen soll

id .. Durchmesserzuwachs der Beobachtungsperiode

ih .. Höhenzuwachs

ih_{pot} .. Potentieller Höhenzuwachs der Beobachtungsperiode

ovs .. Überlappungsfaktor (Overstocking Multiplier)

c₁-c₂₄ .. Baumarten- und modellspezifische Koeffizienten

2.1.1.5 Höhenzuwachspotential

Das Höhenzuwachspotential wird durch Einsetzen in eine Oberhöhenfunktion bestimmt (siehe Gleichung 2.18). Dabei wird zunächst das rechnerische Alter des Baumes durch Einsetzen der Baumhöhe ermittelt. Zu diesem Alter wird die Dauer des Wachstums = Länge der Wachstumsperiode (normal 5 Jahre) hinzugerechnet und dieses Alter in die Oberhöhenfunktion eingesetzt. Von der damit errechneten Höhe wird die beobachtete Baumhöhe abgezogen, um den potentiellen Höhenzuwachs zu errechnen. Dazu müssen die verwendeten Oberhöhenfunktionen nach dem Alter umformbar sein, oder das Alter iterativ bestimmt werden. Dieses so berechnete Höhenzuwachspotential wurde in MOSES 2 nun noch mit einem Korrekturfaktor multipliziert, da in diesem Gebiet festgestellt wurde, daß es bei den beobachteten Oberhöhenwachstumsgängen und jenen aus der Ertragstafel zu Abweichungen kommt. Dieser Korrekturfaktor wird nach Gleichung (2.17) berechnet. Das berechnete Potential wurde in weiterer Folge mit diesem Korrekturfaktor multipliziert. Bei Monserud (1975) und Böheim (2003) wird diese Korrektur nicht durchgeführt.

$$q = \frac{ih_{OH}}{ih_{ET}} = c_0 + c_1 \cdot a + c_2 \cdot OH + c_3 \cdot B + c_4 \cdot a \cdot B + c_5 \cdot a \cdot OH + c_6 \cdot B \cdot OH \quad (2.17)$$

$$ih_{pot} = f(B, a + LGP) - f(B, a) \quad (2.18)$$

a Baumalter am Beginn der Wachstumsperiode

B Bonität

ih_{ET} Oberhöhenzuwachs nach entsprechender Oberhöhenfunktion der Ertragstafel

ih_{OH} Beobachteter Oberhöhenzuwachs

ih_{pot} Potentieller Höhenzuwachs

LGP Länge der Wachstumsperiode

OH Höhe des Oberhöhenbaumes

q Bonitätskorrekturfaktor je Baumart und Periode

c₀-c₆ Baumartenspezifische Koeffizienten

2.1.1.6 Durchmesserzuwachsmoell

Das Durchmesserzuwachsmoell ist bei Monserud (1975) (Gleichung 2.20) etwas einfacher aufgebaut als das Höhenzuwachsmoell. Zum prognostizierten Durchmesserzuwachs wird noch eine $N(0, \sigma^2)$ verteilte Zufallszahl addiert. Diese Zufallszahl korreliert mit jener des Höhenzuwachses. Bei MOSES 2 ist der Aufbau identisch mit jenem des Höhenzuwachsmoells (Gleichung 2.21). In MOSES 2 wird ebenfalls eine $N(0, \sigma^2)$ verteilte Zufallszahl zum prognostizierten Durchmesserzuwachs addiert, wobei der Wert von σ je Baumart frei gewählt werden kann.

$$dmult = ovs \cdot allom \quad (2.19)$$

$$id = id_{pot} \cdot dmult \quad (2.20)$$

$$\frac{id}{id_{pot}} = cr^{c_1} \cdot \left(1 - e^{-\frac{c_2}{ci_{cut} \cdot (1+c_3 \cdot \Delta ci)}} \right) \quad (2.21)$$

allom Allometrischer Zuwachsfaktor nach Gleichung (2.11)

ci_{cut} Konkurrenzindex nach erfolgter Freistellung

Δci Differenz im Konkurrenzindex vor bzw. unmittelbar nach erfolgter Freistellung

cr Kronenverhältnis

dmult Durchmesserzuwachsfaktor

id_{pot} Potentieller Durchmesserzuwachs

id Durchmesserzuwachs

ovs Überlappungsfaktor (Overstocking Multiplier)

c₁, c₃ Baumartenspezifische Koeffizienten

2.1.1.7 Durchmesserzuwachspotential

Der potentielle Durchmesserzuwachs wird nach Gleichung (2.22) berechnet. Dazu wird eine Funktion benötigt, welche aus der Baumhöhe deren potentiellen BHD berechnet. Der potentielle Durchmesserzuwachs berechnet sich dann durch die Differenz von potentielltem Durchmesser bei aktueller Baumhöhe und potentielltem Durchmesser bei aktueller Baumhöhe plus dem potentiellen Höhenzuwachs. In FOREST wird der Durchmesser eines Solitärs mit Gleichung (2.23) nach Ek (1974) bestimmt. In Moses 1.2 wurde der BHD eines freiwachsenden Baumes mit Gleichung (2.24) nach Sterba (1981) berechnet, wobei anstatt der Oberhöhe die jeweilige Baumhöhe eingesetzt wurde. Gleichung (2.24) läßt sich ohne weiteres durch die vereinfachte Gleichung (2.25) ersetzen. In MOSES 2 und 3 wird der potentielle Durchmesser mit Gleichung (2.26) nach Hasenauer (1997) berechnet.

$$id_{pot} = f(h + ih_{pot}) - f(h) \quad (2.22)$$

$$d_s = c_0 + c_1 \cdot (h - 4.5)^{c_2} \quad (2.23)$$

$$d_s = \frac{1}{c_3 \cdot OH^{-0.605} \cdot \frac{c_4}{c_4}} \quad (2.24)$$

$$d_s = \frac{1}{c_3 \cdot OH^{c_5}} \quad (2.25)$$

$$d_s = c_6 \cdot h^{c_7} \quad (2.26)$$

- d_s Solitardurchmesser
 h Baumhöhe
 id Durchmesserzuwachs
 id_{pot} ... Potentieller Durchmesserzuwachs
 ih_{pot} ... Potentieller Hohezuwachs
 OH Oberhöhe
 c_0 - c_7 ... Baumarten- und modellspezifische Koeffizienten

2.1.1.8 Kronenansatzmodell

In FOREST wurde das Kronenmodell nach Ek (1974) verwendet (Gleichung 2.28), wobei der Durchmesser noch um 0.1 erhöht wurde. Hasenauer (1994a) und Böheim (2003) parametrisierten die gleiche Funktion, ließen jedoch den unveränderten Meßwert des BHD's in die Gleichung eingehen. In MOSES 2 wurde ein dynamisches Kronenmodell verwendet, welches nach Hasenauer (1994a) mit Gleichung (2.27) berechnet wurde und auch von Böheim (2003) parametrisiert wurde. Das dynamische Kronenmodell basiert auf den Arbeiten von Maguire und Hahn (1990); Short III und Burkhart (1992) und Hasenauer (1994b). Neben diesen beiden Kronenmodellen entwickelte Böheim (2003) für MOSES 3 ein statisches Kronenmodell nach Gleichung (2.31) und parametrisiert zusätzlich noch Kronenmodelle nach Nagel (1994) (Gleichung 2.30), Kahn und Pretzsch (1997) (Gleichung 2.29) und Hasenauer (1997) (Gleichung 2.32).

$$\Delta ka = c_0 \cdot h^{c_1} \cdot e^{\left(c_2 \cdot \sqrt{cr} + \frac{c_3}{ci_{cut}} + c_4 \cdot d\right)} \quad (2.27)$$

$$ka = h \cdot e^{c_5 \cdot h^{c_6} \cdot d^{c_7}} \quad (2.28)$$

$$ka = h \cdot \left(1 - e^{c_8 + c_9 \cdot \frac{h}{d} + c_{10} \cdot d}\right) \quad (2.29)$$

$$ka = h \cdot \left(1 - e^{-(c_{11} + c_{12} \cdot \frac{h}{d})^2}\right) \quad (2.30)$$

$$cr = \frac{1}{1 + e^{c_{13} + c_{14} \cdot \frac{h}{d} + c_{15} \cdot h + c_{16} \cdot d^2 + c_{17} \cdot ci}} \quad (2.31)$$

$$ka = c_{18} \cdot h^{c_{19}} \quad (2.32)$$

- ci Konkurrenzindex nach Gleichung (2.1)
 ci_{cut} ... Konkurrenzindex nach erfolgter Freistellung
 cr Kronenverhältnis
 d Brusthöhendurchmesser
 h Baumhöhe
 ka Kronenansatzhohe
 Δka ... Kronenansatzveranderung
 c_0 - c_{19} .. Baumarten- und modellspezifische Koeffizienten

2.1.1.9 Mortalitätsmodell

Nach Monserud (1975, 1976) wird die Mortalität mit Gleichung (2.33) bestimmt. Die Mortalitätswahrscheinlichkeit wird mittels Gleichung (2.34) baumartenunabhangig berechnet. Die Baumar-

tenunabhängigkeit des Modells wird durch die geringe Datenmenge begründet. Nach Hasenauer (1994a) wird in MOSES 2 die Mortalitätswahrscheinlichkeit nach Gleichung (2.35) bestimmt und nach Böheim (2003) wird sie in MOSES 3 nach Gleichung (2.36) berechnet. In den MOSES-Versionen wird die Wahrscheinlichkeit mit einer gleichverteilten Zufallszahl, bei FOREST mit einer normalverteilten Zufallszahl verglichen. Das Modell in FOREST ist hinsichtlich der Wachstumsperiodenlänge flexibel, die anderen beiden nicht.

$$s = \begin{cases} 1 & : p \geq t \\ 0 & : p < t \end{cases} \quad (2.33)$$

$$p = (1 + e^{c_0 + c_1 \cdot \hat{d} + c_2 \cdot \hat{i}\hat{d} + c_3 \cdot c_i})^{-LGP} \quad (2.34)$$

$$p = \frac{1}{1 + e^{(c_4 + c_5 \cdot c_{icut} + c_6 \cdot cr + c_7 \cdot d)}} \quad (2.35)$$

$$p = \frac{1}{1 + e^{c_8 + c_9 \cdot c_{icut} + c_{10} \cdot cr + c_{11} \cdot d + c_{12} \cdot \frac{1}{d}}} \quad (2.36)$$

- c_i Konkurrenzindex
 c_{icut} Konkurrenzindex nach Freistellung
 cr Kronenverhältnis
 d Brusthöhendurchmesser [cm]
 \hat{d} Prognostizierter BHD
 $\hat{i}\hat{d}$ Prognostizierte BHD Zuwachs
 LGP ... Anzahl der Zuwachsperioden
 p Mortalitätswahrscheinlichkeit
 s Statusvariable (1... lebend, 0... tot)
 t Schwellwert für Mortalität, welcher bei jedem Vergleich neu erzeugt wird und bei Monserud (1975) $N(\mu, \sigma^2)$, in Moses eine [0,1] gleichverteilte Zufallszahl ist.
 $c_0 - c_{12}$.. Baumarten- und modellspezifische Koeffizienten

2.1.1.10 Überlebensfunktion

Alternativ zur Wahrscheinlichkeit, daß ein Baum stirbt, kann dessen Wahrscheinlichkeit, daß er in der Folgeperiode lebt, geschätzt werden. Nach Hasenauer (1994a) wird in diesem Modell die Überlebenswahrscheinlichkeit nach Gleichung (2.37) geschätzt. Diese wird im Anschluß zur Entscheidung, ob dieser Baum überlebt, mit einer [0,1] gleichverteilten Zufallszahl verglichen.

$$p = c_0 \cdot cr^{c_1} \cdot e^{(c_2 \cdot c_{icut}^3 + c_4 \cdot d)} \quad (2.37)$$

- c_{icut} Konkurrenzindex nach Freistellung
 cr Kronenverhältnis
 d BHD
 p Überlebenswahrscheinlichkeit
 $c_0 - c_4$... Baumartenspezifische Koeffizienten

2.1.1.11 Schneebruch

In Sterba (1985) wird ein Schneebruchmodell vorgestellt, welches auch in MOSES Eingang gefunden hat. Dabei wird die Schneebruchwahrscheinlichkeit mit Gleichung (2.38) und die Bruchhöhe mit Gleichung (2.39) bestimmt.

$$p = (1 - e^{c_0 \frac{h}{d}})^{c_1} \quad (2.38)$$

$$\frac{h_b}{h} = e^{c_2 \frac{h}{d}} \quad (2.39)$$

p Wahrscheinlichkeit für Schneebruch
 h_b Bruchhöhe
 h Baumhöhe
 d Brusthöhendurchmesser
 $c_0 - c_2$.. Baumartenspezifische Koeffizienten

2.1.2 Verjüngung

2.1.2.1 Höhenwachstumsmodell der Verjüngung

In FOREST gibt es ein eigenes Höhenwachstumsmodell für Verjüngung. Monserud (1975); Monserud und Ek (1977) geben dabei fünf unterschiedliche Gleichungen zur Berechnung der Konkurrenz auf die Verjüngung (*rci*) an, um sich dann für jene in Gleichung (2.42) zu entscheiden. Da bei dieser Konkurrenzberechnung alle Bäume eines Bestandes einen Einfluß hätten, werden zur Berechnung nur jene Bäume verwendet, deren Abstand kleiner als die Summe ihrer potentiellen Kronenradien ist. Der Höhenzuwachs wird dann mit Gleichung (2.40) berechnet. Dafür wird der potentielle Höhenzuwachs nach Gleichung (2.18) und *ovs* nach Gleichung (2.5) berechnet. Der in *ovs* benötigte *cia* wird nach Gleichung (2.41) und der in *cia* benötigte *tol* nach Gleichung (2.2)¹ bestimmt. Es wird jedoch nicht der Höhenzuwachs jedes einzelnen Baumes bestimmt, sondern nur der eines Repräsentanten jeder Höhenklasse auf jedem Quadrat. Der so gewonnene Höhenzuwachs wird zur Aktualisierung der Höhenklassenstruktur verwendet. Die Höhe des Repräsentanten ist dabei die Mitte der Höhenklasse und der Standpunkt liegt in der Mitte des Quadrats. Als Verjüngung werden in FOREST alle Bäume kleiner als 7.62 m (25 ft) angesehen. Bemerkenswert ist, daß die Konkurrenz für das Höhenwachstum der Verjüngung nur aus den Bäumen des Altebestandes berechnet wird, da kein Einfluß der Verjüngungskonkurrenz auf das Höhenwachstum festgestellt werden konnte. Von Bäumen, die in den Oberbestand einwachsen, muß noch der BHD bestimmt werden.

In MOSES 2 gab es kein eigenes Höhenwachstumsmodell für Verjüngung. Deshalb wurde von Golser (1997); Golser und Hasenauer (1997); Sterba u. a. (1997) ein Höhenwachstumsmodell für Bäume mit einer Höhe unter 1.3 m entwickelt. Danach wird der Höhenzuwachs mit Gleichung (2.43)² berechnet. Darin wird eine Konkurrenz durch den Oberbestand und durch die Verjüngung, sowie ein Seitenlichteinfluß berücksichtigt. Weiters wird die Konkurrenz nicht für den Einzelbaum, sondern für eine Gruppe von Bäumen auf einer Bezugsfläche bestimmt. Die Konkurrenz durch den Oberbestand wird nach Gleichung (2.45) berechnet. Dabei wird die Summe der Überlappungsflächen der potentiellen Kronen des Oberbestandes durch die Bezugsfläche des Oberbestandes dividiert. Golser (1997) kommt zum Schluß, daß die Bezugsfläche kaum einen Einfluß auf die weitere Auswertung hat, wobei Flächen von 4 m², 12.6 m² und 28.3 m² getestet wurden. Als Bäume des Oberbestandes wurden jene Bäume betrachtet, welche größer als 1.3 m sind und in den folgenden 5 Jahren weder entnommen wurden, noch abgestorben sind. Die Konkurrenz der Verjüngung auf die Verjüngung wird mit Gleichung (2.46) bestimmt. Dabei werden die potentiellen Schirmflächen aller Verjüngungskonkurrenten, das sind alle Bäume, die gleich groß oder größer als der untersuchte Baum und kleiner als 1.3 m sind, durch die Bezugsfläche, welche der Aufnahmefläche von 4 m² entspricht, dividiert. Der Seitenlichteinfluß wird nach Gleichung (2.47) berechnet. Dabei wird sowohl die Fläche der sichtbaren Himmels, repräsentiert durch den Öffnungswinkel des Kronendaches nach NO, O, SO, S, SW, W und NW³, als auch die Entfernung

¹In Monserud und Ek (1977) wurde die Höhe nicht um 1 erhöht.

²Diese Gleichung wird zwar stets mit einem multiplikativen Einfluß von EIL zitiert, als z. B. mit $ih = ih_{pot} \cdot (1 - e^{-\frac{1}{COM_P} \cdot EIL})$ angegeben. In den bestehenden Programmdateien, welche mir zur Verfügung standen, ging EIL nicht multiplikativ, sondern additiv ein

³Richtung Nord wird hier ausgespart, da mit keinem direkten Lichteinfall aus Nord gerechnet wurde.

zum Bestandesrand (nach 8 Himmelsrichtungen, Norden ist auch dabei) berücksichtigt. Wobei ein Bestandesrand zur Berücksichtigung in diesem Modell näher als die doppelte Oberhöhe und bei der Berechnung von SUMD nach Gleichung (2.48) zusätzlich weiter als der Solitäradius der Oberhöhe plus dem Radius der Bezugsflächengröße (=Ausscheidungsradius) liegen muß. Der Abstand des Bestandesrandes wird auf die doppelte Oberhöhe gesetzt, wenn er größer als die doppelte Oberhöhe ist, oder wenn er kleiner als der Ausscheidungsradius ist. Der maximale Öffnungswinkel für direktes Seitenlicht wird nach Golser (1997) nicht limitiert, da aber der Tangens von 90° unendlich ist, wurde in der praktischen Berechnung $maxIL$ auf 0 gesetzt, wenn $DIST$ auf die doppelte Oberhöhe gesetzt wurde. Die restlichen Öffnungswinkel werden auf Null gesetzt, wenn diese kleiner als $maxIL$ sind. Wie bei dem Vorhandensein von zwei gleich großen Winkeln verfahren wird, ist nicht festgelegt. Da dies im Datensatz jedoch nicht vorkam, mußte dafür keine Lösung gefunden werden. Das Höhenzuwachspotential wurde nach Gleichung (2.18) bestimmt, wobei bei Golser (1997) nicht die Bonität des Bestandes sondern die beste Bonität der Region verwendet wurde.

Zu beachten ist, daß Monserud (1975); Monserud und Ek (1977) mit rci die Konkurrenz des Altbestandes auf die Verjüngung und Golser (1997); Golser und Hasenauer (1997); Sterba u. a. (1997) mit RCI die Konkurrenz innerhalb der Verjüngung beschreiben.

2.1.2.2 Mortalitätsmodell der Verjüngung

Dieses wurde von Golser (1997); Sterba u. a. (1997) entwickelt. Danach ist die Mortalitätswahrscheinlichkeit von der Baumhöhe und der Oberbestandeskonkurrenz abhängig. In Gleichung (2.49) ging bei Golser (1997) die Oberbestandeskonkurrenz OCI jedoch nicht signifikant ein.

$$p = \frac{c_0}{1 + e^{c_1 \cdot h + c_2 \cdot OCI}} \quad (2.49)$$

h Baumhöhe
 OCI ... Konkurrenz des Altbestandes nach Gleichung (2.45)
 p Mortalitätswahrscheinlichkeit
 c_0-c_9 ... Baumartenspezifische Koeffizienten

2.1.2.3 Verjüngungswahrscheinlichkeit und Verbißwahrscheinlichkeit

Nach Schweiger und Sterba (1997); Sterba u. a. (1997); Schweiger (1997) wird die Verjüngungswahrscheinlichkeit, die Wahrscheinlichkeit für eine Baumart oder die Verbißklasse mit Gleichung (2.50) berechnet. Von den möglichen Eingangsvariablen wurden nur signifikante verwendet. Als Eingangsdaten des Bestandes wurden nur Bäume mit einem BHD größer 10.4 cm verwendet.

Es wird zuerst eine Verjüngungswahrscheinlichkeit bestimmt. Wenn es nach dieser zu Verjüngung kommt, wird für die Baumarten Ficht, Tanne, Lärche, Kiefer, Buche, Eiche, sonstiges Hartlaubholz und Weichlaubholz deren Wahrscheinlichkeit für das Auftreten in der Verjüngung berechnet. Von einigen Baumarten konnte noch deren Wahrscheinlichkeit, einer Verbißklasse anzugehören, berechnet werden.

2.1.2.4 Verjüngungsdichte und Verjüngungshöhe

Nach Sterba u. a. (1997); Schweiger (1997) wird die Verjüngungsdichte mit Gleichung (2.51) berechnet. Die dafür benötigte Verjüngungshöhe wird mittels gleichverteilter Zufallszahl zwischen 10 cm und 130 cm bestimmt⁴. Die Koeffizienten wurden bei manchen Baumarten für unterschiedliche Verbißklassen bestimmt.

⁴Wird in Sterba u. a. (1997) einmal mit 10 cm – 130 cm ein anderes mal mit 20 cm – 130 cm angegeben.

$$ih = ih_{\text{pot}} \cdot ovs \quad (2.40)$$

$$cia = 1 + \text{tol} \cdot rci \quad (2.41)$$

$$rci_i = \sum_{j=0}^N \frac{h_j}{h_i} \cdot e^{-\Theta \frac{\text{dist}_{ij}}{cr_i + cr_j}} \quad (2.42)$$

$$ih = ih_{\text{pot}} \cdot \left(1 - e^{\frac{-1}{\text{COMP}} + \text{EIL}}\right) \quad (2.43)$$

$$\text{COMP} = c_0 \cdot \text{OCI} + c_1 \cdot \text{RCI} \quad (2.44)$$

$$\text{OCI} = \sum_{j=1}^N \frac{O_j}{A_0} \quad (2.45)$$

$$\text{RCI}_{i,j} = (N_{i,j} - 1) \cdot \frac{\text{PAI}_{i,j}}{A_v} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^{N_{\text{Ba}}} N_{i,k} \cdot \frac{\text{PAI}_{i,k}}{A_v} + \sum_{l=i+1}^{N_{\text{Hk}}} \sum_{k=1}^{N_{\text{Ba}}} N_{l,k} \cdot \frac{\text{PAI}_{l,k}}{A_v} \quad (2.46)$$

$$\text{EIL} = c_{2-8} \cdot \tan(\text{maxIL}) + c_9 \cdot \text{SUMD} \quad (2.47)$$

$$\text{SUMD} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{N_D} \frac{1}{\text{DIST}_i}}{\frac{N_D}{2 \cdot \text{OH}}} \right) - 1 \quad (2.48)$$

- A₀** Bezugsfläche zur Berechnung der Oberbestandeskonkurrenz
A_v Bezugsfläche zur Berechnung des RCI
cia Berichtigter Konkurrenzindex
COMP Konkurrenz
cr Potentieller Kronenradius
DIST_i Abstand zum Bestandesrand
dist_{ij} Abstand zwischen untersuchtem Baum i und Konkurrent j
EIL Seitenlichteinfluß
h Baumhöhe
ih_{pot} Potentieller Höhenzuwachs
ih Höhenzuwachs
maxIL Maximaler Öffnungswinkel für direktes Seitenlicht
N_{Ba} Anzahl der Baumarten
N_D Anzahl der aufzunehmenden Himmelsrichtungen
N_{Hk} Anzahl der Höhenklassen
N_{x,y} Anzahl der Bäume innerhalb der Höhenklasse x des Repräsentanten der Baumart y
N Anzahl der Konkurrenten
O_j Überlappungsfläche der potentiellen Kronenflächen
OCI Konkurrenz des Altbestandes
OH Oberhöhe
ovs Überlappungsfaktor nach Gleichung (2.5) berechnet mit dem cia nach Gleichung (2.41)
PAI_{x,y} Einflußzone für diese Höhenklasse x und Baumart y
rci_i Konkurrenz des Altbestandes auf Baum i
RCI_{ij} Konkurrenz durch Verjüngung auf die Höhenklasse i und Baumart j
SUMD Gewichteter Abstand zu den Bestandesrändern
tol Schattentoleranz nach Gleichung (2.2)
Θ Koeffizient zur Gewichtung des Einflusses der Konkurrentenentfernung
c₀-c₉ Baumartenspezifische Koeffizienten

$$P_x = \frac{1}{1 + e^{c_0 + \sum c_i \text{STAND}_i + \sum c_j \text{SITE}_j}} \quad (2.50)$$

P_x Wahrscheinlichkeit für Verjüngung bzw. Wahrscheinlichkeit für eine Baumart in der Verjüngung, wenn es Verjüngung gibt, bzw. Wahrscheinlichkeit einer Verbißklasse einer Baumart, wenn diese Baumart in der Verjüngung ist.

STAND_i Bestandescharakterisierende Variablen:

d_g Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (auch als d_g^2 , $\sqrt{d_g}$ und $\sqrt{\ln(dg)}$)

G/ha ... Bestandsgrundfläche je Hektar

CCF ... Kronen-Konkurrenz-Faktor (Verhältnisprozent von potentiellen Schirmflächen des Bestandes je Bestandesfläche berechnet nach Gleichung (2.71)) (auch als CCF^2 , $\ln(CCF)$ und $\ln^2(CCF)$)

ZI Eingriff in den letzten 10 Jahren (Dummyvariable 1 wenn ja) (auch als $ZI \cdot CCF$ verwendet)

SP Baumart als Dummyvariable für Fichte, Tanne, Lärche, Kiefer, Buche, Eiche, sonstiges Hartlaubholz und Weichlaubholz

SITE_j .. Standortscharakterisierende Variablen:

EL Seehöhe (auch als EL^2 und $EL \cdot \cos(AZ)$)

$Tief$... Bodengründigkeit tiefer als 30 cm (Dummyvariable)

SL Neigung (auch als SL^2)

AZ ... Azimut als $\cos(AZ)$ verwendet

W Wuchsraumgruppen als Dummyvariable (das sind 3 Gruppen die nach Schweiger (1997) aus den 21 Wuchsräumen in Forstliche Bundesversuchsanstalt (1994) zusammengefaßt wurden)

V Vegetationstyp nach Forstliche Bundesversuchsanstalt (1994) als Dummyvariable (davon wurden 35 Vegetationstypen verwendet) bzw. Gruppen dieser Typen

c_x Baumartenspezifische Koeffizienten

$$N = c_0 \cdot \left\{ [-\ln(1-z)]^{\frac{1}{c_1}} - \left(\frac{h}{c_2}\right)^{c_3} \right\}^{\frac{1}{c_4}} \quad (2.51)$$

N Verjüngungsdichte (Anzahl der Verjüngung auf einer bestimmten Fläche)

h Verjüngungshöhe

z Gleichverteilte Zufallszahl zwischen 0 und 1

c_0 - c_4 ... Baumartenspezifische Koeffizienten

2.1.2.5 Oberhöhenkurven

Die Bestimmung des Höhenzuwachspotential erfolgte über den Oberhöhenverlauf der jeweiligen Baumart. Dabei wurde der Oberhöhenverlauf nach Gleichung (2.52) (Sterba 1976) bisher z. B. für Fichte Bruck, Fichte Weittra sowie für Kiefer (Marschall und Sterba 1975)⁵, der nach Gleichung (2.53) (Kennel 1972) für Buche und Gleichung (2.54) (Golser 1997)⁶ für Tanne verwendet. In diese Grundgleichungen werden nun unterschiedliche „Untergleichungen“ eingesetzt. Für Fichte Gleichung (2.55), Buche Gleichung (2.56), Tanne Gleichung (2.57) und für Kiefer Gleichung (2.58).

Da zur Bestimmung des Oberhöhenwachstums nach Gleichung (2.18) das Oberhöhenalter bestimmt werden muß, wurden die Oberhöhenkurven nach dem Alter umgeformt (Gleichung 2.59, 2.60 und 2.61).

⁵Nach Marschall und Sterba (1975) kommt in der Gleichung kein t_0 vor, was durch setzen von $t_0 = 0$ ebenfalls erreicht werden kann.

⁶dort wird zwar als Funktion $OH = SI^{-1} \left(1 - e^{(-100 \cdot k)}\right)^{(1/m)} \left(1 - e^{(k-A)}\right)^{1/m}$ angegeben, gerechnet wurde aber mit Gleichung (2.54)

$$\text{OH} = A \left(1 - e^{-k(t-t_0)}\right)^{\frac{1}{1-m}} \quad (2.52)$$

$$\text{OH} = e^{a+b \ln t + c \ln^2 t} \quad (2.53)$$

$$\text{OH} = \frac{\text{SI}}{\left(1 - e^{-100k}\right)^{\frac{1}{m}}} \cdot \left(1 - e^{-k \cdot t}\right)^{\frac{1}{m}} \quad (2.54)$$

$$\text{Gleichung (2.52): } A = a_0 + a_1 \ln(\text{EKL}) + a_2 \ln^2(\text{EKL}) \quad (2.55)$$

$$k = k_0 + k_1 \ln(\text{EKL}) + k_2 \ln^2(\text{EKL})$$

$$m = m_0 + m_1 \ln(\text{EKL}) + m_2 \ln^2(\text{EKL})$$

$$t_0 = 0$$

$$\text{Gleichung (2.53): } a = \ln(\text{SI}) - b \ln(100) - c \ln^2(100) \quad (2.56)$$

$$b = b_0 + b_1 \ln(\text{SI}) + b_2 \ln^2(\text{SI})$$

$$c = c_0 + c_1 \ln(\text{SI}) + c_2 \ln^2(\text{SI})$$

$$\text{Gleichung (2.54): } k = k_0 + \frac{k_1}{\text{SI}^2} \quad (2.57)$$

$$m = m_0 + m_1 \ln(\text{SI})$$

$$\text{Gleichung (2.52): } A = a_0 + a_1 \text{EKL} \quad (2.58)$$

$$k = \frac{k_1}{a_0} - k_0$$

$$m = m_0 - m_1 \text{EKL}$$

$$t_0 = 0$$

$$\text{Gleichung (2.52): } t = t_0 - \frac{\ln \left(1 - \left(\frac{\text{OH}}{A}\right)^{1-m}\right)}{k} \quad (2.59)$$

$$\text{Gleichung (2.53): } t = e^{-\frac{b}{2c} \pm \sqrt{\frac{b^2 - 4c(a - \ln(\text{OH}))}{4c^2}}} \quad (2.60)$$

$$\text{Gleichung (2.54): } t = -\frac{\ln \left(1 - \left(\frac{\text{OH}}{\text{SI}}\right)^m \cdot \left(1 - e^{-100k}\right)\right)}{k} \quad (2.61)$$

OH Oberhöhe

t Alter

EKL ... DGZ₁₀₀ Ertragsklasse

SI Oberhöhe im Alter 100

A, k, m, t₀, a, b, c Platzhalter für Konstante bzw. weitere Gleichungen.

Da das Höhenzuwachsmodell auf einem Potentialkonzept aufbaut, muß man dazu das Höhenzuwachspotential bestimmen. Die Koeffizienten, welche hierfür verwendet wurden, sind in Tabelle 2.1 wiedergegeben.

2.1.3 Koordinatengenerierung

Einer der bekanntesten Strukturgeneratoren in der Forstwirtschaft ist STRUGEN. Dieser wird in Pretzsch (1997, 1995) vorgestellt. Er basiert auf Mischungsansprachen und nicht auf Messungen. Es wird eine gegebenen Anzahl von Bäumen mit bekannter Durchmesser- und Höhenverteilung auf einer Bestandesfläche angeordnet, sodaß eine möglichst gute Übereinstimmung mit der tatsächlich vorhandenen Struktur erzielt wird. Die Vorgehensweise gliedert sich in folgende beiden Punkte:

Tabelle 2.1: Koeffizienten der Oberhöhenfunktionen

Fichte (Ko. 2.55) EKL=9.0	$a_1 = 8.355709153$ $a_2 = 6.256877653$ $a_3 = 2.381166043$	$k_1 = 0.089231514$ $k_2 = -0.045698112$ $k_3 = 0.008976686$	$m_1 = 0.909321680$ $m_2 = -0.288731024$ $m_3 = 0.051761934$
Buche (Ko. 2.56) SI=33.0	$b_0 = 61.039$ $c_0 = -6.2920$	$b_1 = -30.451$ $c_1 = 3.1742$	$b_2 = 3.8868$ $c_2 = -0.40651$
Tanne (Ko. 2.57) SI=31.0	$k_0 = 0.023882735$ $k_1 = 5.954292373$	$m_0 = -2.561509128$ $m_1 = 0.898867635$	
Kiefer (Ko. 2.58) EKL=7.0	$a_0 = 11.211412$ $a_1 = 3.007033$	$k_1 = 0.805789$ $k_0 = 0.001366$	$m_0 = 0.845559$ $m_1 = 0.075994$

Fichte... Gleichung (2.52), Buche... Gleichung (2.53) und Tanne... Gleichung (2.54) aus Golser (1997)

- Uniform Verteilte x- und y-Koordinate erzeugen
- Koordinate des Baumes akzeptieren oder verwerfen

Die Akzeptanz einer Baumkoordinate wird von mehreren Filtern beeinflusst. Wenn alle Filter erfolgreich passiert werden, werden die x- und y-Koordinaten eines einzelnen Baumes akzeptiert. Die einzelnen Filter errechnen für die jeweilige Baumposition eine Wahrscheinlichkeit, daß dort ein Baum vorkommt. Diese Wahrscheinlichkeit wird im Anschluß mit einer Zufallszahl verglichen. Wenn die Wahrscheinlichkeit für diese Baumkoordinate *kleiner* als die Zufallszahl ist, wird diese Baumkoordinate akzeptiert. In STRUGEN existieren folgende Filter:

- Mischungsform (Filter 1)
- Mindestabstände (Filter 2)

Diese Vorgehensweise wird zuerst für die Mischbaumart, im Anschluß für die Hauptbaumart angewandt.

Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Punkt an dieser Stelle akzeptiert wird, wird mit den folgenden Funktionen entschieden (Filter 1):

$$Z_C(x, y) = \min \left\{ 1, \sum_{i=1}^q e^{-\frac{(x-X_i)^2 + (y-Y_i)^2}{E_i^2}} \right\} \quad (2.62)$$

$$Z_S(x, y) = e^{-\frac{\cos \alpha \cdot (x - X_M) + \sin \alpha \cdot (y - Y_M)}{E^2}} \quad (2.63)$$

Z_C 1 – Wahrscheinlichkeit für die Koordinatenakzeptanz (Cluster)
 Z_S 1 – Wahrscheinlichkeit für die Koordinatenakzeptanz (Streifen)
 x, y Baumkoordinate
 X, Y ... Clustermittelpunkt
 E Clustergrößenfaktor
 q Anzahl der Cluster
 α Richtung des Streifens

Wenn nach diesem Schritt die Koordinate akzeptiert wird, wird überprüft, ob der Mindestabstand zu einem Nachbarn eingehalten wird. Dazu wird der Mindestabstand nach folgender Gleichung berechnet (Filter 2):

$$Ma_{(BA_z \rightarrow BA_n)} = a \cdot BHD^b \quad (2.64)$$

Ma Mindestabstand zwischen zwei Baumarten
 BA_z Baumart des zu generierenden Baumes
 BA_n Baumart des nächsten Nachbarn
 BHD .. BHD von Baum z

Falls dieser zu klein ist, werden diese Baumkoordinaten verworfen.

Nachdem auf diese Weise alle Nebenbaumarten Koordinaten erhalten haben, werden die Koordinaten der Hauptbaumart erzeugt. Dabei wird wiederum für die erzeugten Koordinaten eine Wahrscheinlichkeit für deren Auftreten berechnet. Diese wird nach einer folgenden Gleichungen berechnet:

$$Z_D = 1 - Z_C \quad (2.65)$$

$$Z_D = 1 - Z_C \cdot 0.5 \quad (2.66)$$

$$Z_D = 1 \quad (2.67)$$

$$Z_D = 0.8 - Z_C \cdot 0.2 \quad (2.68)$$

$$Z_D = 0.4 - Z_C \cdot 0.6 \quad (2.69)$$

Z_C 1 - Wahrscheinlichkeit für die Koordinatenakzeptanz (Cluster), welche auch durch Z_5 ersetzt werden muß
 Z_D Wahrscheinlichkeit für die Koordinatenakzeptanz der Hauptbaumart. Davon wird eine Gleichung ausgewählt, welche unterschiedliche Durchmischungen mit der Nebenbaumart bewirkt.

Danach wird auch für die Hauptbaumart deren Mindestabstand zu deren nächsten Nachbarn überprüft. Falls dieser groß genug ist, werden die Baumkoordinaten akzeptiert.

2.2 Verjüngung

Die Verjüngungsteilmodelle sind nach Gleichung (2.70) aufgebaut.

$$x = f(\text{Bestandeskoeffizienten, Standortskoeffizienten}) \quad (2.70)$$

Wobei x die Wahrscheinlichkeit für das Ankommen von Verjüngung, die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein einer Baumart in der Verjüngung, die Verjüngungsanzahl je Flächeneinheit, der Prozentsatz an Mortalität je Zeiteinheit oder der Höhenzuwachs ist.

2.2.1 Bestandeskoeffizienten

Zu den Bestandeskoeffizienten gehören alle Variablen, welche die Bestandessituation beschreiben. Dazu zählen:

- Bestandesdichte bzw. deren Änderung im Laufe der Zeit
- Alter
- Baumdimension (Höhe, BHD, Kronenansatzhöhe, . . .)
- Struktur (Horizontal, Vertikal, Zeitlich, . . .)
- Baumart

Koeffizienten, welche direkt beobachtet werden können (BHD, Alter, Höhe) sind als Modell-eingangsgroßen so zu wählen, daß sie leicht erhoben werden können und eine große Aussagekraft im Modell haben. So mag die Angabe des Bestandesalters als brauchbare Größe zum Voraussagen der Verjüngungswahrscheinlichkeit betrachtet werden. Problematisch wird diese Größe jedoch in ungleichaltrigen Beständen. Um Samen zu produzieren, brauchen Bäume ein bestimmtes Alter. Dieses variiert jedoch bei derselben Baumart. So fruchten freistehende Bäume früher als Bäume im Bestandesschluß. Auch Bäume, die geschwächt oder krank sind, fruchten früher als gesunde. In diesen Modellen wurde der maximale BHD als Weiser für die Samenproduktion verwendet. Der maximale BHD wurde aus einer Winkelzählprobe mit $k = 4$ bzw. bei BHD's unter 6 cm auf einer fixen Probefläche von 16 m^2 bestimmt.

Als Bestandesdichtemaß wird oft der CCF (Crown Competition Factor) nach Krajicek u. a. (1961) verwendet. Der CCF wird nach Gleichung (2.71) berechnet. Der dafür benötigte Kronenradius kann entweder nach Gleichung (2.8) oder nach Gleichung (2.7) auf Seite 5 berechnet werden. Hier wurden die Kronenradien nach Hasenauer (1997) gerechnet, wobei der BHD als Eingangsvariable verwendet wurde.

$$\text{CCF} = \frac{\sum_{i=1}^N \text{mca}_i}{A} \cdot 100 \quad (2.71)$$

$$\text{mca} = \frac{\pi \cdot \text{cw}^2}{4} \quad (2.72)$$

A Bestandesfläche
CCF Kronen Konkurrenz Faktor (crown competition factor)
cw Kronendurchmesser (crown width) eines *gleich starken* ohne Konkurrenz gewachsenen Baumes
mca Maximale Schirmfläche (maximum crown area) eines gleichstarken Baumes
N Anzahl der Bäume des Bestandes

Sdino (1996) zeigte jedoch, daß der CCF kein absolutes Dichtemaß darstellt. Deshalb wurde versucht, einen Konkurrenzindex zu finden, der direkt aus den gemessenen Daten einer Stichprobe berechnet werden kann und auch Bäume unter einer Höhe von 1.3 m berücksichtigt, gleichzeitig aber auf der Theorie des CCF's aufbaut. Es wurde, ausgehend von Gleichung (2.73) Gleichung (2.74) gebildet. Die Koeffizienten wurden durch Einsetzen von Werten von 0.1 bis 2 mit einer Schrittweiten von 0.1 bestimmt. Dabei wurde für jede Koeffizientenkombination der sich dabei ergebende Konkurrenzindex berechnet. Es wurden dann jene Koeffizienten verwendet, bei denen die Flächen mit und ohne Verjüngung am besten getrennt werden konnten.

Bei der Berechnung des CCF's mit Hilfe der Kronenradien aus dem BHD ergibt sich zumindest bei der hier verwendeten Kronenradiusfunktion ein Problem bei Bäumen ohne BHD. Um dieses zu umgehen, wurde noch ein sogenannter modifizierter CCF (mCCF) durch Transformation des BHD's mit Gleichung (2.75) berechnet. Eine weitere Möglichkeit zur Berechnung des CCF's von Bäumen unter 1.3 m ist, deren potentiellen Kronenradius mit Hilfe deren Baumhöhe zu bestimmen. Neben diesen drei Indizes gibt es eine Vielzahl von weiteren. Pongruber (2003) erstellte in Anlehnung an diese Arbeit Verjüngungsmodelle mit anderen Bestandesdichtemaßen. Putzhuber (2004) verglich einige, für die Verjüngung relevante Bestandesdichtemaße.

$$\text{CCF} = \frac{100}{10\,000} \cdot \sum \left(\text{cw}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot n_{\text{rep}} \right) = \frac{100 \cdot \pi}{40\,000} \cdot \sum \left((c_0 \cdot d^{c_1})^2 \cdot n_{\text{rep}} \right) \quad (2.73)$$

$$\text{Konk} = \frac{\sum (c_0 \cdot \text{md})^{c_1} \cdot n_{\text{rep}} \cdot c_2}{10\,000} \quad (2.74)$$

$$\text{md} = \begin{cases} d + 1.3 & : h > 1.3 \text{ m} \\ h & : h \leq 1.3 \text{ m} \end{cases} \quad (2.75)$$

CCF Crown Competition Factor
 n_{rep} Repräsentierte Stammzahl je Hektar
cw Kronendurchmesser
d Brusthöhendurchmesser in cm
h Baumhöhe in m
Konk Konkurrenzindex
md Modifizierter Brusthöhendurchmesser
 c_0 - c_2 Baumartenspezifische Koeffizienten

2.2.2 Standortskoeffizienten

Dazu zählen alle Variablen, die den Standort beschreiben. Bei den Verjüngungsmodellen wurden der Humustyp und der Seitenlichteinfluß als Eingangsvariablen verwendet.

2.2.3 Ankommen von Verjüngung

Dieses Modell beschreibt, wieviel neue Verjüngung in den letzten fünf Jahren dazugekommen ist. Da jedoch dies in den meisten Aufnahmen nicht angesprochen worden ist, wurde angenommen, daß alle Bäume unter 20 cm in den letzten fünf Jahren neu dazugekommen sind.

Der Verjüngungsprozeß kann in mehrere Abschnitte gegliedert werden. In dieser Arbeit werden folgende Abschnitte unterschieden:

- Kommt es zu Verjüngung?
- Welche Baumart ist in der Verjüngung?
- Wie dicht ist die Verjüngung?

Diese Abschnitte können nun unterschiedlich aneinander gereiht werden.

- Dreistufig Variante A
 1. Kommt es zu Verjüngung?
 2. Welche Baumart ist in der Verjüngung?
 3. Wie dicht ist die Verjüngung der Baumart?
- Dreistufig Variante B
 1. Kommt es zu Verjüngung?
 2. Wie dicht ist die Verjüngung?
 3. Welche Baumart ist in der Verjüngung bzw. wie hoch ist ihr Anteil an der Stammzahl?
- Zweistufig
 1. Kommt es zu Verjüngung der Baumart?
 2. Wie dicht ist die Verjüngung der Baumart oder die Verjüngung?
- Einstufig
 1. Wie dicht ist die Verjüngung der Baumart oder wie dicht ist die Verjüngung?

Welche Variante gewählt wird, hängt weitestgehend von der Fragestellung und der Qualität der einzelnen Modelle ab. Hasenauer u. a. (2000) schätzten die Verjüngungsdichte direkt. Kindermann u. a. (2002); Hasenauer und Kindermann (2002) schätzen im ersten Schritt ob es Verjüngung gibt, danach wie dicht diese ist und am Schluß welche Baumarten in der Verjüngung vorkommen.

Die verwendeten Variablen für die erstellten Modelle sind in Tabelle 2.2 zu sehen.

Die Logitmodelle, welche die Wahrscheinlichkeit für eine Ereignis berechnen, entsprechen dann Gleichung (2.76) und die Poissonmodelle, welche eine Stammzahl liefern Gleichung (2.77).

$$P_{\text{verj.}} = \frac{1}{1 + e^{-1 \cdot (a + b \cdot \text{konk} + c_1 \cdot \text{bhdmax}_{\text{alle}} + \dots + d_{\text{mull}} + \dots + e_{\text{sl:ja}} + e_{\text{sl:nein}})}} \quad (2.76)$$

$$\ln(N/m^2) = a + b \cdot \text{konk} + c_1 \cdot \text{bhdmax}_{\text{alle}} + \dots + d_{\text{mull}} + \dots + e_{\text{sl:ja}} + e_{\text{sl:nein}} \quad (2.77)$$

Neben diesen klassischen statistischen Modellen wurde für die drei Teilbereiche Ankommen, Baumart und Verjüngungsdichte versucht, auch ein Modell, welches auf neuronalen Netzen und auf Entscheidungsbäumen aufbaut, zu erstellen. Als Eingangsdaten standen die Daten wie in Tabelle 2.2 angeführt zur Verfügung. Für das Modell zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit für das Ankommen von neuer Verjüngung mittels Entscheidungsbaum und neuronalem Netz wurden nur der Konkurrenzindex Konk verwendet.

Tabelle 2.2: Verwendete Variablen der Verjüngungsmodelle

Modell	CCF	mCCF	Konk BHD _{max}							Daten
				alle	Fi	Bu	Ta	So	Ht	Sl	
PV _x	x	x	x	+	+	+	+	+	+	+	Alle
PV _{nN}			+	+	+	+	+	+		+	Alle
PVBa _x			+		x	x	x	x	+	+	Mit Verj.
N/m ²			+	+	+	+	+	+	+	+	Mit Verj.
PBa _x			+		x	x	x		+		Alle
N/m ² _{Ba,x}			+		x	x	x		+		Mit Ba.

BHD_{max} Größter BHD in einer Winkelzählprobe mit Zählerfaktor 4 bzw. wenn BHD kleiner 6 cm auf einer fixen Probestellen von 16 m².

Ht Humustyp

N/m² .. Modell für die Verjüngungsdichte, wenn auf der Fläche Verjüngung ist

N/m²_{Ba,x} Modell für die Verjüngungsdichte, wenn auf der Fläche diese Baumart verjüngt ist

PBa_x ... Logitmodelle für das Ankommen von Fichte, Buche oder Tanne auf jedem Probestellen

PV_x Entscheidungsbaum oder Logitmodelle für das Ankommen neuer Verjüngung mit dem Konkurrenzmaß CCF, mCCF oder Konk

PV_{nN} .. Neuronales-Netz-Modell für das Ankommen neuer Verjüngung

PVBa_x .. Entscheidungsbaum und Logitmodelle für das Ankommen von Fichte, Buche, Tanne oder Sonstiger Baumarten, wenn auf dem Probestellen Verjüngung ist

Sl Seitenlichteinfluß vorhanden ja/nein

+ Variable wurde verwendet

x Nur eine dieser Variablen der Zeile wurde für ein Modell verwendet

Alle ... Der gesamte Verjüngungsdatensatz (sowohl Aufnahmen mit als auch ohne Verjüngung)

Mit Verj. Datensätze wo in der Aufnahme neue Verjüngung (unter 5 Jahren) vorhanden war

Mit Ba. Datensätze in denen die im Modell betrachtete Baumart in der neuen Verjüngung aufgenommen wurde

2.2.4 Höhenzuwachs

Die Höhenzuwachsfunction (Gleichung 2.43 auf Seite 12) sollte verallgemeinert werden, um sie auch auf „Standard“ Waldinventurdaten (ohne Baumkoordinaten) anwenden zu können. Dazu wurde als erstes der Faktor *EIL* (Gleichung 2.47) durch $\sum SUMD$ (Gleichung 2.48) ersetzt. In einem weiteren Schritt wurde *RCI* (Gleichung 2.46) durch die Anzahl der Verjüngungsbäume, die größer als der untersuchte Baum und kleiner als 1.3 m sind, ersetzt. Abschließend wurde der abstandsabhängige Konkurrenzindex *OCI* (Gleichung 2.45) durch den abstandsunabhängigen *CCF* (Gleichung 2.71) ausgetauscht. Somit entstand Gleichung (2.78):

$$ih = ih_{pot} \cdot \left(1 - e^{-(a \cdot CCF + b \cdot N_{vh})^{-1} + d \cdot SUMD}\right) \quad (2.78)$$

ih Höhenzuwachs

ih_{pot} ... Potentieller Höhenzuwachs

SUMD Gewichteter Abstand zu den Bestandesrändern nach Gleichung (2.48)

CCF ... Crown Competition Faktor nach Gleichung (2.71)

N_{vh} Anzahl der Verjüngung je m², die höher oder gleich hoch wie der untersuchte Baum ist.

In dieser Arbeit wurde zur Bestimmung des CCF eine Winkelzählprobe mit Zählerfaktor $k = 4$ ohne Beachtung einer Bestandesgrenze durchgeführt. Die minimale Distanz zu einem Bestandesrand wurde mit 1 m festgelegt, um Divisionen durch Null zu vermeiden. Weiters ist zu beachten, daß es ebenfalls zu einer Division durch 0 kommen kann, wenn $CCF = 0$ und $N_{verjhoeh}$ = 0 sind bzw. die Koeffizienten $a = 0$ und $b = 0$ sind. Falls dies der Fall ist, wird ih_{obs} gleich ih_{pot} gesetzt. Außerdem ist nur mit sinnvollen Resultaten zu rechnen, wenn die Koeffizienten a und b positiv sind und der Koeffizient d negativ ist.

Wenn die Bäume der Verjüngung aufgrund ihres berechneten Höhenzuwachses eine Höhe über 1.3 m erreichen, müßte deren BHD bestimmt werden. In diesem Fall handelt es sich jedoch

um Bäume, deren Höhe etwas über 1.3 m ist und deren BHD daher auch nicht besonders groß sein kann. Daher wird es in der Regel ausreichen, für jeden Baum, der die Höhe von 1.3 m überschreitet, je Baumart einen fix vorgegebenen BHD, welchem eine Zufallsstreuung aufgelagert werden kann, zu verwenden.

2.2.5 Mortalität

Mortalität läßt sich in der Regel nur durch wiederholte Datenerhebungen modellieren. Da die zur Verfügung stehenden Daten erst einmal erhoben wurden, mußte ein theoretisches Konzept zur Verjüngungsmortalität erstellt werden. Einfluß auf die Mortalität haben klimatische Einflüsse wie Temperatur, Niederschlag und Strahlung. Weiters haben Schadstoffe, Tiere und Pflanzen einen Einfluß auf die Mortalität.

Bestehende Modelle bzw. Beobachtungen verwenden folgende Eingangsvariablen:

- Nach Golser (1997): Die Baumhöhe und der OCI (siehe Gleichung 2.49 auf Seite 11)
- Nach Yoda u. a. (1963): Hohe Bestandesdichte und Fruktifikation haben einen Einfluß auf Mortalität. Mortalität tritt erst ab einer bestimmten Dichte ein und dauert so lange an, bis eine bestimmte Dichte erreicht ist (eine maximale Dichte kann nicht überschritten werden).
- Nach Kobe u. a. (1995): Mortalität ist abhängig vom Zuwachs bzw. von der Lichtverfügbarkeit.

Das hier zu entwickelnde Verjüngungsmortalitätsmodell soll von der Bestandesdichte abhängig sein. Diese wird nach Gleichung 2.74 auf Seite 17 mit den Koeffizienten von Tabelle 4.1 auf Seite 53 berechnet.

Praktisch durchgeführt wird diese Mortalität, indem vom *höchsten* Verjüngungsbaum beginnend dieses Dichtemaß bestimmt wird. Wenn dieses den vorgegebenen Maximalwert überschreitet, kommt es ab diesem Baum bei allen kleineren Bäumen zu Mortalität. Das vorgegebene Dichtemaß beträgt bei Fichte und Buche $konk = 8$ und bei Tanne $konk = 10$. Zu diesem Wert wird noch eine gleichverteilte Zufallszahl von ± 0.5 dazuaddiert.

Neben der dichteabhängigen Mortalität gibt es noch eine Mortalität, die von Krankheiten, Umweltbedingungen, Wilddruck, ... abhängt. Da die dafür nötigen Daten nicht zur Verfügung stehen, diese Mortalität aber dennoch berücksichtigt werden soll, wurde sie durch einen Mittelwert, kombiniert mit einer Zufallszahl, vorgesehen. Als Median wurde eine Mortalität von etwa 1 % je Jahr in Anlehnung an Leak (1970) angenommen. Die Mortalitätsrate berechnet sich dann nach Gleichung (2.79), wonach sich ein Mittelwert von 1.9604 % bzw. ein Median von 0.9996 % ergibt.

$$p = \begin{cases} \frac{x}{50} & : x \leq 0.98 \\ (x - 0.98) \cdot 50 & : x > 0.98 \end{cases} \quad (2.79)$$

p Zufallsbedingte Mortalitätswahrscheinlichkeit
 x [0,1] gleichverteilte Zufallszahl

2.2.6 Verbiß

Für den Verbiß wurden keine Modelle entwickelt, welche angeben, bei welchen Situationen mit welchem Verbiß zu rechnen ist. Es wurden lediglich die aufgenommenen Daten hinsichtlich ihrer Verteilung ausgewertet. Zusätzlich wurde nach einer Möglichkeit gesucht, die Abnahme der Stammzahl aufgrund des Verbißdrucks quantitativ zu beschreiben. Dazu wurden die Stammzahlen bei unterschiedlichen Verbißprozenten berechnet und bei einer beobachtbaren Abnahme der Stammzahl, diese in Prozent der unverbissenen Verjüngungstammzahl dargestellt.

Bei der Datenauswertung sollte die Verbißgefährdung einzelner Baumarten, die unterschiedliche Verbißstärke in einzelnen Betrieben, der Einfluß der Seehöhe auf die Verbißhäufigkeit sowie

der Einfluß des Vegetationstyps und der Standortseinheit dargestellt werden. Weiters interessiert noch, welchen Einfluß Schutzmaßnahmen und der Baumartenanteil auf den Verbiß haben. Dazu wurden größtenteils Mittelwerte und Standardabweichung oder Median und Perzentilen verwendet. Um den Einfluß des Baumartenanteils anschaulich darzustellen, wurde eine lokale Regression durch die Beobachtungspunkte gelegt.

2.3 Koordinatengenerierung – Bestandesstruktur

2.3.1 Strukturkennzahlen

Um Koordinaten eines Bestandes generieren zu können, werden Informationen über die Bestandesstruktur benötigt. Im Folgenden werden einige Strukturkennzahlen vorgestellt. Dabei wird in der Regel der nächste bzw. der nächst stärkste Nachbar betrachtet. Die vorgestellten Konzepte können meist leicht auf einen weiter entfernten Nachbarn oder auf eine Gruppe von Nachbarn übertragen werden.

2.3.1.1 Abstand zum nächsten Nachbarn

Dabei wird der Abstand vom untersuchten Baum zu dessen nächsten Nachbarn bestimmt. Einer der bekanntesten Vertreter dieser Gruppe ist der Strukturindex nach Clark und Evans (1954). Dieser berechnet sich nach Gleichung (2.82).

$$\bar{r}_A = \frac{\sum r}{N} \quad (2.80)$$

$$\bar{r}_E = \frac{1}{2\sqrt{\rho}} \quad (2.81)$$

$$R = \frac{\bar{r}_A}{\bar{r}_E} \quad (2.82)$$

R Clark and Evans Index

\bar{r}_A Mittlerer gemessener Abstand zum nächsten Nachbarn

r Abstand eines Baumes zu seinem nächsten Nachbarn

\bar{r}_E Erwarteter mittlerer Abstand zum nächsten Nachbarn bei Zufallsverteilung

ρ Bestandesdichte in Bäume/m²

N Anzahl der Beobachtungen

Wobei R Werte von 0 bis 2.1491 annehmen kann. Wenn $R < 1$ weist dies auf Aggregation, wenn $R > 1$ auf Regelmäßigkeit hin. Ist $R = 1$ so wird eine zufällige Verteilung angenommen. Falls der Abstand zum nächsten Nachbarn größer ist als zum Bestandesrand wurde dieser Abstand nicht zur Auswertung verwendet. Es kann jedoch auch vorkommen, daß R Werte jenseits von 2.1491 annimmt. Bei dem Wert 2.1491 handelt es sich nur um ein theoretisches Maximum einer hexagonalen Verteilung, wo der Einfluß der Probeflächenform und Probeflächengrenzen nicht berücksichtigt wurde. So kann es bei langen schmalen Fläche zu Werten jenseits von 2.1491 kommen. Nach Gleichung (2.81) wird erwartet, daß der mittlere Abstand bei einer Zufallsverteilung die Hälfte des Abstandes einer Quadratverteilung ausmacht.

Wenn nun nicht der Abstand zum nächsten Nachbarn, sondern zum n 'ten Nachbarn bestimmt wurde, läßt sich der Erwartungswert für diesen Abstand nach Kotar (1995) mit Gleichung (2.83), und deren Standardabweichung mit Gleichung (2.84) berechnen.

$$r_{e,n} = \frac{n(2n)!}{2^{2n}(n!)^2\sqrt{\rho}} \quad (2.83)$$

$$\sigma_{e,n} = \sqrt{\frac{n}{\pi\rho} - r_{e,n}^2} \quad (2.84)$$

$r_{e,n}$ Erwarteter Abstand zum n 'ten Nachbarn bei Zufallsverteilung
 $\sigma_{e,n}$ Erwarteter Streuung des Abstands zum n 'ten Nachbarn bei Zufallsverteilung
 n n 'ter Nachbar
 ρ Bestandesdichte in Bäume/m²

Der Mittlere Abstand kann jedoch auch nach Gleichung (2.85) berechnet werden. Dabei wird der erwartete mittlere Abstand nach Gleichung (2.86) bestimmt.

$$\bar{r}_{A,n} = \sqrt{\frac{\sum r_{i,n}^2}{N}} \quad (2.85)$$

$$\bar{r}_{E,n} = \sqrt{\frac{10\,000 \cdot n_b}{N/ha \cdot \pi}} \quad (2.86)$$

$\bar{r}_{A,n}$ Mittlerer gemessener Abstand zum n 'ten Nachbarn
 $\bar{r}_{E,n}$ Erwarteter mittlerer Abstand zum n 'ten Nachbarn bei Zufallsverteilung
 $r_{i,n}$ Abstand des i -ten Baumes zu seinem n 'ten Nachbarn
 N Anzahl der Beobachtungen
 N/ha Stammzahl je Hektar
 n_b n 'ter Nachbar, zu dem der mittlere Abstand bestimmt wurde

2.3.1.2 Abstand zum nächst stärksten Nachbarn

Der nächststärkste Nachbar ist jener, welcher vom untersuchten Baum aus betrachtet am stärksten erscheint. Dieser hätte den größten Zählerfaktor bei einer variablen Winkelzählprobe, die an der Position des untersuchten Baumes durchgeführt wird. Der erwartete Abstand zum nächst stärksten Nachbarn eines Baumes berechnet sich nach Gleichung (2.87). Der mittlere Abstand eines Bestandes berechnet sich nach Gleichung (2.89), der Erwartungswert dafür nach Gleichung (2.88). Ein Vorteil der Betrachtung des nächst stärksten, anstatt des nächsten Nachbarn, besteht darin, daß dieser für den untersuchten Baum meist auch den größten Konkurrenten darstellt und dadurch am meisten Einfluß auf den untersuchten Baum ausübt.

$$r_{e,1} = d_1 \sqrt{\frac{1}{4 \cdot G/ha}} \quad (2.87)$$

$$\bar{r}_{e,1} = \frac{\sum d^2}{\sum d} \sqrt{\frac{1}{4 \cdot G/ha}} \quad (2.88)$$

$$\bar{r}_{a,1} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_{i,1} \quad (2.89)$$

$r_{e,1}$ Erwarteter Abstand zum nächst stärksten Nachbarn
 $r_{i,1}$ Beobachteter Abstand zum nächst stärksten Nachbarn
 d_1 Durchmesser des nächst stärksten Baumes
 n n 'ter Nachbar
 N Anzahl der Bäume auf der Probefläche
 G/ha Grundfläche je Hektar (Diese müßte um die Grundfläche des untersuchten Zentrumsbaumes reduziert werden, dies wurde jedoch vernachlässigt)

2.3.1.3 Baumartengruppierungen

Hier wird untersucht, ob eine Baumart eher neben einem Baum der gleichen Baumart oder eher neben einer anderen Baumart steht. Für diese Untersuchung lassen sich nun die n nächsten Nachbarn oder auch die n nächststärksten Nachbarn verwenden. Dazu wird für jeden Bestand x nach Gleichung (2.90), wenn der nächste Nachbar, bzw. nach Gleichung (2.91), wenn der nächst stärkste Nachbar Verwendung findet, berechnet. Bei $x > 1$ steht neben der untersuchten Baumart eher eine andere Baumart, bei Werten unter 1 steht die Baumart untereinander gruppiert. Bei Reinbeständen kann nach diesen Gleichungen kein Wert berechnet werden, was an und für sich nicht stört, da dort keine Baumartengruppierung existieren kann. Falls in solchen Beständen dennoch ein Wert verlangt wird, ist dieser auf 1 zu setzen, da die beobachtete Nachbarschaft zwischen den Baumarten der erwarteten entspricht.

$$x_N = \frac{\frac{n_d}{n_u}}{\frac{N_a}{N-1}} \quad (2.90)$$

$$x_G = \frac{\frac{n_d}{n_u}}{\frac{G_a}{G - \bar{g}_u}} \quad (2.91)$$

- n_d Beobachtete Anzahl an Nachbarn einer anderen Baumart
- n_u Anzahl der Bäume der untersuchten Baumart
- N_a Anzahl an Bäumen einer anderen Baumart im Bestand
- N Gesamtanzahl an Bäumen im Bestand
- G_a Grundfläche einer anderen Baumart im Bestand
- G Bestandesgrundfläche
- \bar{g}_u Mittlere Kreisfläche der untersuchten Baumart
- x Baumartengruppierungsindex

2.3.1.4 Durchmesserdivergenz

Dabei wird der BHD eines Nachbarn durch den BHD des betrachteten Zentrumsbaumes dividiert. Ist dieser Wert für eine Baumart ständig größer als eins, so handelt es sich in der Regel um eine beherrschte Baumart. Ist der Wert hingegen bei fast allen Bäumen einer Baumart kleiner 1, so handelt es sich um eine herrschende Baumart. Um die Homogenität der BHD-Verteilung eines Bestandes beurteilen zu können, wird der dünnere durch den dickeren BHD dividiert.

2.3.1.5 Standfläche

Hier wird untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen Standflächengröße und dem BHD eines Baumes besteht. Dieser sollte eigentlich bestehen, da die Standfläche unter Berücksichtigung des BHD's berechnet wird. Die Standfläche wurde nach Römisch (1996); Faber (1981) berechnet. Dazu wird die Bestandesfläche in Teilflächen – sogenannte Rasterpunkte – unterteilt und auf jedem Rasterpunkt der Distanzfaktor jedes Baumes nach Gleichung (2.92) berechnet. Jener Baum mit dem größten Distanzfaktor bekommt dann den Rasterpunkt zugewiesen. Die Summe der Rasterpunkte jedes einzelnen Baumes ergibt dann dessen Standfläche. Die erwartete Größe dieser Standfläche errechnet sich nach Gleichung (2.93). Die Standfläche ohne Berücksichtigung einer Wuchsgröße wird in der Literatur als Standfläche nach BROWN, Thiessen-Polygon, Voronoi-Diagramm (Okabe u. a. 2000) oder Delaunay-Triangulation bezeichnet. Jene Standflächen, mit Berücksichtigung einer Wuchsgröße, werden als Standfläche nach RÖMISCH, Standfläche nach FABER oder gewichtetes Voronoi-Diagramm bezeichnet.

$$\text{Distanzfaktor}_i = \frac{\text{BHD}_i}{d_{ij}} \quad (2.92)$$

$$A_{\text{erw.}} = \frac{\text{BHD}^2 \cdot \frac{\pi}{4}}{G_{\text{Bes.}}} \cdot A_{\text{Bes.}} = \frac{\text{BHD}^2 \cdot \frac{\pi}{4}}{G/\text{ha}} \quad (2.93)$$

- $G_{\text{Bes.}}$... Grundfläche des Bestandes
 $A_{\text{Bes.}}$... Bestandesfläche
 d_{ij} ... Abstand des i 'ten Baumes zum j 'ten Rasterpunkt
 BHD_i ... Durchmesser von Baum i
 $A_{\text{erw.}}$... Erwartete Standflächengröße

Einen Vergleich anderer Methoden der Standflächenberechnung ist in Kindermann (1998), die Anwendung der Standfläche zur Bestimmung der Standflächenleistung in Mazzorana (2000); Walch (2001) dargestellt.

2.3.1.6 BHD-Verteilung

Für Bestände, deren Stammzahl, d_g , d_{\min} , d_{\max} , $d_{63\%}$ und $d_{95\%}$ bekannt ist, nicht jedoch der BHD jedes einzelnen Stammes, kann die BHD-Verteilung nach Wenk u. a. (1990); Hartung u. a. (1991); Gerold (1988) mittels Weibullfunktion durch Gleichung (2.95) erzeugt werden. Der Formkoeffizient c läßt sich nach Gerold (1988) mittels Gleichung (2.96) berechnen. Dazu ist jedoch der $d_{95\%}$ nötig. Falls dieser nicht bekannt ist kann der Formkoeffizient auch geschätzt werden. Wie sich die BHD-Verteilung bei unterschiedlichen Formkoeffizienten ändert, ist in Abbildung 2.2 zu sehen.

$$x = a \cdot e^{\left(\frac{1}{c} \cdot \ln \left(\frac{-1}{d_{\max} - d_{\min}} \cdot \ln(\text{rnd}) \right) \right)} \quad (2.94)$$

$$\text{bhd} = x \cdot (d_{\max} - d_{\min}) + d_{\min} \quad (2.95)$$

$$\hat{c} = \frac{\ln(-\ln(1 - 0.95))}{\ln \left(\frac{d_{95\%} - d_{\min}}{d_{63\%} - d_{\min}} \right)} \quad (2.96)$$

- x ... Weibullverteilte Zufallszahl
 a ... Multiplikator damit x zwischen 0 und 1 liegt (ist abhängig von der kleinsten bzw. größten Zufallszahl die möglich ist)
 rnd ... Gleichverteilte Zufallszahl zwischen 0 und 1
 c ... Formparameter
 d_{\min} ... Kleinster Durchmesser
 d_{\max} ... Größter Durchmesser
 $d_{63\%}$... Durchmesser der 63 % Quantille des BHD (ca. d_g)
 $d_{95\%}$... Durchmesser der 95 % Quantille des BHD

2.3.1.7 Behandlung von Randbäumen

Sobald ein n 'ter Nachbar weiter entfernt steht als die Bestandesgrenze entfernt liegt, wurden die entsprechenden Distanzen nicht mehr zur Auswertung herangezogen, da in solchen Fällen nicht bekannt ist, ob die ermittelte Entfernung tatsächlich zum n 'ten Nachbarn besteht oder zum $n+x$ 'ten Nachbarn. Diese Entscheidung läßt sich bei der Entfernung zu den nächsten Nachbarn leicht fällen, zu den nächststärksten Nachbarn aber nicht, da dort nicht nur die Entfernung, sondern auch der BHD des Baumes berücksichtigt wird. Da aber die Berücksichtigung des BHD's von Bäumen, die nicht gemessen wurden nicht möglich ist, wurde in diesen Fällen genauso gearbeitet wie bei dem Abstand zum nächsten Nachbarn. Bei der Standflächenberechnung wurden alle Bäume verwendet, welche nicht unmittelbar als Randbäume klassifiziert werden konnten. Randbäume waren jene Bäume, deren Standflächengrenze nicht ausschließlich an die Standflächengrenze eines anderen Baumes grenzt.

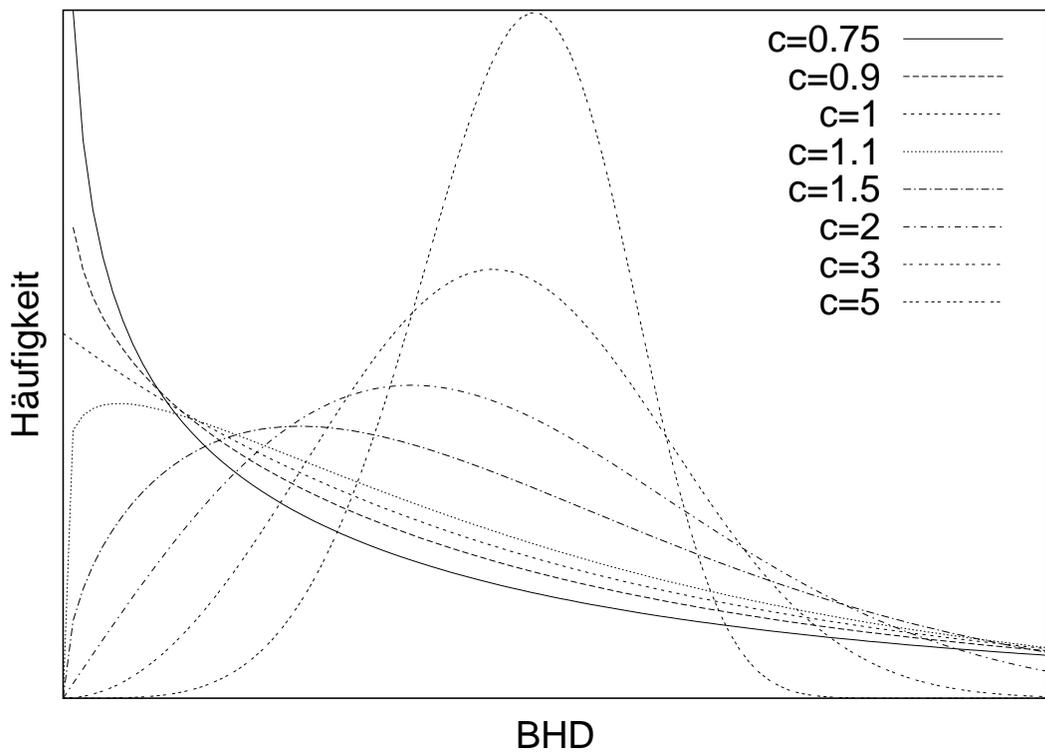


Abbildung 2.2: Weibullverteilungen bei unterschiedlichen Formkoeffizienten

2.3.2 Gesetzmäßigkeiten - Korrelationen

2.3.2.1 BHD und Abstand zwischen zwei Bäumen

Dieser Zusammenhang wurde z.B. von Pretzsch (1995, 1997) dahingehend untersucht, das hier ein Zusammenhang zwischen Mindestabstand zum nächsten Nachbarn und BHD des untersuchten Baumes festgestellt wurde. Pommerening (2000); Degenhardt und Pommerening (1999) bestimmte eine Funktion, welche den geschätzten Abstand zum nächsten Nachbarn, aus dem Abstand zum zweitnächsten Nachbarn, dem Kronendurchmesser des Bezugsbaumes sowie der beiden nächsten Nachbarn und dem Lichttransmissionkoeffizienten der drei Bäume, berechnet.

Hier wird versucht, einen Zusammenhang zwischen dem BHD des untersuchten Baumes, dem BHD seines Nachbarn und deren Abstand zueinander festzustellen. Bei dieser Untersuchung müssen jedoch allgemeine Gesetzmäßigkeiten und Einflüsse der Bestandesstruktur ausgeschlossen werden. So läßt sich der erwartete Abstand zu einem n nächsten Nachbarn nach Gleichung (2.83) bzw. nach Gleichung (2.86) berechnen. Der Abstand zum n nächststärksten Nachbarn läßt sich nach Gleichung (2.87) berechnen. Dadurch wird z. B. der Abstand von einem Baum zum nächsten durch die Abnahme der Stammzahl automatisch größer. Nun nimmt in der Regel die Stammzahl in älteren Beständen ab, deren BHD zu. Eine Nichtberücksichtigung dieses Zusammenhangs würde aller Wahrscheinlichkeit nach zu einem Zusammenhang von BHD und Baumabstand führen. Das gleiche gilt auch für die Bestandesstruktur. Stammzahl und Bestandesstruktur werden durch Abziehen des mittleren Abstandes in dem Bestand von der beobachteten Entfernung berücksichtigt. Da bei der Berechnung des Abstandes zwischen zwei Bäumen auch deren Baumart berücksichtigt werden kann, muß die Baumart auch beim Abstand zwischen zwei Bäumen berücksichtigt werden. Schlußendlich wurde versucht, Gleichung (2.97) zu parametrisieren.

$$d_1 - \bar{d}_{ba,ban,best} = a \cdot (bhd_i + bhd_{i,j} - \overline{bhd}_{ba_i} - \overline{bhd}_{ba_{i,j}}) \quad (2.97)$$

a Baumartenspezifischer Koeffizient

$d_{i,j}$ Abstand von Baum i zum j nächsten Nachbarn

$\bar{d}_{ba,ban,best}$ Mittlerer Abstand zum nächsten Nachbarn dieser Baumart in diesem Bestand (berechnet nach Gleichung (2.80) bzw. Gleichung (2.85)).

bhd_i BHD des untersuchten Baumes

$bhd_{i,j}$ j'ter Nachbar des untersuchten Baumes

\overline{bhd}_{ba_i} .. Mittlerer BHD der Baumart des untersuchten Baumes

$\overline{bhd}_{ba_{i,j}}$.. Mittlerer BHD der Baumart der j'ten Nachbarn des untersuchten Baumes

Theoretisch müßte nicht der mittlere BHD der beiden Nachbarn abgezogen werden, sondern das Bestandesmittel von $bhd_i + bhd_{i,j}$. Da sich dieses jedoch erst berechnen läßt, wenn für jeden Baum dessen Nachbar gesucht wurde, und das jedoch erst möglich ist, wenn die Koordinaten der Bäume bekannt sind, wäre diese Vorgehensweise bei einer geplanten Koordinatengenerierung nur iterativ möglich.

Gleichung (2.97) kann bei Berechnung von $\bar{d}_{ba,ban,best}$ nach Gleichung (2.80) ohne Gewichtung parametrisiert werden. Bei Verwendung von Gleichung (2.85) muß mit r^2 (r = beobachteter Abstand zum nächsten Nachbarn) gewichtet werden.

Bei der Beobachtung des Abstandes zum nächst stärkst erscheinenden Nachbarn wurde Gleichung (2.98) verwendet.

$$d_b - d_e \cdot \frac{\bar{d}_b}{\bar{d}_e} = a \cdot (BHD_i - \overline{BHD}_{bai}) \quad (2.98)$$

a Baumartenspezifischer Koeffizient

d_b Beobachteter Abstand des Einzelbaumes

d_e Erwarteter Abstand des Einzelbaumes

\bar{d}_b Beobachteter mittlerer Abstand der Baumart

\bar{d}_e Erwarteter mittlerer Abstand der Baumart

BHD_i .. BHD des nächst stärksten Nachbarn

\overline{BHD}_{bai} Mittlerer BHD der Baumart des Nachbarn i

2.3.2.2 Baumart des Nachbarn

Hier wird untersucht, ob eine Baumart eher neben sich selber steht oder eher neben einer anderen Baumart. Dabei kann wieder der nächste oder der am stärksten erscheinende Nachbar verwendet werden. Der Index nach Gleichung (2.90) bzw. Gleichung (2.91) wurde bestandesweise berechnet.

2.3.2.3 Durchmesser des Nachbarn

Die Streuung der Durchmesserdifferenzierung wurde für den nächsten Nachbarn und den nächst stärksten Nachbarn mit und ohne Berücksichtigung der Baumart berechnet.

2.3.2.4 Standfläche und BHD

Es wurde für jeden Baum dessen Standfläche berechnet und mit seinem Erwartungswert verglichen. Der Unterschied zwischen Beobachtung und Erwartung wurde bestandesweise verglichen. Es wurde die prozentuelle Abweichung der berechneten Standfläche von der erwarteten nach Gleichung (2.99) berechnet.

$$x = \frac{A_{ber.}}{A_{erw.}} - 1 \quad (2.99)$$

x Relative Abweichung der berechneten Standfläche von der erwarteten
 $A_{ber.}$. . . Berechnete Standfläche
 $A_{erw.}$. . . Erwartete Standfläche

2.3.2.5 BHD-Verteilung

Für die BHD-Verteilung wurde für jeden Bestand der Formfaktor c nach Gleichung (2.96) bestimmt. Dies geschah ohne Berücksichtigung der Baumart und wurde nur zur Veranschaulichung der damit ermittelten Werte berechnet.

2.3.3 Strukturerzeugung

Zur Erzeugung von Baumkoordinaten werden Angaben über die Bestandesflächengröße, die Stammzahl, die Baumarten, die BHD-Verteilung und die Bestandesstruktur benötigt. Dabei können bei einigen Angaben Standardwerte verwendet werden.

Die folgenden Punkte müssen teilweise öfters durchgeführt werden, da eine Änderung in einem Punkt eine Änderung im anderen verursacht. Die Annäherung an alle vorgegebenen Strukturen kann somit nur iterativ erfolgen.

2.3.3.1 Koordinatenerzeugung

Baumkoordinaten können zufällig oder systematisch erzeugt werden. Zufällige Koordinaten werden durch die Erzeugung gleichverteilter Zufallszahlen generiert. Systematische Baumverteilungen können durch Angabe der Abstände zwischen einzelnen Bäumen und einzelner Baumreihen erzeugt werden. Sie können aber auch durch Angabe von Strukturkennwerten so erzeugt werden, daß die Koordinatenverteilung diesen Vorgaben entspricht. Wie solche Kennzahlen nachgebildet werden können, ist in den nächsten Punkten beschrieben.

2.3.3.2 Abstand zu Nachbarn verschieben

Dabei wird der Abstand zum nächsten Nachbarn bzw. nächst stärksten Nachbarn nach einem Vorgabewert hergestellt. Es kann der BHD der benachbarten Baumarten berücksichtigt werden. Durch diesen Vorgang wird eine horizontale Bestandesstruktur erzeugt.

2.3.3.3 Nachbarschaftsbeziehung der Baumarten

Hier werden die fixen Positionen zwischen verschiedenen Bäumen verschiedener Baumart getauscht, sodaß eine vorgegebene Segregation/Aggregation der Baumarten erreicht wird. In diesem Schritt wird eine artspezifische Nachbarschaftsstruktur erzeugt.

2.3.3.4 Durchmesserdifferenzierung

Auch hier werden die fixen Positionen zwischen verschiedenen Bäumen getauscht, sodaß eine vorgegebene Durchmesserdifferenzierung zwischen zwei Nachbarn erreicht wird. Dabei kann, muß aber nicht auf die Baumart geachtet werden. Durch diesen Vorgang wird eine BHD-Struktur zwischen den Nachbarn erzeugt.

2.3.3.5 Standflächenverteilung

Hier wird der BHD einer entsprechenden Standfläche zugeordnet. Dadurch wird erreicht, daß große Bäume eine große, kleine Bäume eine kleine Standfläche bekommen.

2.3.3.6 BHD-Verteilung

Falls in einem Bestand nicht alle BHD's bekannt sind sondern nur die Stammzahl, wird eine BHD-Verteilung mit Hilfe der Weibullverteilung erzeugt. Eine andere Möglichkeit ist die Angabe der Stammzahlverteilung in einzelnen BHD-Klassen durch den Anwender und die Nachbildung aufgrund dieser Angabe.

2.4 Bestandesrand

Bei der Aufnahme von fixen Probeflächen, gibt es meist Bäume außerhalb der Fläche, welche einen Einfluß auf Bäume in der Fläche haben. Im Gegenzug haben auch Bäume der aufgenommenen Fläche Einfluß nach außen hin. Bei Betrachtung des gesamten Bestandes halten sich diese wechselseitigen Einflüsse in der Regel die Waage und müssen nicht weiter berücksichtigt werden, da stets auf die aufgenommene Fläche bezogen wird. Bei der Einzelbaumbetrachtung hingegen werden oft Einflußzonen des Baumes betrachtet, welche auch außerhalb der Aufnahmefläche liegen. Nun bestehen vier Möglichkeiten diesen Einfluß zu berücksichtigen.

- Die Einflußzone des Baumes nur dort betrachten, wo diese auch innerhalb der Probefläche liegt
- Nur jene Bäume betrachten, welche weit genug von der Bestandesgrenze entfernt sind
- Künstlich Bäume auch außerhalb der Probefläche erzeugen
- Die Konkurrenz von Bäumen innerhalb der Fläche mit einem Korrekturfaktor erhöhen

Der erste Punkt ist nur dann anwendbar, wenn die Anzahl der Konkurrenten keine Rolle spielt. Also etwa bei der Berechnung einer Standfläche jedes einzelnen Baumes. Der zweite Punkt ist bei der Simulation eher nicht zu gebrauchen, sehr wohl hingegen bei der Parametrisierung.

Die verwendete Methode muß also ein Unterschätzen der Konkurrenzsituation von Randbäumen und ein Überschätzen der Abstände zu deren Nachbarn ausschalten. Es müssen die Bäume außerhalb des koordinativ aufgenommenen und ausgewerteten Bestandes berücksichtigt werden.

Im Folgenden sind einige prinzipielle Methoden aufgezählt, wie die Beachtung des Bestandesrandes erfolgen kann.

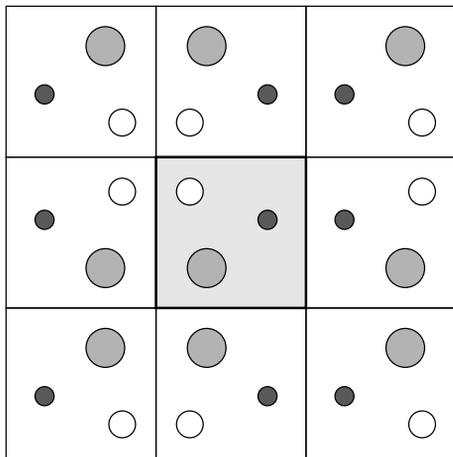


Abbildung 2.3: Probeflächenspiegelung

Die grau unterlegte Fläche ist die aufgenommene Probefläche. Diese wird an den Aufnahmegrenzen gespiegelt.

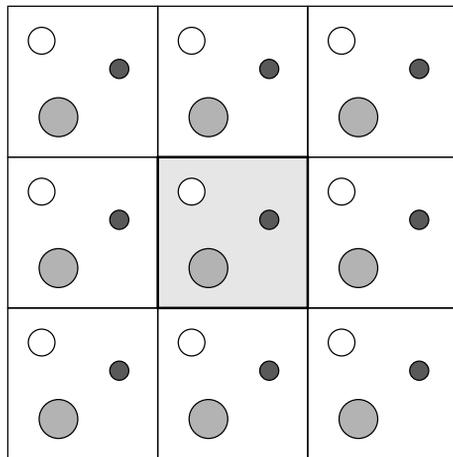


Abbildung 2.4: Probeflächentranslation

Die grau unterlegte Fläche ist die aufgenommene Probefläche. Diese wird jeweils um eine Seitenlänge verschoben.

2.4.1 Keine Berücksichtigung

Dies führt zu einer Unterschätzung der Konkurrenz und Überschätzung der Baumabstände der Bäume am Aufnahmerand.

2.4.2 Spiegelung der Probefläche

Dabei wird die Probefläche entlang einer Achse, oder einzelne Bäume über einen Punkt gespiegelt.

2.4.2.1 Spiegelung entlang der Aufnahmegrenze

Bei dieser Variante ist die Spiegelachse die Probeflächengrenze (Biber 1999; Monserud und Ek 1974; Schmid-Haas 1982). Die aufgenommene Fläche wird, wie in Abbildung 2.3 gezeigt, gespiegelt. Dieses Verfahren ist nur bei rechteckigen Flächen sinnvoll anwendbar.

2.4.2.2 Spiegelung entlang der ersten Baumreihe

Hier ist die Spiegelachse die erste Baumreihe des Bestandes (Radtke und Burkhard 1998). Diese Methode ist somit nur bei in Reihen gepflanzten Versuchsfächen, welche rechteckig sind und deren Grenze entlang der Pflanzreihe verläuft, relativ leicht möglich.

2.4.2.3 Spiegelung um den untersuchten Baum

Dies ist eine Variante von Punkt 2.4.2.2. Dabei wird nicht um eine Baumreihe gespiegelt, sondern um den untersuchten Baum, wobei die Spiegelung nur dann durchgeführt wird, wenn der Spiegelbaum außerhalb der Probefläche landet. Diese Variante ist in Abbildung 2.5 dargestellt.

2.4.3 Verschieben der Probefläche

Bei dieser Methode werden die Baumkoordinaten kopiert und um die Länge der Aufnahme- fläche verschoben (Biber 1999; Monserud und Ek 1974; Schmid-Haas 1982). Diese Verschiebung

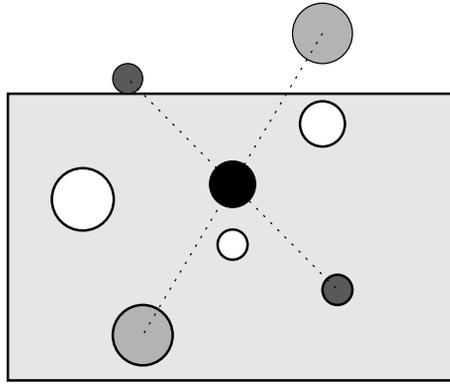


Abbildung 2.5: Spiegelung um einen Baum

Die grau unterlegte Fläche ist die aufgenommene Probefläche. Um den Zentralbaum (schwarz) werden nur jene Nachbarn gespiegelt, deren Spiegelbild außerhalb der Probefläche liegt.

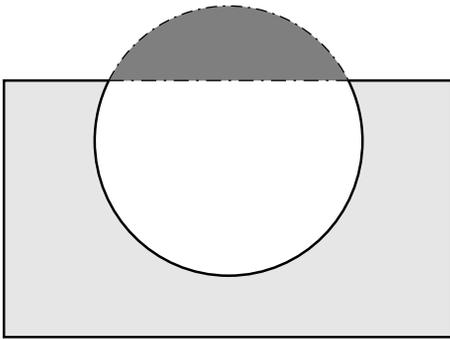


Abbildung 2.6: Gewichtung mit Kreisflächenverhältnissen

Die aufgenommene Probefläche ist hellgrau unterlegt. Das dunkelgrau unterlegte Kreissegment liegt außerhalb der aufgenommenen Probefläche. Die Gewichtung der Kreisfläche erfolgt mit dem Verhältnis Kreisfläche/Kreissegmentsfläche außerhalb

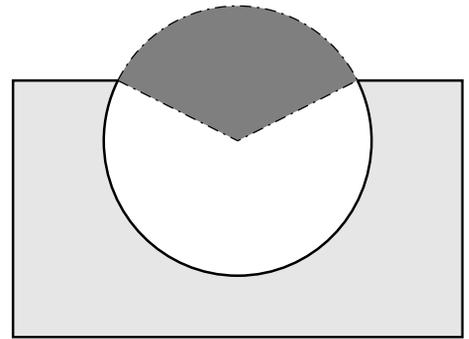


Abbildung 2.7: Gewichtung mit dem Kreisbogenverhältnis

Die hellgrau unterlegte Fläche ist die aufgenommene Probefläche. Der dunkelgrau unterlegte Kreisbogen ist proportional zur Kreisbogenlänge die außerhalb der aufgenommenen Probefläche liegt. Die Gewichtung erfolgt mit dem Verhältnis Kreisfläche/Kreis-sektorfläche.

wird in der Regel acht mal durchgeführt (siehe Abbildung 2.4). Auch diese Methode benötigt rechteckige Flächen.

2.4.4 Gewichtung der Randbäume

Dabei werden die Nachbarn der Randbäume mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert.

2.4.4.1 Gewichtung mit der außerhalb liegenden Fläche

Hier wird die Fläche, auf der Konkurrenten stehen könnten, bestimmt und deren Anteil, welcher außerhalb der aufgenommenen Probefläche liegt, ermittelt (Beers 1966; Bitterlich 1980). Gewichtet wird dann mit dem Verhältnis Konkurrenteneinflußfläche gesamt durch Konkurrenteneinflußfläche auf Aufnahmefläche (siehe Abbildung 2.6).

2.4.4.2 Gewichtung mit dem Verhältnis der Kreisbogenlängen

Hier erfolgt die Gewichtung mit dem Verhältnis von gesamter Kreisbogenlänge zu Kreissegment außerhalb der aufgenommenen Probefläche (Martin u. a. 1977). Der Radius dieses Kreises ist der Abstand vom Probepunkt bzw. Probebaum zum Nachbarbaum (siehe Abbildung 2.7).

2.4.5 Aussparen eines fixen Randbereiches

Dabei wird in die Probefläche eine Auswerteprobefläche gelegt, und nur für Bäume innerhalb dieser die gesuchten Indizes berechnet.

2.4.6 Randbäume nicht auswerten

Wenn bei der Indexberechnung ein Randeinfluß festgestellt wurde, werden die betreffenden Bäume nicht weiter ausgewertet.

2.4.7 Generierung von Baumkoordinaten

Bei diesem Verfahren werden außerhalb der Probefläche Baumdaten generiert (Biber 1999).

2.4.8 Untersuchte Methoden

Von den oben beschriebenen Methoden wurden folgende näher betrachtet:

- Keine Berücksichtigung des Randes (keine)
- Spiegelung an der Bestandesgrenze (Sp_{Gr})
- Spiegelung um den Probebaum (Sp_{Baum})
- Verschiebung der Probefläche (Verschie.)
- Gewichtung mit der Kreisbogenlänge ($Gew_{Kreis.}$)
- Gewichtung mit der Kreisfläche ($Gew_{Fl.}$)

2.4.9 Anwendungsdesign der Randberücksichtigungsmethoden

Um die beschriebenen Methoden zu vergleichen, wurden auf vorhandenen Probeflächen Sub-Probeflächen angelegt. Diese Sub-Probeflächen hatten eine Größe von 15×15 m und die Probeflächen selbst hatten eine Größe von mindestens 30×30 m. Dadurch war es möglich um jede Sub-Probefläche einen Streifen von 7.5 m Breite zu legen auf welchem die tatsächlichen Bäume und deren Position bekannt war. Somit konnte für jeden Baum der Sub-Probefläche seine wirkliche Nachbarschaft bis zu einer Entfernung von 7.5 m festgestellt werden (siehe Abbildung 2.8).

Zum Methodenvergleich wurde um jeden Baum ein fixer Probekreis gelegt. Alle Bäume die in diesen Kreis fielen, wurden gezählt und mittels der beschriebenen Methoden gewichtet. Die Kreise hatten einen Radius von 7.5 m, 5.3 m, 3.75 m, 2.65 m und 1.9 m. Weiters wurde um jeden Baum ein Kreis mit einem Radius von $r = 3.75$ m bzw. $r = 3.75 - \sqrt{1 - \frac{113.5 - BHD}{113.5}}$ m gelegt, und für jeden Baum die Überlappungsfläche dieser Kreise berechnet. Dadurch wird ein abstandsabhängiger Index berechnet, der sich an den Vorschlag von Bella (1971), jedoch ohne Gewichtung mit dem BHD-Verhältnis, orientiert (siehe Abbildung 2.9). Ausgewertet wurden nur jene Bäume, bei denen ein Randeinfluß vorkommen könnte. Das sind alljene, deren Probekreis über die Aufnahmefläche hinausreicht.

Um die Stabilität der Hochrechnung bewerten zu können, wurde gestaffelt für unterschiedliche Hochrechnungsfaktoren die Abweichung von der Beobachtung untersucht. Da die Modelle

Spiegeln und Verschieben eigentlich keinen Hochrechnungsfaktor haben, wurde dieser rechnerisch, über den Anteil jener Stammzahl, die tatsächlich außerhalb der Sub-Probefläche liegen, bestimmt.

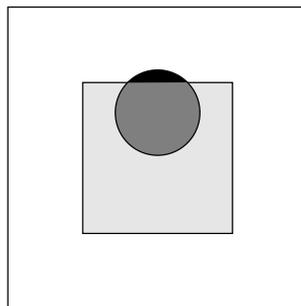


Abbildung 2.8: Probeflächendesign zur Untersuchung des Bestandesrandeinflusses

Die größere Fläche ist die tatsächlich aufgenommen Probefläche mit einer Größe von 30×30 m. Die hellgrau angelegte Fläche ist die Sub-Probefläche, welche zum Testen der Randkorrekturmethode verwendet wurde, mit einer Größe von 15×15 m. In diese Sub-Probefläche wurden um jeden Baum kreisförmige Probeflächen gelegt (dunkelgrau) und in dieser z. B. die Anzahl der Nachbarn gezählt. Wenn diese kreisförmige Probefläche über den Rand der Subprobefläche hinausreicht (schwarze Fläche), müssen die Bäume auf dieser Fläche rechnerisch berücksichtigt werden.

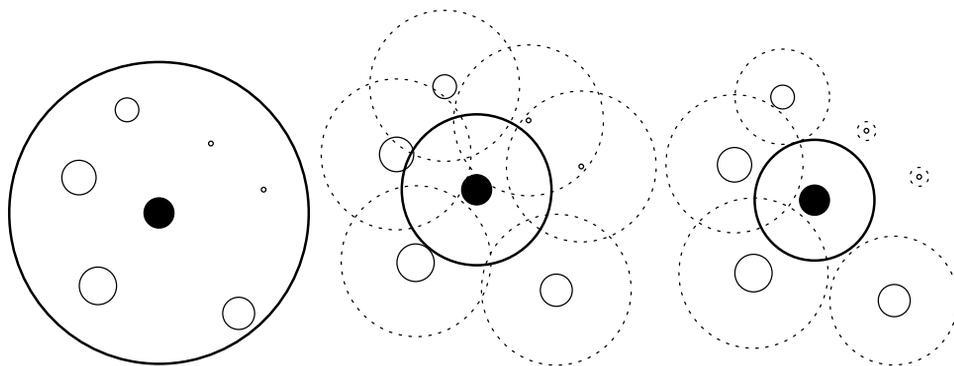


Abbildung 2.9: Versuchsdesign zur Untersuchung der Randgewichtungsmethoden

Der zu untersuchende Baum ist schwarz gefüllt und von einem durchgehenden Kreis umgeben. Die Nachbarbäume sind nicht gefüllt und wenn nötig von einem gepunkteten Kreis umgeben. In der linken Abbildung wurde um einen Probestamm ein fixer Probekreis gelegt und die Anzahl der Bäume, die in den Kreis fielen, gezählt. In der mittleren Abbildung wurde um jeden Baum ein fixer Kreis gezogen und alle Kreisflächenüberlappungen mit dem durchgezogenen Probekreis aufsummiert und durch die durchgezogenen Kreisfläche dividiert. In der rechten Abbildung wurde um alle Bäume ein variabler Kreis gelegt und sonst dasselbe wie in der mittleren Abbildung gemacht.

2.5 Regression

In der Regressionsanalyse wird ein funktionaler Zusammenhang spezifiziert (Hartung u. a. 1991). Die Art und Weise, wie dieser Zusammenhang herausgefunden wird und danach auch wiedergegeben wird, ist je nach Methode unterschiedlich. In dieser Arbeit wurden klassische Regressionen, darunter werden hier lineare, linearisierte und nichtlineare Regressionen verstanden, neuronale Netze, Entscheidungsbäume und lokale Regressionen zur Beschreibung dieses Zusammenhangs verwendet. Die Koeffizienten wurden mit der Statistiksprache R (Ihaka und Gentleman 1996) bestimmt. Lediglich die neuronalen Netze wurden mit sowohl mit R als auch mit SNNS (Zell u. a. 1998) erstellt.

2.5.1 Klassische Regressionen

Bei dieser Methode wird versucht, die Abweichungen der Beobachtungen von einer Modellkurve möglichst gering zu halten. Dies geschieht in der Regel durch Minimieren der Abweichungsquadratsumme. Bei dieser Methode werden in der Regel bestimmte Voraussetzungen an die Daten gestellt. Etwa bei der linearen Regression ist der lineare Zusammenhang zwischen Regressor und Regressand, Normalverteilung der Abweichungen, Homoskedastizität der Abweichungen und metrischskalierte Regressoren, Voraussetzung. Diese Voraussetzungen sind jedoch von der Schätzmethode der Regression abhängig. So gibt es Methoden, bei denen die Normalverteilung der Grundgesamtheit nicht erforderlich ist.

2.5.1.1 Lineare und linearisierte Regression

Diese hat folgenden Aufbau:

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i$$

Wobei α das Absolutglied und β den Steigungsparameter der linearen Beziehung darstellen und $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ zufällige Fehler sind. α und β werden in der Regel so geschätzt, sodaß die Abweichungsquadratsumme von ε_i ein Minimum erreicht. Außerdem ist ein linearer Zusammenhang zwischen y_i und x_i Voraussetzung. Falls dieser lineare Zusammenhang nicht besteht, kann versucht werden, diesen durch Transformation herzustellen und anschließend die transformierten Werte in die lineare Regression eingehen zu lassen. Die Koeffizienten wurden in R mittels `lm` (Linear Models) bestimmt.

2.5.1.2 Nichtlineare Regression

Auch hier wird versucht, die Abweichungsquadratsumme zu minimieren. Dies geht im nichtlinearen System jedoch nicht analytisch. Es können dabei mehrere lokale Minima bestehen. Da die Koeffizientenbestimmung iterativ erfolgt, müssen Startwerte dieser iterativen Suche vorgegeben werden. Das dabei gefundene lokale Minimum muß jedoch keinesfalls das bestmögliche Minimum darstellen. Die Koeffizienten wurden in R mittels des Zusatzpaketes `nls` mit der Funktion `nls` (Nonlinear Least Squares) bestimmt.

2.5.1.3 Logitregression

Bei diesem Modell handelt es sich um eine Regression, welche Ergebnisse zwischen 0 und γ liefern kann, und hat folgenden Aufbau:

$$y(t) = y(t; \alpha, \beta, \gamma) = \frac{\gamma}{1 + \beta e^{-\alpha t}}$$

Mit diesem Modell können Wahrscheinlichkeiten für das Eintreffen eines Ereignisses beschrieben werden. In dieser Arbeit wurde eine vereinfachte Version verwendet, bei der $\gamma = 1$ und $\beta = 1$ gesetzt wurden. Die Koeffizienten wurden in R mittels `glm` (Generalized Linear Models) bestimmt.

2.5.2 Neuronale Netze

Mit künstlichen neuronalen Netzen werden natürliche biologische neuronale Netze als informationsverarbeitende Systeme nachgeahmt. Dabei gibt es eine beträchtliche Anzahl von Netzarchitekturen und Arbeitsweisen sowie Trainingsalgorithmen. Hier wurde nur ein einziger Netztyp und ein Lernverfahren verwendet. Die Beschreibung der neuronalen Netze orientiert sich stark an Zell (1994).

Neuronale Netze bestehen aus:

Zellen = Neuronen: Diese bestehen wiederum aus folgenden Komponenten:

Aktivierungszustand: Gibt den Grad der Aktivierung der Zelle an.

Aktivierungsfunktion: Sie bestimmt, wie sich der Aktivierungszustand aufgrund von unterschiedlichen Eingaben verändert.

Ausgabefunktion: Sie transformiert den Aktivierungszustand der Zelle und gibt diesen Wert aus. In der Regel wird einfach der Aktivierungszustand ausgegeben.

Verbindungsnetzwerk: Dieses verbindet die einzelnen Zellen untereinander. Dabei wird der Ausgang der einen Zelle multiplikativ verändert an den Eingang einer anderen Zelle weitergeleitet. Beim Trainieren des Netzes wird meist dieser Multiplikator verändert.

Propagierungsfunktion: Sie gibt an, wie die Werte, welche an eine Zelle geschickt werden, zusammengefaßt werden sollen (z. B. additiv oder multiplikativ).

Lernregel: Sie versucht, daß Netz soweit zu verändern, daß die vorgegebene Eingabe der gewünschten Ausgabe möglichst gut entspricht.

Diese Teile sind auch in Abbildung 2.10 und 2.11 dargestellt, wobei die Elemente über G die veränderlichen Gewichtungen der Verbindungen zwischen den Zellen darstellen, C eine beim Training veränderbare Konstante welche einem Schwellenwert entspricht, P die Propagierungsfunktion, A die Aktivierungsfunktion und O die Ausgabefunktion darstellt. A und O bilden zusammen das Neuron. Die Zellen werden in den hier verwendeten feedforward-Netzen noch weiter unterteilt nach ihrer Lage im Netz. Dabei gibt es Neuronen in der Eingabeschicht, den verdeckten Schichten und der Ausgabeschicht. Dabei gehen die Verbindungen nur in eine Richtung des Netzes. Bei dem Netz in Abbildung 2.11 stellen die linken Neuronen, welche durch Kreise dargestellt sind, die Eingabeschicht dar. Die folgenden nächsten beiden Schichten sind die verdeckten Schichten und das einzelne Neuron am Ende stellt die Ausgabeschicht dar. In diesem Fall ist jedes Neuron mit jedem Neuron einer benachbarten Schicht verbunden.

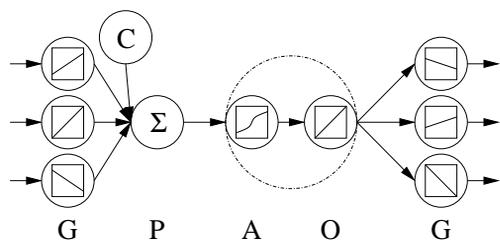


Abbildung 2.10: Darstellung der verarbeitenden Elemente eines neuronalen Netzes

G ... multiplikative Gewichtung, C ... Konstante, O ... Ausgabefunktion, A und O ... Neuron.

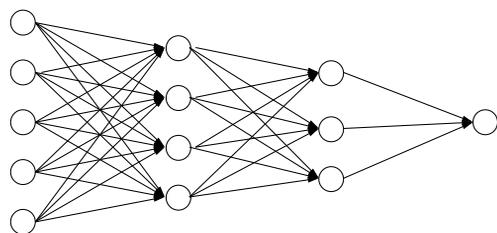


Abbildung 2.11: Ein feedforward-Netzwerk mit drei Schichten von Verbindungen und vier Zellschichten

P ... Propagierungsfunktion, A ... Aktivierungsfunktion,

Beim Lernen des Netzes gibt es nun folgende Möglichkeiten, welche ein Lernalgorithmus zur Veränderung des Netzes anwenden kann:

- Entwickeln neuer Verbindungen
- Löschen existierender Verbindungen
- Modifikation der Verbindungsgewichte zwischen den Zellen
- Modifikation des Schwellenwertes von Neuronen
- Modifikation der Aktivierungs-, Propagierungs- oder Ausgabefunktion
- Entwicklung neuer Zellen
- Löschen von Zellen

In dieser Arbeit wurden lediglich die Gewichte zwischen den Zellen und der Schwellenwert der Neuronen beim Lernen verändert.

Die Lernverfahren können weiter eingeteilt werden in:

- Überwachtes Lernen
- Bestärkendes Lernen
- Unüberwachtes Lernen

Hier wurde das überwachte Lernen verwendet. Dabei wird zu jedem Eingabemuster ein dazugehöriges Ausgabemuster beim Lernen präsentiert. Beim bestärkenden Lernen wird bei jedem Eingabemuster nur die Information der richtigen oder falschen Klassifizierung durch das Netz gegeben und beim unüberwachten Lernen versucht das Netz selbständig ähnliche Muster herauszufinden und diese Kategorien selbst zu klassifizieren.

Durch die relativ große Anzahl an möglichen Koeffizienten kommt es leicht zum sogenannten Überlernen eines Netzes. Dabei wird nicht die vorhandene Gesetzmäßigkeit nachgebildet, sondern der Wert jedes präsentierten Datenpunktes gespeichert. Um diesen Effekt schon beim Erstellen eines Netzes zu erkennen, ist es üblich während des Netztrainings diese sofort an einem unabhängigen Datensatz zu validieren. In dieser Arbeit wurde der vorhandene Datensatz in 2/3 zum Training und 1/3 zum Validieren geteilt.

2.5.3 Entscheidungsbaum

Entscheidungsbäume stellen ein multivariates Klassifikationsverfahren dar, welches auf binärer rekursiver Teilung beruht. Binär bedeutet, daß es immer nur zwei Äste bei einem Knoten gibt und rekursiv, daß dieser Teilungsprozeß wiederholt werden kann. Bei jedem Teilungsknoten werden Teilungsregeln erstellt, welche mit ja oder nein beantwortet werden. Je nach Antwort auf diese Frage, wird entweder der eine oder der andere Ast weiterverfolgt.

Um eine geeignete Frage an einem Teilungsknoten zu stellen, werden bei der Erstellung des Entscheidungsbaumes alle möglichen Teilungsvariablen herangezogen. Die Frage, die den Datensatz am besten teilt, wird ausgewählt. Diese Vorgangsweise wird für jeden so entstandenen Ast wiederholt, bis keine Teilung mehr möglich ist bzw. wenn weniger als eine vorgegebene Anzahl von Beobachtungen in einem Ast vorliegen.

Die Erstellung der Entscheidungsbäume erfolgte mit dem Zusatzpaket `rpart` (Recursive Partitioning and Regression Trees) der Statistiksprache R. Die damit erzeugten Entscheidungsbäume sind in der Regel zu groß und werden daher anschließend um einige Knoten reduziert. Dieses Zurückstutzen wird mittels Cross Validation durchgeführt. Dabei wird mit 9/10 der Datensatzes ein Teilungsknoten erstellt und an 1/10 angewandt. Diese Vorgangsweise wird 10 mal wiederholt. Wenn die Teilung keine Verbesserung bringt wird dieser Ast entfernt. Dadurch kann es auch vorkommen, daß kein Entscheidungsbaum entsteht.

2.5.4 Lokale Regression

Diese wurde mit dem Zusatzpaket `modreg` (Modern Regression) mit der Funktion `loess` (Local Polynomial Regression Fitting) in R gerechnet (Venables und Ripley 1999; Cleveland u. a. 1992a, b). Dabei handelt es sich um eine Routine die versucht mehrere Polynome an die beobachteten Daten anzupassen. In Abbildung 2.12 und 2.13 sind zwei Beispiele einer lokalen Regression dargestellt. Der größte Vorteil dieser Methode liegt darin, daß kein funktionaler Zusammenhang zwischen Regressor und Regressand vom Anwender vorgegeben wird. Dieser wird aufgrund der vorliegenden Daten ermittelt.

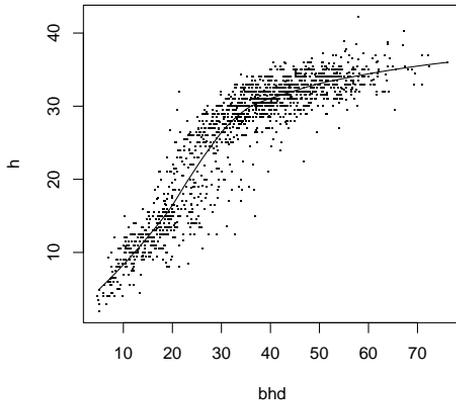


Abbildung 2.12: Durch lokale Regression berechnete Höhenkurve
(Fichten der Hirschlacke im Jahre 1977)

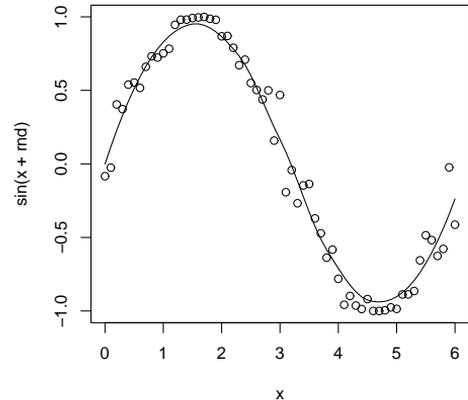


Abbildung 2.13: Mittels lokaler Regression ausgeglichene Sinusfunktion, welcher eine Zufallsstreuung aufgelagert wurde.

Kapitel 3

Daten

In dieser Arbeit wurden mehrere Datensätze unterschiedlicher Herkunft und Qualität verwendet. Diese wurden meist mit unterschiedlichen Aufnahmeverfahren erhoben und hatten verschiedene Datenstrukturen. Bei manchen Datensätzen änderte sich sogar das Datenformat, obwohl sich bei der Aufnahmeart nichts änderte. Um diese Datensätze effizient verwenden zu können, mußten sie in eine einheitliche Struktur gebracht werden. Dies gelang jedoch nicht immer zufriedenstellend. So wurden die Baumarten in der Regel durch Zahlencodes charakterisiert. Dabei vergaben manche eine Nummer für ganze Baumartengruppen (z. B. 26 = Birke, Aspe und Salweide), andere nicht. Als Ausweg wurde dann sowohl für jede dieser Baumarten eine Codierung vergeben als auch für die gesamte Gruppe. Im Folgenden sind die einzelnen Datensätze beschrieben.

3.1 Verjüngung

3.1.1 Ankommen

Dazu wurden folgende Datensätze verwendet:

- Lehrforst der Aufnahmejahre 1998, 2000, 2001 und 2002
- Hirschlacke der Aufnahmejahre 1987 und 2002
- Nationalpark Kalkalpen der Aufnahmejahre 1994 bis 1999

Der Datensatz des Lehrforstes der Jahre 1998 und 2000 wurde zum Erstellen der Modelle verwendet, die restlichen Daten zum Validieren.

In den Abbildungen 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 und 3.7 sowie in den Tabellen 3.1, 3.2 und 3.3 sind diese Datensätze charakterisiert.

In Abbildung 3.1 ist zu sehen, daß es bis auf die Aufnahmen der Hirschlacke Probepunkte gibt, auf denen es keine Verjüngung gab. Außerdem ist zu sehen, daß die Stammzahl, solange diese logarithmisch aufgetragen wird, annähernd linear ansteigt. Dies gilt jedoch nicht bei den sehr hohen Stammzahlen. Das treppenförmige Zunehmen der Stammzahl ist durch die fixe Probeflächengröße bedingt. Die Stammzahlen der Verjüngung liegen durchwegs in einem Bereich von 0 bis über 10 Pflanzen je m^2 .

In den Abbildungen 3.2, 3.4 und 3.6 ist die Verteilung des Grundflächenmittelstammes (d_g) und des stärksten Stammes (bhd_{max}) aufgetragen. Im Lehrforst und im Nationalpark Kalkalpen ist der d_g der meisten Probepunkte in einem Bereich bis ca. 40 cm. Die maximalen BHD's reichen bis und sogar über 100 cm. Auf den Probeflächen der Hirschlacke ist der d_g durchwegs über 35 cm der maximale BHD jedoch stets unter 80 cm.

In den Abbildungen 3.3, 3.5 und 3.7 ist die Verteilung der Stammzahl (N/ha) und der Grundflächenhaltung (G/ha) zu sehen. Die Grundflächenhaltung liegt bei allen Beständen in der Regel

zwischen 0 und 60 m²/ha. Auf einzelnen Punkten reicht sie jedoch bis 100 m²/ha. Die Stammzahl liegt ebenfalls in der Regel im Bereich bis ca. 6000 Stämme je ha. Diese Stammzahl wird jedoch in einzelnen Fällen deutlich überschritten.

In Tabelle 3.1 und 3.2 sind die Anzahlen einzelner Baumarten im Oberbestand und in der Verjüngung dargestellt. Darin sieht man, daß der Fichtenanteil im Oberbestand im Lehrforst etwas geringer ist als jener im Nationalpark Kalkalpen, und daß sich auf jedem Probepunkt der Hirschlacke Fichte befindet. Beim Tannenanteil und Buchenanteil ist die Hirschlacke führend, hingegen gibt es in der Hirschlacke kaum andere Baumarten als Fichte, Tanne und Buche. Im Lehrforst und im Nationalpark Kalkalpen befinden sich auf 50–60 % der Probepunkte noch andere Baumarten neben Fichte, Tanne und Buche. Zu neuer Verjüngung kommt es im Lehrforst auf etwas mehr als 50 % der Flächen, im Nationalpark auf ca. 3/4 und in der Hirschlacke auf 80–100 % der Probepunkte. Es ist auch gut zu sehen, daß das Ankommen von Verjüngung nicht gleichmäßig über mehrere Jahre erfolgt, sondern daß es in manchen Jahren vermehrt zur Verjüngung kommt, in anderen kaum. Es ist auch zu sehen, daß sich die Tanne unter Tanne recht häufig verjüngt (in ca. 60 % der Fälle). Bei Fichte, Tanne und Buche verjüngt sich die selbe Baumart unter ihrem Altbestand äußerst unterschiedlich. Insgesamt kommt es unter Fichte etwas weniger häufig als im Durchschnitt zu Verjüngung, bei Buche kommt es in etwa im Durchschnitt dazu und bei Tanne etwas häufiger.

In Tabelle 3.3 ist der Einfluß der Humusschicht und des Seitenlichtes auf das Ankommen von Verjüngung dargestellt. Darin ist zu sehen, daß es im allgemeinen auf Mull am ehesten zu Verjüngung kommt. Fichte verjüngt sich am ehesten auf Mull, Buche auf Mull bis mullartiger Moder, bei Tanne ist die Humusform weniger entscheidend. Seitenlichteinfluß fördert das Ankommen von Verjüngung.

3.1.1.1 Lehrforst

Der Lehrforst befindet sich im Rosaliengebirge an der niederösterreichisch burgenländischen Grenze. Er gehört zum südlichen randalpinen Fichten–Tannen–Buchenwald nördlicher Wuchsbezirk bzw. zum Wuchsgebiet der Buckligen Welt. Die Jahresmitteltemperatur beträgt ca. 8.5°C, mit Extremwerten von -20°C bis +31°C. Im Jahr kommt es meist zu einer Trockenperiode von 15–19 regenfreien Tagen. Im Schnitt kommt es alle 5 Jahre zu einer niederschlagsfreien Zeit von 30–39 Tagen. Die Jahressumme an Niederschlägen schwankt zwischen 500 mm und 950 mm. Die Ausgangsgesteine der Bodenbildung sind Grobgneis, Phyllit, Serizitschiefer und Triasdolomit. Er liegt in einer Höhe von 500 bis 700 m (Gasch 1985).

Im Lehrforst wird seit dem Jahre 1989 eine Winkelzählprobe mit einem Zählfaktor von $k = 4$ und einer Kluppschwelle von 6 cm durchgeführt. Bei dieser wird jedes Jahr ein Fünftel der Probepunkte aufgesucht. Zusätzlich wurde im Jahre 1998 und 2000 auf dem bestehenden Aufnahmester eine Verjüngungsinventur gemacht und alle Bäume bis zur Kluppschwelle von 6 cm erhoben. Seit dem Jahre 2001 wird die Verjüngung gleichzeitig mit der Winkelzählprobe erhoben.

Auf 421 Probepunkten wurden in den Jahren 1998 und 2000 Verjüngungsaufnahmen gemacht. Insgesamt wurden 422 Verjüngungsaufnahmen erhoben, da ein Punkt zweimal erhoben wurde. Für die Auswertung der Verjüngungsdaten aus den Jahren 1998 und 2000 wurden die Winkelzählprobedaten der Jahre 1996 bis 2000 verwendet, da die Altbestandsaufnahme und die Verjüngungsaufnahme nicht zum gleichen Zeitpunkt erfolgte. Die Altbestandsaufnahmen sowie die Verjüngungsaufnahmen wurden dabei in keiner Weise rechnerisch verändert. Für die Aufnahmen 2001 und 2002 wurden die WZP-Daten des selben Aufnahmjahres verwendet, da diese beiden Aufnahmen gleichzeitig erfolgten.

Bei der Aufnahmen 1998 wurde die Verjüngung nur nach Höhenklassen aufgenommen, nicht jedoch ob die Verjüngung seit den letzten 5 Jahren neu dazugekommen ist. Daher wurde die Annahme getroffen, daß alle Bäume unter 20 cm neu sind. Da bei der Aufnahme 2000 sowohl die neu angekommene Verjüngung als auch die in der Höhenklasse bis 20 cm aufgenommen wurde, konnte diese Annahme überprüft werden. Dabei ergab sich eine Korrelation zwischen der Anzahl neu angekommenen und der Höhenklassen bis 20 cm von $r = 0.89$. Von den 229 Punkten der Aufnahme 2000 gab es auf 87 neue Verjüngung und auf 103 Punkten Bäume in

der HK < 20 cm. Auf 18 Punkten gab es Bäume in der HK < 20 cm und keine neuen Bäume. Auf 2 Punkten gab es neue Verjüngung, aber keine Bäume in der HK < 20 cm. Das heißt, durch diese Annahme wird es im Modell zu einer leichten Überschätzung von neuer Verjüngung kommen, jedoch nur in jenen Fällen, wo es zumindest vor nicht allzu langer Zeit zu Verjüngung gekommen ist.

3.1.1.2 Hirschlacke

Diese Versuchsfläche wurde im Jahr 1977 im Revier Oberhaag des Prämonstratenser Chorherrenstiftes Schlägl (Oberösterreich) angelegt. Sie liegt am Nordhang des Böhmerwaldes, unweit der Grenze zur Tschechischen Republik in einer Seehöhe von 760 m, auf einem auslaufenden Unterhang mit Pseudogley in einem ca. 3.5 ha großen Fichtenbestand 11. Ertragsklasse (dgz₁₀₀ nach der Ertragstafel „Fichte Weitra“ von Marschall (1992)) (Sterba 1999). Auf dieser Versuchsfläche sind alle Bäume mit einem BHD ab 6 cm koordinativ erfaßt worden. Zusätzlich wurden Verjüngungsaufnahmen auf einem fixen Probekreis mit einem Radius von 1.27 m im Jahre 1987 und 2002 durchgeführt.

3.1.1.3 Nationalpark Kalkalpen

Der Nationalpark Kalkalpen liegt in Oberösterreich an der oberösterreichisch steirischen Grenze im Gebiet des Hohen Nock. Die Waldbestände haben ein mittleres Flächenalter von etwa 140 Jahren. Die DGZ100 Ertragsklassen liegen meist im Bereich von 2.5 bis 6.5. Neben Rendzinen auf Wettersteinkalk und Hauptdolomit gibt es mächtige Braunlehmdecken, welche zum Teil pseudovergleyt sind. Die Wasserhaushaltsansprache reicht von trocken über mäßig frische bis frische Standorte (Eckmüllner u. a. 1996). Die Aufnahme der Probepunkte erfolgte mittels fixer Probekreise, wobei alle Bäume mit einer Höhe über 1.3 m aufgenommen wurden. Die Verjüngung (<1.3 m) wurde auf 10 m langen und 40 cm breiten Probestreifen erhoben.

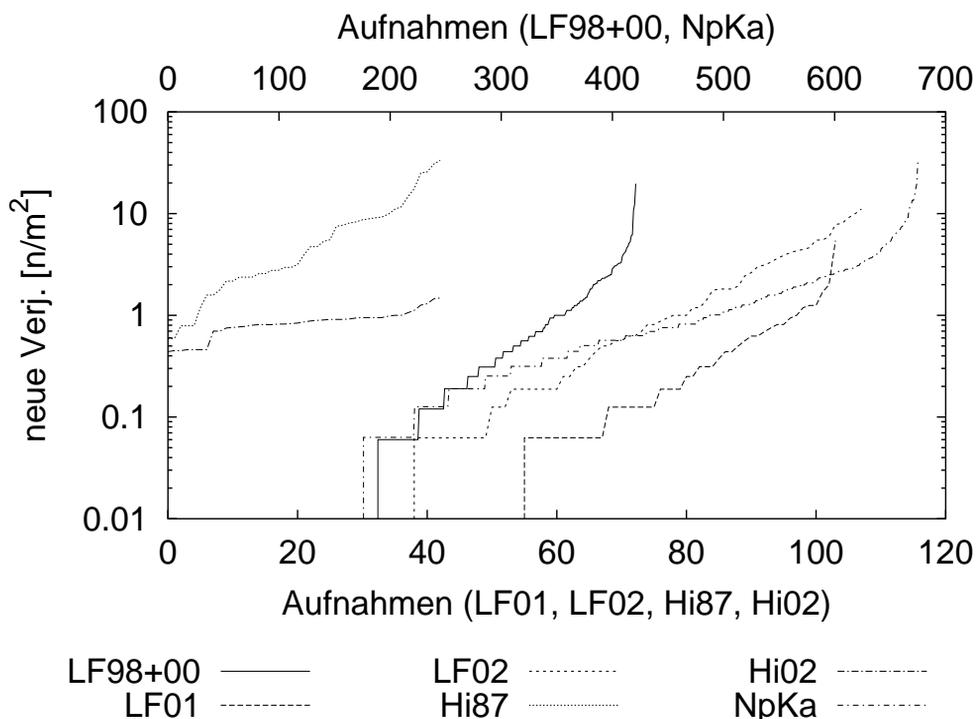


Abbildung 3.1: Verjüngung je m^2 auf den Probeflächen
LF... Lehrforst, Hi... Hirschlacke, NpKa... Nationalpark Kalkalpen

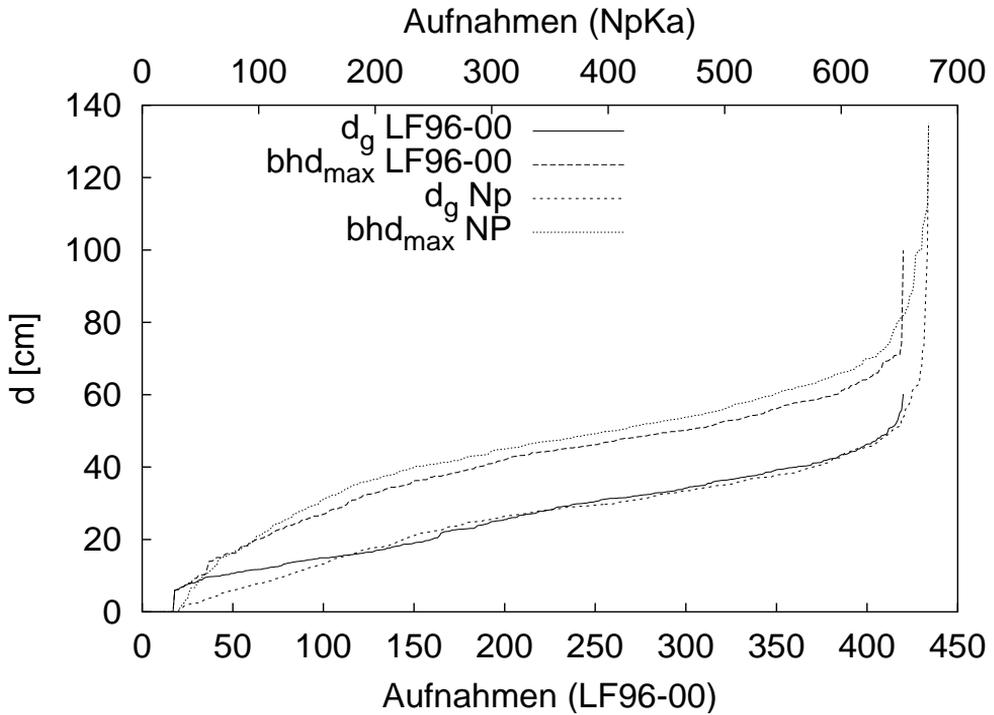


Abbildung 3.2: Verteilung des d_g und des maximalen bhd 's auf den Probeflächen Lehrforst (Lf) und Nationalpark Kalkalpen (Np)

3.1.2 Höhenzuwachs

Dafür wurden folgenden Datensätze verwendet:

- Vollaufnahme in Litschau, Lehrforst und Kammer
- Lehrforst Stichprobe 1998 und 2000
- Lehrforst Stichprobe 2002

In Tabelle 3.4 sind die Daten der Vollaufnahmen zur Parametrisierung des Höhenzuwachsmodells zu sehen. Für die Validierung des Höhenzuwachses der Verjüngung wurden die WZP-Daten des Jahres 1998 und 2000 sowie der Aufnahme 2002 verwendet. In Tabelle 3.5 ist eine Übersicht über die Aufnahme 1998 und 2000 und in Tabelle 3.6 über die Aufnahme 2002. Die Höhe der aufgenommenen Bäume sollte laut Aufnahmeanweisung bis zu einer Höhe von 1.3 m reichen. Einzelnen Bäume überschreiten diese Grenze etwas. Die Höhe der Bäume bezieht sich auf deren Höhe vor dem fünfjährigen Höhenzuwachs. Der potentielle Höhenzuwachs der Fichte erstreckt sich von 0.37 m bis 1.96 m, der der Buche von 0.83 m bis 2.33 m, der der Kiefer von 1.32 m bis 1.93 m und der der Tanne von 0.55 m bis 2.02 m. Der beobachtete Höhenzuwachs der Fichte liegt in einem Bereich von 0.01 m bis 2.15 m, der der Buche von 0.01 m bis 1.98 m, der der Kiefer von 0.12 m bis 0.93 und der der Tanne von 0.03 m bis 1.97 m. Die Konkurrenzmaße RCI (Gleichung 2.46) und OCI (Gleichung 2.45) sind nur für die Bestände deren Bäume koordinativ erfaßt wurden, berechnet worden. Der OCI liegt dabei in einem Bereich von 0.04 bis 28.66 bei der Fichte, bei Buche von 0.19 bis 37.03, bei Kiefer von 0.04 bis 7.08 und bei Tanne von 0.32 bis 37.03. Als abstandsunabhängiges Bestandeskonkurrenzmaß wurde der CCF verwendet. Bei OCI und CCF kann man die unterschiedliche Schattentoleranz der Baumarten erkennen. Kiefer ist kaum schattentolerant, Buche und Tanne hingegen sehr. Bei zwei Datensätzen wurde der CCF auch

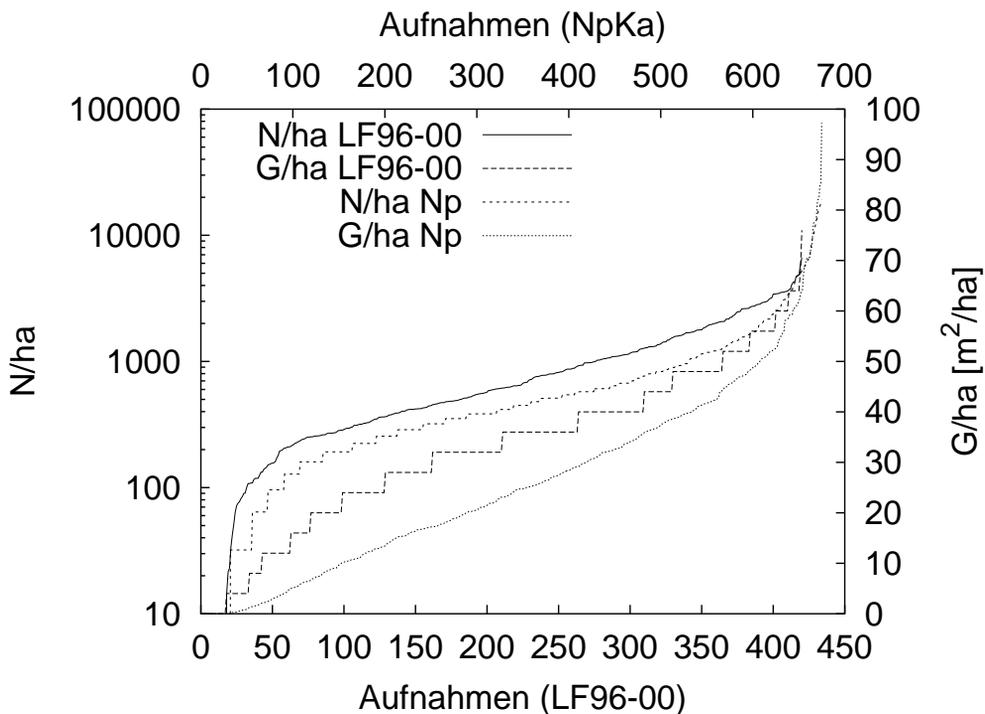


Abbildung 3.3: Verteilung der Stammzahl (N/ha) und der Grundfläche (G/ha) auf den Probestflächen Lehrforst (Lf) und Nationalpark Kalkalpen (Np)

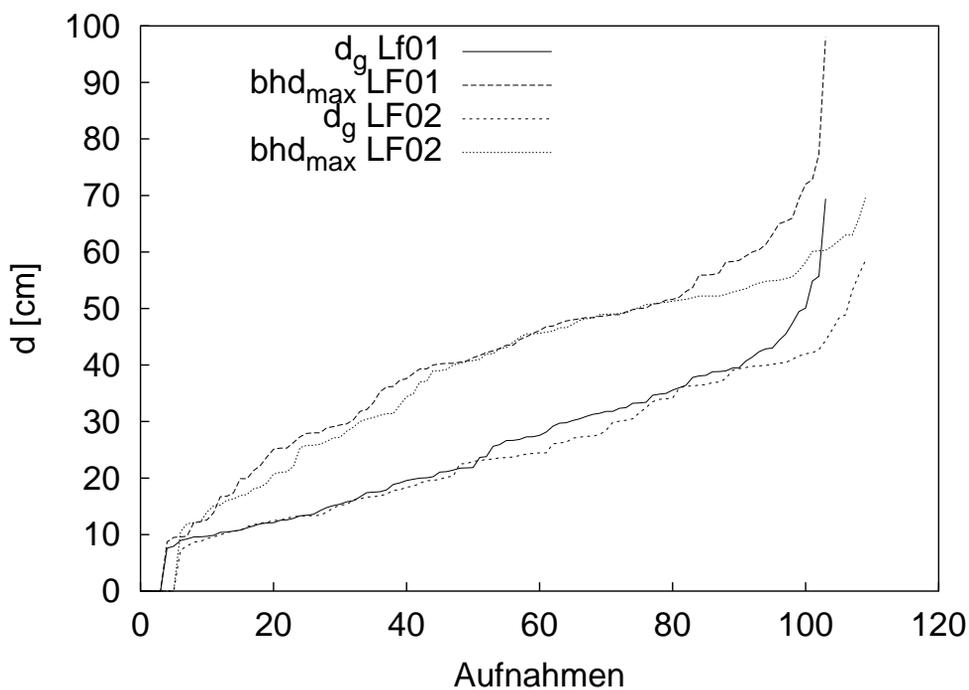


Abbildung 3.4: Verteilung des d_g und des maximalen bhd 's auf den Probestflächen des Lehrforstes

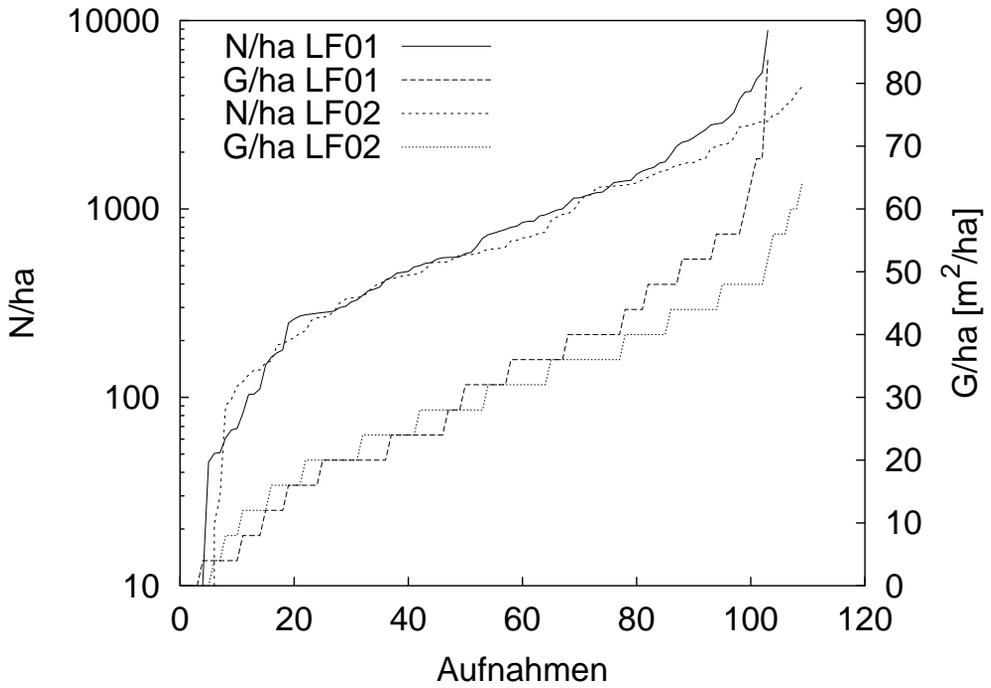


Abbildung 3.5: Verteilung der Stammzahl (N/ha) und der Grundfläche (G/ha) auf den Probeflächen des Lehrforstes

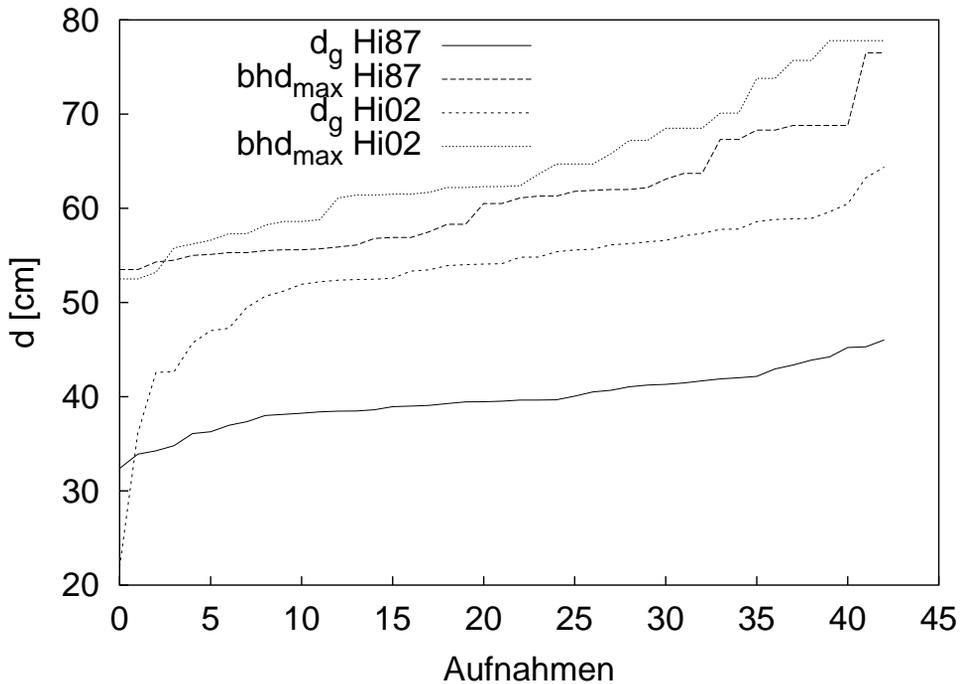


Abbildung 3.6: Verteilung des d_g und des maximalen bhd 's auf den Probeflächen der Hirschslacke

Tabelle 3.1: Anzahl der Probepunkte mit bestimmter Baumart in der WZP bzw. in der Verjüngung

Aufnahme	n	Anzahlen						Prozent						
		Ja	Frei	Fi	Ta	Bu	So	Ja	Frei	Fi	Ta	Bu	So	
Altbestand	LF02	110	103	7	74	9	75	52	94	6	67	8	68	47
	LF01	104	100	4	64	12	71	57	96	4	62	12	68	55
	LF96-00	421	403	18	291	47	286	215	96	4	69	11	68	51
	HL87	43	43	0	43	20	29	2	100	0	100	47	67	5
	HL02	43	43	0	43	22	36	2	100	0	100	51	84	5
	NpKa	676	645	31	514	101	439	406	95	5	76	15	65	60
Verjüngung	Lf02	110	65	45	43	41	50	45	59	41	66(39)	63(37)	77(45)	69(41)
	Lf01	104	48	56	17	14	22	24	46	54	35(16)	29(13)	46(21)	50(23)
	Lf98+00	422	233	189	104	83	159	100	55	45	45(25)	36(20)	68(38)	43(24)
	HI87	43	43	0	43	24	1	0	100	0	100(100)	56(56)	2(2)	0(0)
	HI02	43	35	8	34	23	6	3	81	19	97(79)	66(53)	17(14)	9(7)
	NpKa	676	500	176	255	181	308	467	74	26	51(38)	36(27)	62(46)	93(69)
Altb.+Verj.Ba.	Lf02	110	—	—	31	7	34	23	—	—	42	78	45	44
	Lf01	104	—	—	9	6	20	17	—	—	14	50	28	33
	Lf96-00	422	—	—	69	30	140	50	—	—	24	64	49	23
	HI87	43	—	—	43	12	1	0	—	—	100	60	3	0
	HI02	43	—	—	34	14	5	1	—	—	79	64	14	50
	NpKa	676	—	—	196	49	246	304	—	—	38	49	56	75
Altb.+Verj.	Lf02	110	62	3	44	9	50	32	60	43	59	100	67	62
	Lf01	104	47	1	28	9	36	27	47	25	44	75	51	47
	Lf98+00	421	225	7	159	33	186	120	56	39	55	70	65	56
	HI87	43	43	0	43	20	29	2	100	—	100	100	100	100
	HI02	43	35	0	35	19	29	1	81	—	81	86	81	50
	NpKa	676	476	24	361	80	355	316	74	77	70	79	81	78

n Anzahl der Probepunkte

Ja Auf so vielen Probeflächen gibt es diese Bäume

Frei Auf so vielen Probeflächen gibt es diese Bäume nicht

Altbestand Anzahl der Probepunkte mit Bäumen welche einen BHD > 6 cm (außer NpKa Höhe > 1.3 m) haben. Prozent auf die Spalte n bezogen.

Verjüngung Anzahl der Probepunkte, auf denen Bäume, welche sich in den letzten 5 Jahren verjüngt haben bzw. kleiner als 20/25 cm sind. Prozent: Ja/Frei auf n bezogen, Fi, Ta, Bu und So auf Ja bezogen, die Zahlen in Klammer auf n bezogen.

Altb.+Verj.Ba. Punkte, auf denen die Baumart sowohl im Altbestand als auch in der Verjüngung vorkommt. Prozent: Auf die Anzahl der Probepunkte mit der betreffenden Baumart im Altbestand bezogen.

Altb.+Verj. Punkte, auf denen es bei dieser Baumart im Altbestand zu Verjüngung gekommen ist. Prozent: Auf die Anzahl der Probepunkte mit der betreffenden Baumart im Altbestand bezogen.

Baumart Fi... Fichte, Ta... Tanne, Bu... Buche, So... Sonstiges

Ort HL87...Hirschlacke 1987, HL02...Hirschlacke 2002, LF02...Lehrforst 2002, LF01...Lehrforst 2001, LF96-00... Lehrforst 1996–2000, NpKa... Nationalpark Kalkalpen 1994–1999

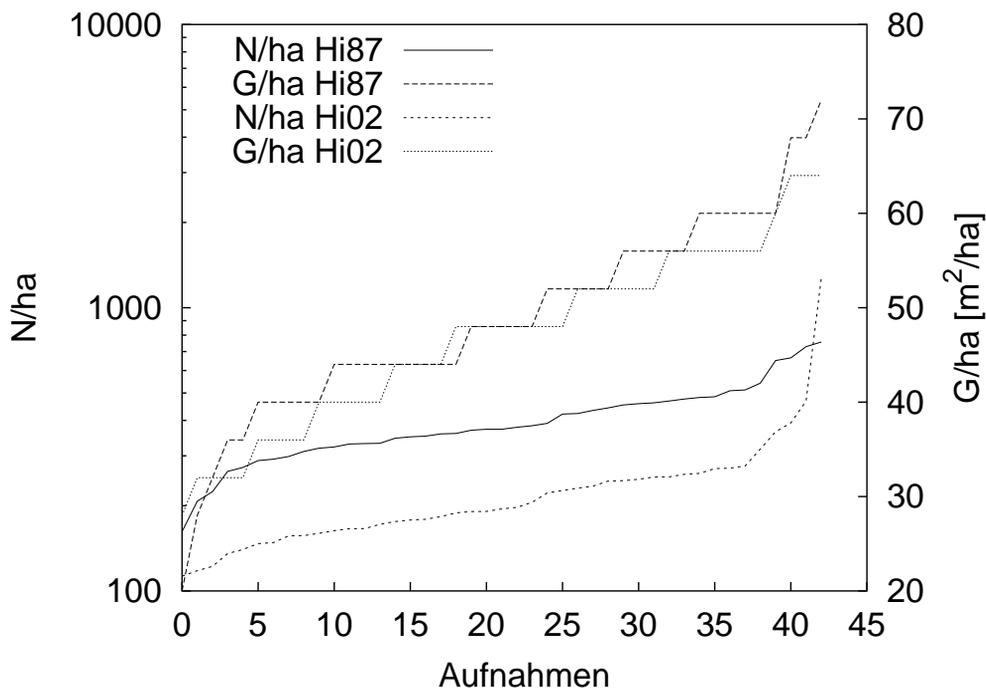


Abbildung 3.7: Verteilung der Stammzahl (N/ha) und der Grundfläche (G/ha) auf den Probeflächen der Hirschlacke

Tabelle 3.2: Baumarten des Oberbestandes der Verjüngungsaufnahme

Ort	Fi	Ta	Lä	Wki	Ski	Dou	Bu	Hbu	Bah	Es	Bi	St	Bul	Eb	Mb	Ei	Ge	Se	Sw	Sl	Ha	Ewd	So	Frei	n		
HL87	43	20	—	2	—	—	29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	43		
HL02	43	22	—	2	—	—	36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	43		
LF02	74	9	17	20	3	2	75	1	2	—	3	—	1	—	—	5	—	4	—	—	—	—	—	3	7	110	
LF01	64	12	15	23	—	1	71	2	—	1	2	—	3	—	—	3	—	3	—	—	—	—	—	—	4	4	104
LF96-00	291	47	73	83	—	2	286	10	—	—	14	1	—	—	—	8	—	10	—	—	—	—	—	—	18	421	
NpKa	514	101	206	31	—	—	439	1	156	80	3	—	27	12	44	—	4	—	8	1	2	4	—	31	676		
HL87	100	47	—	5	—	—	67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	43	
HL02	100	51	—	5	—	—	84	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	43	
LF02	67	8	15	18	3	2	68	1	2	—	3	—	1	—	—	5	—	4	—	—	—	—	—	3	6	110	
LF01	62	12	14	22	—	1	68	2	—	1	2	—	3	—	—	3	—	3	—	—	—	—	—	—	4	4	104
LF96-00	69	11	17	20	—	0	68	2	—	—	3	0	—	—	—	2	—	2	—	—	—	—	—	—	4	421	
NpKa	76	15	30	5	—	—	65	0	23	12	0	—	4	2	7	—	1	—	1	0	0	1	—	5	676		

HL87... Hirschlacke 1987, HL02... Hirschlacke 2002, LF02... Lehrforst 2002, LF01... Lehrforst 2001, LF96-00... Lehrforst 1996–2000, NpKa... Nationalpark Kalkalpen 1994–1999

Fi... Fichte, Ta... Tanne, Lä... Lärche, Wki... Weißkiefer, Ski... Schwarzkiefer, Dou... Douglasie, Bu... Buche, Hbu... Haunbuche, Bah... Bergahorn, Es... Esche, Bi... Birke, St... Strobe, Bul... Bergulme, Eb... Eberesche, Mb... Mehlbeere, Ei... Eiche, Ge... Grauerle, Se... Schwarzerle, Sw... Schwarzpappel, Sl... Sommerlinde, Ha... Hasel, Ewd... Eingriffeliger Weißdorn, So... Sonstiges, Frei... Freifläche, n... Gesamtanzahl der Probepunkte

Oben: Anzahl der Probepunkte mit der betreffenden Baumart

Unten: Prozent der Probepunkte wo diesen Baumart vorkommt

Tabelle 3.3: Einfluß von Bodenart und Seitenlicht auf das Ankommen von Verjüngung

		Anzahlen							Prozent								
		Mu	MM	Mo	Rh	So	Sl _{ja}	Sl _{nein}	Σ	Mu	MM	Mo	Rh	So	Sl _{ja}	Sl _{nein}	Σ
Lf98+00	Alle	65	153	193	10	1	82	340	422	15	36	46	2	0	19	81	—
	mit Verj.	48	80	100	4	1	51	182	233	74	52	52	40	100	62	54	55
	Fi	23	29	48	4	0	24	80	104	35	19	25	40	0	29	24	25
	Ta	8	29	44	1	1	10	73	83	12	19	23	10	100	12	21	20
	Bu	29	61	68	1	1	31	129	160	45	40	35	10	100	38	38	38
	So	29	34	37	1	0	26	75	101	45	22	19	10	0	32	22	24
Lf01	Alle	17	40	38	2	7	36	68	104	16	38	37	2	7	35	65	—
	mit Verj.	8	19	19	0	2	22	26	48	47	48	50	0	29	61	38	46
	Fi	4	8	4	0	1	9	8	17	24	20	11	0	14	25	12	16
	Ta	4	4	6	0	0	6	8	14	24	10	16	0	0	17	12	13
	Bu	3	11	7	0	1	11	11	22	18	28	18	0	14	31	16	21
	So	5	10	8	0	1	11	13	24	29	25	21	0	14	31	19	23
Lf02	Alle	20	44	46	—	—	22	88	110	18	40	42	—	—	20	80	—
	mit Verj.	16	26	23	—	—	16	49	65	80	59	50	—	—	73	56	59
	Fi	15	11	17	—	—	11	32	43	75	25	37	—	—	50	36	39
	Ta	11	13	17	—	—	10	31	41	55	30	37	—	—	45	35	37
	Bu	14	16	20	—	—	9	41	50	70	36	43	—	—	41	47	45
	So	13	19	13	—	—	14	31	45	65	43	28	—	—	64	35	41
NpKa	Alle	332	106	233	—	5	—	—	676	49	16	34	—	1	—	—	—
	mit Verj.	262	84	151	—	3	—	—	500	79	79	65	—	60	—	—	74
	Fi	132	37	84	—	2	—	—	255	40	35	36	—	40	—	—	38
	Ta	87	30	63	—	1	—	—	181	26	28	27	—	20	—	—	27
	Bu	160	54	93	—	1	—	—	308	48	51	40	—	20	—	—	46
	So	245	81	138	—	3	—	—	467	74	76	59	—	60	—	—	69

Lf02... Lehrforst 2002, Lf01... Lehrforst 2001, Lf98+00... Lehrforst 1998 und 2000, NpKa... Nationalpark Kalkalpen 1994–1999

Alle... Alle Punkte, mit Verj.... Punkte auf denen es Verjüngung gab, Fi... Punkte auf denen Fichte vorkommt, Ta... Punkte auf denen Tanne vorkommt, Bu... Punkte auf denen Buche vorkommt, So... Punkte auf denen andere Baumarten vorkommen

Prozentberechnung: 1 Zeile: Auf n bezogen

2 bis 6 Zeile: Immer auf die Anzahl der Probestellen mit dieser Humusform bezogen.

(Auf der Probestelle Hirschlacke wurde ausschließlich Moder als Humusform angesprochen und kein Seitenlichteinfluß festgestellt.)

Mu Mull
MM ... mullartiger Moder oder moderartiger Mull
Mo Moder
Rh Rohumus

So Sonstige Humustypen
Sl_{ja} Seitenlichteinfluß ist vorhanden
Sl_{nein} Seitenlichteinfluß ist nicht vorhanden

noch in zwei Etappen berechnet. Zuerst nur für Bäume über 10 cm danach nur für Bäume unter 10 cm. Der tatsächliche CCF ergibt sich durch Aufsummieren beider Werte des jeweiligen Probepunktes. Durch diese Art der Berechnung ist deutlich erkennbar, daß bei Verwendung einer Kluppschwelle die Bestandesdichte in manchen Fällen beträchtlich unterschätzt wird.

Tabelle 3.4: Datenübersicht der Vollaufnahmen des Lehrforstes, Litschau und Kammer verwendet für das Höhenzuwachsmodell der Verjüngung

	Fi	Bu	Ki	Ta
n	610	479	66	324
h_{verj} [m]	0-0.18/0.27-1.3	0.00-0.35/0.43-1.51	0.00-0.04/0.16-0.96	0.00-0.16/0.27-1.28
ih_{pot} [m]	0.61-1.20/1.22-1.96	1.33-1.98/1.96-2.33	1.32-1.44/1.51-1.93	0.80-1.30/1.34-2.02
ih_{ist} [m]	0.03-0.16/0.24-2.15	0.01-0.34/0.43-1.97	0.12-0.32/0.36-0.93	0.03-0.16/0.26-1.97
RCI	0.00-0.47/0.98-9.52	0.00-0.76/1.28-6.76	0.00-0.35/0.88-3.46	0.00-0.90/1.36-6.76
n_{hoeher}/m^2	0.00-0.75/2.13-31.5	0.00-0.75/1.81-15.25	0.00-0.88/1.86-7.50	0.00-1.25/2.63-15.25
OCI	0.04-4.00/4.39-28.66	0.19-4.80/5.73-37.03	0.04-3.14/3.28-7.08	0.32-4.45/5.55-37.03
$CCF_{>10cm}$	0-134/144-382	0-137/150-376	27-135/138-287	0-128/139-382
$CCF_{<10cm}$	0-2/14-449	0-8/34-771	0-1/6-82	0-4/36-771
CCF	28-151/158-563	59-160/184-826	29-136/144-291	28-152/175-826
SUMD	0.00-0.33/0.48-3.52	0.00-0.33/0.51-3.52	0.00-0.53/0.72-1.73	0.00-0.28/0.50-3.52

Min-Median/Mittel-Max; OCI mittels Baumhöhe berechnet; CCF mittels BHD berechnet – bei BHD > 10 cm aus einer WZP mit $k=4$, bei BHD < 10 cm aus einem Fixen Probekreis mit $r = 7.5$ m

Fi... Fichte, Bu... Buche, Ki... Kiefer, Ta... Tanne, n... Anzahl der Beobachtungen, h_{verj} ... Baumhöhe vor dem 5. jährigen Höhenzuwachs, ih_{pot} ... 5. jähriger Höhenzuwachs, RCI... Konkurrenz innerhalb der Verjüngung, n_{hoeher} ... Anzahl der Bäume die die Konkurrenten für die Verjüngung sind und kleiner als 1.3 m, OCI... Abstandsabhängige Oberbestandeskonkurrenz, $CCF_{>10cm}$... CCF von Bäumen mit BHD > 10 cm, $CCF_{<10cm}$... CCF von Bäumen mit BHD < 10 cm, CCF... Abstandsunabhängiger Konkurrenzindex, SUMD... Seitenlichteinfluß

Tabelle 3.5: Datenübersicht der WZP 1998+00 für den Höhenzuwachs der Verjüngung

	Fi	Bu	Ta
n	210	489	72
h_{verj} [m]	0.00-0.08/0.17-1.15	0.00-0.14/0.25-1.29	0.00-0.05/0.08-0.66
ih_{pot} [m]	0.61-1.02/1.06-1.90	1.40-1.79/1.81-2.30	0.80-1.10/1.09-1.74
ih_{ist} [m]	0.03-0.09/0.14-0.86	0.01-0.18/0.29-1.43	0.03-0.08/0.10-0.36
n_{hoeher}/m^2	0.00-0.38/1.16-13.75	0.00-0.38/1.19-13.75	0.00-0.25/1.04-13.75
$CCF_{>10cm}$	0-181/202-544	0-241/252-531	0-198/211-605
$CCF_{<10cm}$	0-3/93-1858	0-0/60-1858	0-3/64-1858
CCF	33-220/295-1858	33-269/312-1858	94-216/275-1858
SUMD	0.00-0.00/0.16-2.28	0.00-0.00/0.33-2.50	0.00-0.00/0.07-1.38

Min-Median/Mittel-Max; CCF mittels BHD berechnet – bei BHD > 10 cm aus einer WZP mit $k=4$, bei BHD < 10 cm bei BHD > 6 cm aus WZP bei BHD < 6 cm von 16 m^2 großen Probestreifen

Fi... Fichte, Bu... Buche, Ta... Tanne, n... Anzahl der Beobachtungen, h_{verj} ... Baumhöhe vor dem 5. jährigen Höhenzuwachs, ih_{pot} ... 5. jähriger Höhenzuwachs, n_{hoeher} ... Anzahl der Bäume die die Konkurrenten für die Verjüngung sind und kleiner als 1.3 m, $CCF_{>10cm}$... CCF von Bäumen mit BHD > 10 cm, $CCF_{<10cm}$... CCF von Bäumen mit BHD < 10 cm, CCF... Abstandsunabhängiger Konkurrenzindex, SUMD... Seitenlichteinfluß

3.1.2.1 Lehrforst

Zur allgemeinen Beschreibung des Lehrforstes siehe Abschnitt 3.1.1.1. Im Lehrforst wurden 12 Vollaufnahmeflächen eingerichtet. Auf jeder dieser Flächen befinden sich sechs Verjüngungsaufnahmeflächen mit einer Größe von 4 m^2 . Auf diesen Flächen wurden von sogenannten Repräsentanten deren Höhenzuwachs der letzten fünf Jahre erhoben. Neben diesen fixen Probeflächen

Tabelle 3.6: Datenübersicht der WZP 2002 für den Höhenzuwachs der Verjüngung

	Fi	Bu	Ta
n	71	188	58
h_{verj} [m]	0.00-0.06/0.19-1.20	0.00-0.08/0.22-1.79	0.00-0.00/0.16-1.23
ih_{pot} [m]	0.37-0.66/0.70-1.46	0.83-1.25/1.23-1.98	0.55-0.55/0.87-1.85
ih_{ist} [m]	0.01-0.11/0.25-1.68	0.01-0.12/0.29-2.00	0.04-0.10/0.14-0.63
n_{hoeher}/m^2	0.00-0.06/0.59-10.56	0.00-0.06/0.62-11.25	0.00-0.00/0.69-4.50
CCF	0-168/204-513	5-228/256-606	5-220/295-1225
SUMD	0.00-0.00/0.16-2.50	0.00-0.00/0.22-2.50	0.00-0.00/0.48-2.60

Min-Median/Mittel-Max; CCF mittels BHD berechnet – bei BHD > 6 cm aus einer WZP mit $k = 4$, bei BHD < 6 cm von 16 m² großen Probestreifen

Fi... Fichte, Bu... Buche, Ta... Tanne, n... Anzahl der Beobachtungen, h_{verj} ... Baumhöhe vor dem 5 Jährigen Höhenzuwachs, ih_{pot} ... 5 Jähriger Höhenzuwachs, n_{hoeher} ... Anzahl der Bäume welche Konkurrenten für die Verjüngung und kleiner als 1.3 m sind, CCF... Abstandsunabhängiger Konkurrenzindex, SUMD... Seitenlichteinfluß

wurde auch auf den WZP-Probestreifen des Lehrforstes von Repräsentanten auf den Aufnahmebreiten deren Höhenzuwachs bestimmt.

3.1.2.2 Kammer

Die Probestreifen liegen im Revier Kammer des Prämonstratenser Chorherrenstiftes Schlägel im oberösterreichischen Salzkammergut unweit des Attersees. In Kammer befinden sich 12 Vollaufnahmebreiten, welche nach dem gleichen Aufnahmeverfahren wie im Lehrforst erhoben wurden. Die Breiten liegen in 600 m bis 800 m Seehöhe. Auf den bindig tonig-mergeligen Flyschmaterial entwickelte sich der Bodentyp Pseudogley. Das Klima ist ozeanisch geprägt mit gemäßigten Wintern und milden Sommern mit hohen Niederschlägen. Die Niederschläge steigen mit der Seehöhe an. Die Niederschlagssummen der Tallagen bewegen sich im Bereich zwischen 900 mm und 1150 mm. Die Jahresdurchschnittstemperatur schwankt zwischen 7.3°C und 9.2°C (Golser 1997).

3.1.2.3 Litschau

Die Versuchsflächen Litschau liegen in der Seilern-Aspang'schen Forstverwaltung in Litschau im äußersten Norden Niederösterreichs. Es wurden 23 Probestreifen angelegt, welche mit dem Aufnahmedesign im Lehrforst vergleichbar sind. Die Versuchsbestände liegen in einer Höhenlage zwischen 500 m und 700 m. Die geologische Unterlage bildet der Eisgarner Granit, welcher zur Bildung von nährstoffarmen podsoligen Böden neigt. Einzelne Breiten sind vergleitet mit einer Anmoorhumusschicht. Das Klima ist kühl und kontinental geprägt. Es kommt zu relativ wenigen Niederschlägen. Die Zeit von Herbst bis Mai ist durch eine hohe Nebelhäufigkeit geprägt. Die Niederschlagsmengen liegen im Mittel bei etwa 750 mm, wobei innerhalb der Vegetationsperiode rund 55 % des Niederschlages fallen. Zwischen November und Ende März bildet sich an ungefähr 75 bis 100 Tagen eine geschlossene, zumindest 1 cm tiefe, Schneedecke. Die Jahresmitteltemperatur liegt bei rund 6.7°C (Golser 1997).

3.1.3 Verbißanalyse

Diese Daten wurden von den Österreichischen Bundesforsten in deren Betrieben aufgenommen. Die folgende Datenbeschreibung ist Posch (2003) entnommen bzw. wurde durch persönliche Mitteilungen von Posch ergänzt oder direkt den Daten entnommen.

Im Herbst 2000 starteten die Österreichischen Bundesforste das Projekt „Unternehmensweites Jungwuchs-, Verbiß- und Schälmonitoring“. In dieser Arbeit konnten die Daten der Aufnahme 2001 und 2002 verwendet werden. Es wurden je Forstbetrieb jeweils etwa 50 fix vermarkte

Dauerprobeflächen angelegt, welche möglichst gleichmäßig über den Forstbetrieb verteilt wurden. Die Verbißprobefläche hatte einen Radius von 2 m. Diese wurden auf verjüngten Freiflächen eingerichtet, deren Verjüngung bei der Ersterhebung eine Höhe von 50 cm nicht überschritt. Auf diesen Flächen werden jährlich alle Pflanzen bis 3 m Höhe nach Baumart, Höhenklasse (10–30 cm, 31–50 cm, 51–90 cm, 91–150 cm und 151–300 cm) und Leittriebverbiß angesprochen. Neben diesen Verbißdaten wurden noch folgende Standortdaten erhoben: Exposition (nach acht Himmelsrichtungen), Relief (Ebene, Plateau, Mulde, Kuppe, Rücken), Standortseinheit (z. B. mittelgründiger skelettreicher Karbonatstandort), Vegetationstyp (z. B. Torfmoos–Heidelbeer–Typ), Biotop (z. B. Feuchtbiotop), Schälgrad (in sechs Schälintensitätsklassen eingeteilt), Verbißgrad (in sechs Verbißintensitätsklassen eingeteilt), Nutzungsart (z. B. Lichtung) und weitere wirtschaftliche Ansprachen wie etwa Dringlichkeit. Zusätzlich gab es Informationen über die Seehöhe, den betroffenen Forstbetrieb und Schutzmaßnahmen.

Insgesamt gab es 25 Forstbetriebe. In jedem wurden etwa 50 Stichproben erhoben. Es standen 2338 Aufnahmen aus den beiden Aufnahmejahren 2001 und 2002 zur Verfügung. Dabei wurden 66 865 Bäume aufgenommen. Wie sich diese Anzahlen auf die einzelnen Baumarten aufteilen, ist in Tabelle 3.7 zu sehen.

Tabelle 3.7: Stichprobenumfang der Verbißaufnahme

Baumart	Ahorn	Aspe	Birke	Buche	Douglasie	Eberesche	Eiche
n_{Pflanzen}	9877	21	204	15523	17	4	253
n_{Punkte}	856	15	82	1008	9	3	87
Baumart	Edelkastanie	Schwarzerle	Esche	Fichte	Hainbuche	Kirsche	W.Kiefer
n_{Pflanzen}	7	17	8450	21791	1899	58	522
n_{Punkte}	2	13	497	1894	114	33	113
Baumart	Lärche	Linde	Mehlbeere	Ulme	S.Kiefer	Sonst.LH	Tanne
n_{Pflanzen}	2379	206	440	95	73	42	3009
n_{Punkte}	638	18	93	50	14	13	588
Baumart	Eibe	Vogelbeere	Weide	Zirbe			
n_{Pflanzen}	1	1592	206	179			
n_{Punkte}	1	313	69	39			

n_{Pflanzen} Anzahl der Pflanzen dieser Baumart, welche aufgenommen wurden

n_{Punkte} Anzahl der Probepunkte, auf denen diese Baumart aufgenommen wurde

3.2 Koordinatengenerierung

Insgesamt sind 190 Probeflächen, deren Bäume koordinativ erfaßt wurden, ausgewertet worden. Von diesen Flächen gab es in der Regel wiederholte Aufnahmen. Von diesen Aufnahmejahren wurde eines je Probefläche zufällig ausgewählt und nicht alle Aufnahmejahre verwendet, da sich die Bestandesstruktur in der Regel zwar ein wenig verändert, diese Veränderung jedoch nicht sehr groß ist. Einen Überblick über die Daten gibt Tabelle 3.8. Es wurden 47 432 Bäume koordinativ erfaßt. Diese standen auf insgesamt 190 Probeflächen. Damit lassen sich jedoch nicht alle vorstellbaren Kombinationen von Baumarten, Altersstufen und Altersunterschieden zwischen den Baumarten sowie Bestandesstrukturen wiedergeben. Andererseits handelt es sich um typische Bestände, die sowohl künstlich begründet wurden als auch natürlich entstanden sind.

Der d_g der Probeflächen liegt in einem Bereich von 5 cm bis 40 cm. Bei einzelnen Flächen steigt der d_g jedoch auch bis etwas über 60 cm an. Die kleinsten BHD's welche auf den Flächen beobachtet wurden, liegen im Bereich von 0.2 cm bis etwa 30 cm. Die maximalen BHD's liegen in Bereich ab 10 cm bis 160 cm (siehe Abbildung 3.8). Die Stammzahlen bewegen sich hauptsächlich im Bereich von 200 bis 10 000 Bäume je Hektar. Auf einzelnen Flächen sind jedoch auch Stamm-

Tabelle 3.8: Anzahlübersicht der Probeflächen welche zur Koordinatengenerierung ausgewertet wurden

Bezeichnung	Quelle	Flächen	Bäume	Fi	Ta	WKi	Lä	Zi	JLä	Bu
Litschau	Wafo	23	4430	3772	3	496	19	—	—	39
Lehrforst	Wafo	12	1737	402	147	105	26	—	—	1042
Kammer	Wafo	12	3019	322	328	—	9	—	—	2357
Hirschlacke	Wafo	1	1194	912	43	8	8	—	—	223
Heiligenkreuz	Wafo	6	1096	—	—	—	—	—	—	1087
Deutschland	Nagel	25	5058	4	—	—	—	—	—	257
Schweiz	Zingg	45	20991	5934	6826	14	600	343	1389	4721
Arnoldstein	Wafo	46	5071	3851	—	936	14	—	—	194
Hauersteig	Bfw	4	476	456	—	2	1	—	—	7
St. Leonhard	Bfw	12	3833	75	1	—	3	—	—	3719
Laabach	Bfw	4	527	—	—	—	—	—	—	524
Σ		190	47432	15728	7348	1561	680	343	1389	14170

Bezeichnung	Ei	Es	Ah	Li	Hb	SL	SEi	TEi	SN
Litschau	—	—	—	—	—	99	—	—	2
Lehrforst	—	—	—	—	—	12	—	—	3
Kammer	—	—	—	—	—	3	—	—	0
Hirschlacke	—	—	—	—	—	0	—	—	0
Heiligenkreuz	—	—	—	—	—	9	—	—	0
Deutschland	2948	3	1	166	135	6	1006	532	0
Schweiz	394	137	179	16	328	88	—	—	22
Arnoldstein	15	—	—	—	—	61	—	—	0
Hauersteig	—	—	—	—	—	0	—	10	0
St. Leonhard	—	—	—	—	—	33	2	—	0
Laabach	—	—	—	—	—	2	1	—	0
Σ	3357	140	180	182	463	313	1009	542	27

Bfw.... Bundesamt und Forschungszentrum für Wald

Nagel.. Jürgen Nagel

Wafo.. Institut für Waldwachstumsforschung Boku Wien

Zingg.. Andreas Zingg

Ah..... Ahorn

Bu..... Rotbuche

Ei..... Eiche

Es..... Esche

Fi..... Fichte

Hb.... Hainbuche

JLä.... Japanlärche

Lä.... Lärche

Li..... Linde

SEi.... Stieleiche

SL..... Sonstiges Laubholz

SN.... Sonstiges Nadelholz

Ta.... Tanne

TEi.... Traubeneiche

WKi... Weißkiefer

Zi.... Zirbe

zahlen ab 30 N/ha und auf anderen bis 80 000 N/ha zu beobachten. Die Grundfläche der meisten Flächen befindet sich im Bereich von 18 m²/ha bis 60 m²/ha. Auf einzelnen Flächen sind jedoch auch Grundflächen von unter 2 m²/ha und auf anderen von über 120 m²/ha zu beobachten (siehe Abbildung 3.9).

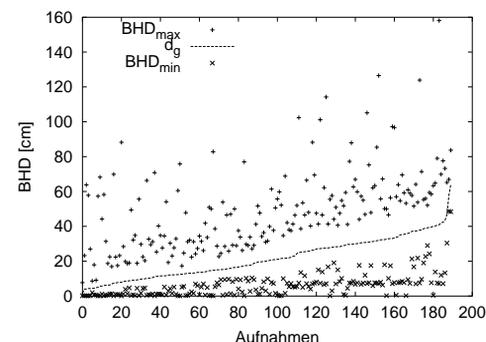


Abbildung 3.8: Verteilung des d_g und des maximalen bhd's auf den Probeflächen zur Bestandesstrukturanalyse

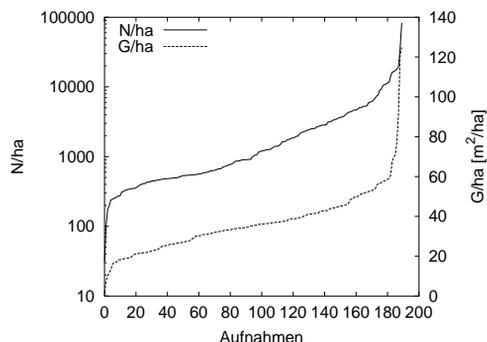


Abbildung 3.9: Verteilung der Stammzahl (N/ha) und der Grundfläche (G/ha) auf den Probeflächen zur Bestandesstrukturanalyse

In Tabelle 3.9 ist die Anzahl der Nachbarschaftsbeziehung zwischen zwei Baumarten, wenn der nächste Nachbar betrachtet wird, dargestellt, und in Tabelle 3.10 ist die Anzahl der Probeflächen, wo diese Nachbarschaft beobachtet wurde, wiedergegeben. Die Anzahlen der nächststärksten Nachbarn ist in Tabelle 3.11 und die Anzahl der Probeflächen, wo diese Nachbarschaft beobachtet wurde, in Tabelle 3.12 dargestellt.

Tabelle 3.9: Anzahl der Beobachtungen zum nächsten Nachbarn

	Baumart des Nachbarn														
	Fi	Ta	WKi	Lä	Zi	JLä	RBu	Ei	Es	Ah	Li	HBu	SoLh	SEi	TEi
Fi	10346	1338	58	180	170	0	900	36	4	53	0	23	82	0	7
Ta	1393	4325	3	0	0	0	1038	6	3	40	0	0	3	0	0
WKi	607	3	590	3	0	0	37	3	1	0	0	0	4	0	0
Lä	159	1	5	97	12	0	212	5	32	3	10	11	1	0	0
Zi	172	0	0	17	109	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JLä	0	0	0	0	0	1341	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RBu	794	979	37	182	0	0	10286	173	12	28	16	24	14	45	67
Ei	31	5	3	4	0	0	155	2527	0	4	5	93	1	0	0
Es	5	7	1	32	0	0	18	1	38	0	0	1	0	2	0
Ah	36	48	0	5	0	0	29	3	0	44	0	1	0	0	1
Li	0	0	0	11	0	0	14	4	0	0	54	5	0	74	0
HBu	20	0	0	12	0	0	24	111	1	0	10	178	0	31	24
SoLh	71	4	5	1	0	0	14	0	0	0	0	1	71	0	0
SEi	0	0	0	0	0	0	53	0	3	0	81	48	0	668	0
TEi	8	0	0	0	0	0	75	0	0	1	0	23	0	0	345

Tabelle 3.10: Anzahl der Probeflächen, wo diese Nachbarschaft beobachtet wurde (Insgesamt 190 Probeflächen)

	Baumart des Nachbarn															Σ
	Fi	Ta	WKi	Lä	Zi	JLä	RBu	Ei	Es	Ah	Li	HBu	SoLh	SEi	TEi	
Fi	122	30	60	21	5	0	70	11	2	6	0	1	20	0	3	140
Ta	31	27	2	0	0	0	35	3	3	4	0	0	2	0	0	44
WKi	63	2	39	1	0	0	15	3	1	0	0	0	4	0	0	68
Lä	21	1	3	10	3	0	8	2	2	2	1	1	1	0	0	27
Zi	5	0	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
JLä	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
RBu	64	32	11	7	0	0	93	9	6	10	3	7	5	4	5	109
Ei	12	3	3	2	0	0	9	17	0	2	3	4	1	0	0	34
Es	2	7	1	2	0	0	6	1	2	0	0	1	0	2	0	16
Ah	8	4	0	2	0	0	9	2	0	3	0	1	0	0	1	18
Li	0	0	0	1	0	0	3	3	0	0	3	2	0	3	0	7
HBu	1	0	0	1	0	0	7	5	1	0	2	7	0	3	4	12
SoLh	20	2	3	1	0	0	6	0	0	0	0	1	9	0	1	31
SEi	0	0	0	0	0	0	4	0	2	0	2	3	0	6	0	8
TEi	3	0	0	0	0	0	6	0	0	1	0	4	0	0	3	8

Tabelle 3.11: Anzahl der Beobachtungen zum nächst stärksten Nachbarn

	Baumart des Nachbarn														
	Fi	Ta	WKi	Lä	Zi	JLä	RBu	Ei	Es	Ah	Li	HBu	SoLh	SEi	TEi
Fi	8954	1483	1348	296	216	0	351	64	2	27	0	2	84	0	7
Ta	2494	3460	5	0	0	0	478	1	5	14	0	0	1	0	0
WKi	378	1	730	7	0	0	14	2	0	0	0	0	1	0	0
Lä	124	1	11	277	17	0	69	2	6	0	7	9	1	0	0
Zi	0	0	0	26	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JLä	0	0	0	0	0	1334	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RBu	1406	1564	67	271	0	0	7458	323	19	13	4	5	23	70	102
Ei	22	5	3	4	0	0	93	2573	0	1	2	51	1	0	0
Es	5	2	1	66	0	0	12	1	14	0	0	1	0	2	0
Ah	66	43	0	6	0	0	13	3	0	33	0	0	0	0	1
Li	0	0	0	13	0	0	0	4	0	0	15	1	0	129	0
HBu	2	0	0	12	0	0	9	244	1	0	1	37	0	58	31
SoLh	83	3	11	2	0	0	10	1	0	0	0	0	28	0	0
SEi	0	0	0	0	0	0	21	0	3	0	22	19	0	771	0
TEi	9	0	0	0	0	0	35	0	0	3	0	8	0	0	387

Tabelle 3.12: Anzahl der Probeflächen, wo diese Nachbarschaft bei WZP beobachtet wurde (Insgesamt 190 Probeflächen)

	Baumart des Nachbarn															Σ
	Fi	Ta	WKi	Lä	Zi	JLä	RBu	Ei	Es	Ah	Li	HBu	SoLh	SEi	TEi	
Fi	122	31	61	21	5	0	54	10	2	5	0	1	16	0	3	140
Ta	30	28	3	0	0	0	30	1	4	4	0	0	1	0	0	43
WKi	59	2	47	6	0	0	8	1	4	4	0	0	1	0	0	67
Lä	20	1	7	11	3	0	6	1	2	0	1	1	1	0	0	26
Zi	5	0	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
JLä	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
RBu	61	30	14	7	0	0	88	9	6	8	3	4	6	4	5	109
Ei	10	3	3	2	0	0	8	20	0	1	2	4	1	0	0	34
Es	4	2	1	2	0	0	6	1	4	0	0	1	0	2	0	16
Ah	9	5	0	2	0	0	6	2	0	4	0	0	0	0	1	18
Li	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	2	1	0	3	0	7
HBu	1	0	0	1	0	0	5	4	1	0	1	5	0	3	4	12
SoLh	17	2	7	2	0	0	4	1	0	0	0	0	10	0	0	29
SEi	0	0	0	0	0	0	4	0	2	0	2	3	0	6	0	8
TEi	3	0	0	0	0	0	6	0	0	1	0	3	0	0	6	8

3.3 Bestandesrand

Es wurden 106 Probeflächen, deren Größe mindestens 30×30 m beträgt, und im wesentlichen identisch mit jenen aus Abschnitt 3.2 sind, solange diese groß genug waren, zur Beurteilung der Randkorrekturmethode herangezogen. Die Probeflächen liegen in Deutschland, Österreich und der Schweiz. In Tabelle 3.13 ist eine Kurzübersicht der Probeflächen dargestellt. Es ist zu sehen, daß sich die Stammzahl überwiegend im Bereich von 300 bis 900 Stämme je ha und die Grundfläche von $28 \text{ m}^2/\text{ha}$ bis $45 \text{ m}^2/\text{ha}$ bewegt. Der BHD der Bäume bewegt sich in einem Bereich von ca. 4 cm bis über 1 m und die Höhe von 4 m bis 45 m.

Tabelle 3.13: Datenübersicht der 106 Probeflächen zur Bestandesrandauswertung

	N/ha	G/ha	BHD	h
	1	m^2/ha	cm	m
Min	167	17.75	3.9	4.0
25 %	333	28.04	7.9	15.3
Median	489	35.99	13.2	21.5
\bar{x}	910	37.48	18.3	21.5
75 %	875	45.82	24.8	27.0
Max.	5 022	67.74	113.5	45.2

Kapitel 4

Ergebnisse

4.1 Verjüngung

4.1.1 Ankommen

Von den zur Auswahl stehenden Eingangsvariablen aus Tabelle 2.2 auf Seite 19 wurden jene ausgewählt, welche signifikant waren bzw. wenn nicht signifikant, den beobachteten Effekt dennoch richtig beschrieben. Die Ergebnisse der Modelle sind in Tabelle 4.2 und 4.3 wiedergegeben. Bei den Modellen, in welche der Humustyp eingeht, wurden die Daten mit Rohhumus und Torf entfernt, da diese nur selten vorkamen.

Bei den Modellen, welche die Ankommenswahrscheinlichkeit prognostizieren, gingen alle verwendeten Bestandesdichteweiser signifikant und mit dem erwarteten Effekt, daß die Wahrscheinlichkeit mit Zunahme der Bestandesdichte abnimmt, ein (Tabelle 4.2). Mit Zunahme des maximalen BHD's einer Baumart steigt die Verjüngungswahrscheinlichkeit. Es wurden dabei alle vier verwendeten Baumarten immer in das Modell aufgenommen, selbst wenn sie nicht signifikant eingingen. Dies ist in allen drei Varianten bei der Baumartengruppe Sonstige stets der Fall. Ein Grund dafür dürfte in den unterschiedlichen Baumarten dieser Gruppe zu finden sein, ein anderer in der Tatsache, daß diese Baumartengruppe einen nicht so weiten BHD-Bereich abdeckt. Als einziges der drei Logitmodelle ging die Humusform und der Seitenlichteinfluß in das Modell mCCF signifikant ein.

Die Koeffizienten zur Berechnung der Konkurrenz Konk nach Gleichung (2.74) sind in Tabelle 4.1 angegeben.

Tabelle 4.1: Koeffizienten des Konkurrenzindex nach Gleichung (2.74)

Dabei wurde d in cm und h in m eingesetzt

Baumart	Fichte	Tanne	Kiefer und Lärche	Buche
c_0	0.9	0.9	0.5	1.0
c_1	1.2	0.7	1.1	1.0
c_2	1.5	1.7	1.2	1.0

$$\text{Konk} = \frac{\sum (c_0 \cdot md)^{c_1} \cdot n_{\text{rep}} \cdot c_2}{10\,000}$$

In Tabelle 4.3 sind die Koeffizienten der Logitmodelle für das Ankommen einer bestimmten Baumart, wenn es auf dem Probepunkt Verjüngung gibt, wiedergegeben. Bei allen vier Baumarten steigt deren Ankommenswahrscheinlichkeit mit Zunahme des maximalen BHD's der jeweiligen Baumart an. Dieser Zusammenhang konnte nicht immer statistisch abgesichert werden. Der Einfluß des maximalen BHD's ist bei den einzelnen Baumarten auch recht unterschiedlich. Bei Fichte ist er äußerst gering (0.0007), bei Tanne hingegen recht groß (0.57). Bei Tanne und

Tabelle 4.2: Koeffizienten der Verjüngungswahrscheinlichkeits Logitmodelle und der Ln-Modells für N/m^2

		Ank _{CCF}	Ank _{mCCF}	Ank _{Konk}	N/m^2
Intercept	a	n.g.	—	n.g.	—
ccf	b	-0.00405	—	—	—
mccf:sl _{ja}	b	—	-0.0024	—	—
mccf:sl _{nein}	b	—	-0.00293	—	—
konk	b	—	—	-0.414	n.g.
bhd _{max,Fi}	c	0.0102 ^x	0.0127 ^x	0.0289	-0.0037 ^x
bhd _{max,Bu}	c	0.0532	0.0486	0.0384	0.0099
bhd _{max,Ta}	c	0.073	0.025	0.064	0.0060 ^x
bhd _{max,So}	c	0.0037 ^x	0.0034 ^x	0.0026 ^x	0.0051 ^x
sl _{nein}	e	n.g.	-0.24 ^x	n.g.	-0.56
sl _{ja}	e	n.g.	-1.11	n.g.	-0.69
Mull	d	n.g.	0.83	n.g.	n.g.
MuMo	d	n.g.	-0.02 ^x	n.g.	n.g.
Moder	d	n.g.	0	n.g.	n.g.
AIC		385	409	362	—
NULL dev.		573	570	559	224
Res.dev.		375	389	352	208
n		413	411	403	225

Ank_{CCF} Logitmodell für das Ankommen neuer Verjüngung mit CCF

Ank_{mCCF} Logitmodell für das Ankommen neuer Verjüngung mit modifiziertem CCF (bei der CCF Berechnung wurden die bhd's nach Gleichung 2.75 auf Seite 17 modifiziert).

Ank_{Konk} Logitmodell für das Ankommen neuer Verjüngung mit Konk nach Gleichung 2.74 auf Seite 17 mit den Koeffizienten aus Tabelle 4.1.

n/m^2 ... Poissonmodell für die Verjüngungsdichte

bhd_{max}. Größter bhd in einer Winkelzählprobe mit Zählfaktor 4 bzw. wenn bhd kleiner 6 cm auf einer fixen Probeflächen von $16m^2$.

x nicht gesichert mit 5% I.W. und verwendet

n.g. nicht gesichert mit 5% I.W.

$$P_{\text{verj.}} = \frac{1}{1 + e^{-1 \cdot (a + b \cdot \text{ccf} + c_1 \cdot \text{bhd}_{\text{max},Ba} + \dots + d_{\text{mull}} + \dots + e_{\text{sl:ja}} + e_{\text{sl:nein}})}}$$

$$\ln(N/m^2) = a + b \cdot \text{konk} + c_1 \cdot \text{bhd}_{\text{max},Ba} + \dots + d_{\text{mull}} + \dots + e_{\text{sl:ja}} + e_{\text{sl:nein}}$$

der Gruppe Sonstige konnte ein Seitenlichteinfluß festgestellt werden. Dabei nimmt die Verjüngungswahrscheinlichkeit der beiden Baumarten bei vorhandenem Seitenlichteinfluß ab. Die Humusart wurde in alle vier Modelle aufgenommen. Fichte ist auf moderartigem Mull bis mullartigem Moder seltener und Buche kommt auf Mull seltener vor. Tanne ist am ehesten auf Moder anzutreffen und die sonstigen Baumarten sind am ehesten auf Mullstandorten zu finden.

Berechnungsbeispiel von Konk:

$n_{rep} = 400$, Baumart = Fichte, BHD = 25 cm

$$Konk = \frac{(0.9 \times 26.3)^{1.2} \times 400 \times 1.5}{10\,000} = 2.67$$

Berechnungsbeispiel der Verjüngungswahrscheinlichkeit:

mCCF = 200, Seitenlicht = Nein, Humustyp = Mull, $BHD_{max,Fi} = 30$ cm, $BHD_{max,Bu} = 10$ cm, $BHD_{max,Ta} = 0$ cm, $BHD_{max,So} = 0$ cm

$$p_v = \frac{1}{1 + e^{0.00293 \times 200 - 30 \times 0.027 - 10 \times 0.0486 + 0.24 - 0.83}} = 0.79$$

$$N/m^2 = e^{-0.037 \times 30 + 0.0099 \times 10 - 0.56} = 0.21$$

$$p_{Bu} = \frac{1}{1 + e^{-0.0483 \times 10 + 1.53}} = 0.26$$

Dabei wird N/m^2 und p_{Bu} erst dann berechnet, wenn es auf dem Punkt zu Verjüngung kommt. Falls die Entscheidung, daß es auf einem Punkt zu Verjüngung kommt, nicht getroffen werden muß, kann die Wahrscheinlichkeit für Buche auch durch multiplizieren von p_v mit p_{Bu} bestimmt werden. Die Wahrscheinlichkeit für Buche wäre in diesem Beispiel also mit 21 % zu berechnen.

Tabelle 4.3: Koeffizienten des Logitverjüngungsankommensmodells für Baumarten

		Ank _{Fi}	Ank _{Bu}	Ank _{Ta}	Ank _{So}
Intercept	a	—	—	n.g.	—
konk	b	-0.245	n.g.	0.086 ^x	n.v.
konk:sl _{ja}	b	n.g.	n.g.	n.g.	0.47 ^x
konk:sl _{nein}	b	n.g.	n.g.	n.g.	0.03 ^x
bhd _{max,Fi}	c	0.0007 ^x	—	—	—
bhd _{max,Bu}	c	—	0.0483	—	—
bhd _{max,Ta}	c	—	—	0.57 ^x	—
bhd _{max,So}	c	—	—	—	0.0138
sl _{nein}	e	n.g.	n.g.	-0.90	-1.07
sl _{ja}	e	n.g.	n.g.	-1.65	-1.75
Mull	d	0.55 ^x	-1.53	-1.02	1.18
MuMo	d	-0.03 ^x	-0.56 ^x	-0.22 ^x	0.37 ^x
Moder	d	0.64 ^x	-0.58 ^x	0	0
AIC		304	245	224	301
NULL dev.		309	314	311	312
Res.dev.		294	237	212	287
n		223	227	224	225

x nicht gesichert mit 5% I.W. und verwendet

n.g. nicht gesichert mit 5% I.W.

n.v. . . . gesichert mit 5% I.W. und nicht verwendet, bzw. nicht verwendet, wenn gleiche Information in anderen Daten vollständig enthalten ist

$$P_{Ba} = \frac{1}{1 + e^{-1 \cdot (a + b \cdot konk + c_1 \cdot bhd_{max,Ba} + \dots + d_{Mull} + \dots + e_{sl:ja} + e_{sl:nein})}}$$

Neben dem Ansatz, welcher die Baumart erst schätzt, wenn die Entscheidung getroffen wurde, daß es Verjüngung gibt, wurden auch Modelle entwickelt, welche für jede Fläche schätzen, ob

es auf dieser zu Verjüngung einer bestimmten Baumart kommt. Die Koeffizienten dieser Modelle sind in Tabelle 4.4 zu sehen. Neben der Schätzung der Stammzahl für alle Bäume in der Verjüngung, wurden Gleichungen, zur Beantwortung der Frage – wie viele Bäume einer Baumart in der Verjüngung sind – erstellt. Die Koeffizienten dieser Gleichungen sind in Tabelle 4.5 zu sehen.

Berechnungsbeispiel:

$BHD_{max, Ta} = 40$ cm, Humus = Mull, Konk = 2.5

$$p_{Ta} = \frac{1}{1 + e^{-0.054 \times 40 + 0.215 \times 2.5 + 1.502}} = 0.53$$

$$N/m^2 = e^{-0.408 \times 2.5 + 40 \times 0.035 - 0.954} = 0.56$$

Tabelle 4.4: Koeffizienten zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit, daß sich eine Baumart in den letzten fünf Jahren verjüngt hat

	BHD	Konk	c_{Moder}	c_{Mu-Mo}	c_{Mull}	AIC	NULL dev.	Res. dev.	N
Fichte	0.013	-0.346	-0.049 ^x	-0.624 ^x	0.021 ^x	431	471	419	422
Buche	0.056	-0.250	-0.913	-1.110	-1.607	412	560	400	422
Tanne	0.054	-0.215	-0.539 ^x	-0.812	-1.502	361	418	349	422

x nicht gesichert mit 5 % I.W. und verwendet

$$P_{Ba.} = \frac{1}{1 + e^{-1 \cdot (c_1 \cdot Konk + c_2 \cdot BHD_{max, Ba} + c_{Humus})}}$$

Tabelle 4.5: Koeffizienten zur Berechnung der Stammzahl der Baumart in der Verjüngung der letzten fünf Jahre

	BHD	Konk	c_{Moder}	c_{Mu-Mo}	c_{Mull}	NULL dev.	Res. dev.	N
Fichte	0.003 ^x	-0.167 ^x	-1.313	-0.810	-1.382	7.14	6.28	91
Buche	0.019	0.040 ^x	-1.721	-2.185	-2.086	24.14	21.95	150
Tanne	0.035	-0.408	-0.476 ^x	-0.326 ^x	-0.954 ^x	28.22	21.67	77

x nicht gesichert mit 5 % I.W. und verwendet

$$\ln(N/m_{Ba.}^2) = c_1 \cdot Konk + c_2 \cdot BHD_{max, Ba} + c_{Humus}$$

Neben den Logitmodellen wurden Entscheidungsbäume und neuronale Netze erstellt. Entscheidungsbäume konnten für die Entscheidung, ob Verjüngung vorkommt, ob Buche vorkommt und ob Tanne vorkommt, erstellt werden. Nach diesen Modellen kommt es zu keiner Verjüngung, wenn $konk \geq 4.133$ (siehe Gleichung 2.74) ist. Zu keiner Buchenverjüngung, wenn Verjüngung auf dem Probepunkt prognostiziert wurde, kommt es, wenn der maximale BHD der Buche kleiner als 32.95 cm ist und zu keiner Tannenverjüngung kommt es, wenn der maximale BHD der Tanne kleiner als 6.05 cm ist. In diesem Fall sind die entstandenen Entscheidungsbäume äußerst simpel aufgebaut. Dies liegt zum einen daran, daß bei der Erstellung eines Entscheidungsbaumes auch gleich die Modellqualität mittels Crossvalidation ermittelt wird. Dadurch werden nur relativ wenig Eingangsvariablen ausgewählt. Diese haben dafür eine sehr hohe Aussagekraft. Da keine der zur Verfügung stehenden Variablen eine ausreichende Aussage über die Baumarten Fichte und sonstige Baumarten machen konnte, wurde für die beiden auch kein Modell fertiggestellt.

Auch bei der Erstellung eines neuronalen Netzes wird mit Hilfe eines Validierungsdatensatzes die Qualität des erstellten Modells überprüft. Durch diese Kontrolle bei der Erstellung zeigte sich, daß nur ein einziges Modell erstellt werden sollte. Dieses Modell war jenes zur Entscheidung, ob Verjüngung vorkommt oder nicht. Das erstellte Netz hatte die folgenden Eingangsparameter in der angegebenen Reihenfolge:

1) Konkurrenzindex nach Gleichung (2.74) dividiert durch 20 2-5) den Maximalen BHD von 2)Fichte, 3)Buche, 4)Tanne und 5)Sonstigem, wobei der BHD in m angegeben wurde. 6) Seitenlichteinfluß (0...nein, 1...ja)

Das Netz hat 3 Knoten im „hidden layer“ und wurde mit 20 Trainingszyklen mit *rprop* des SNNS trainiert.

Die Koeffizienten des Netzes sind im Anschluß wiedergegeben.

b->h1 i1->h1 i2->h1 i3->h1 i4->h1 i5->h1 i6->h1
-0.05713 11.70699 -7.38965 -5.52115 -0.56454 -0.16956 0.28657

b->h2 i1->h2 i2->h2 i3->h2 i4->h2 i5->h2 i6->h2
0.32946 12.34527 -8.11723 -4.60856 -1.20004 -0.22671 -11.78644

b->h3 i1->h3 i2->h3 i3->h3 i4->h3 i5->h3 i6->h3
-1.26994 10.23978 -2.27455 -5.62503 -0.80345 -1.03066 1.02109

b->o h1->o h2->o h3->o
1.81486 -1.57114 -1.23103 -1.91065

b Bias

i Eingabe (Input) von Außen

h Verdeckter Knoten (Hidden)

o Ausgabe (Output) nach draußen

x->y ... Wert der bei *x* anliegt, wird mit dem Wert unterhalb Multipliziert und dann an *y* geleitet

Gerechnet wird dann jeder Knoten mit $y = \frac{1}{1+e^{-x}}$ wobei *x* die Summe aus dem Bias und den gewichteten Variablen ist.

Berechnungsbeispiel:

i1) Konk=4 i2) $BHD_{max,Fi}=30$ cm i3) $BHD_{max,Bu}=10$ cm i4) $BHD_{max,Ta}=0$ i5) $BHD_{max,So}=0$
i6) Kein Seitenlichteinfluß=0

$$h1 = \frac{1}{1 + e^{-1 \times (-0.05713 + 11.70699 \times 0.2 - 7.38965 \times 0.3 - 5.52115 \times 0.1)}} = 0.381$$

$$h2 = \frac{1}{1 + e^{-1 \times (0.32946 + 12.34527 \times 0.2 - 8.11723 \times 0.3 - 4.60856 \times 0.1)}} = 0.476$$

$$h3 = \frac{1}{1 + e^{-1 \times (-1.26994 + 10.23978 \times 0.2 - 2.27455 \times 0.3 - 5.62503 \times 0.1)}} = 0.885$$

$$p_v = \frac{1}{1 + e^{-1 \times (1.81486 - 1.57114 \times 0.381 - 1.23103 \times 0.476 - 1.91065 \times 0.885)}} = 0.26$$

Die Wahrscheinlichkeit, daß auf diesem Punkt Verjüngung vorkommt, ist somit 26 %.

Die Treffergenauigkeit der Modelle für das Ankommen neuer Verjüngung ist in den Tabellen 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.12, 4.13, 4.14 und 4.15 sowie in den Abbildungen 4.1 und 4.2 zu sehen. Es wurden dafür vier unterschiedliche Arten zur Entscheidung, ab welchem Schwellwert der Verjüngungswahrscheinlichkeit die Frage ob Verjüngung vorkommt mit ja oder nein zu beantworten ist, untersucht. Nach Bokalo (2001) gibt es dafür folgende Möglichkeiten, diesen Schwellwert festzulegen:

- 0.5
- wo beim Parametrisierungsdatensatz die höchste Trefferquote eintritt
- wo sowohl für Ja- als auch für Nein-Entscheidungen gleichzeitig die höchste Trefferquote eintritt
- der Mittelwert der Beobachtungen
- Jener Wert, wo das Verhältnis von Ja- zu Nein-Aussagen gleich der Beobachtung ist

Da auch in Sterba u. a. (1997) und Schweiger (1997) nicht 0.5, sondern der Mittelwert der Beobachtungen, als Schwellwert verwendet wurde, sollte hier durch Verwenden folgender Methoden gezeigt werden, wie sich die Auswahl des Schwellwertes auf die Prognose auswirkt. Dazu wurden als Schwellwert verwendet:

- 0.5
- Gleichverteilte Zufallszahl zwischen 0 und 1
- Der Mittelwert des Parametrisierungsdatensatzes
- Jener Wert, wo das Verhältnis von Ja- zu Nein-Aussagen beim Parametrisierungsdatensatz gleich der Beobachtung ist

Wo diese Schwellwerte liegen, ist in Tabelle 4.6 abzulesen.

Tabelle 4.6: Schwellwerte der Verjüngungsankommensmodelle

	konk	CCF	mCCF	nN	Fi	Bu	Ta	So
\bar{x}	0.55	0.55	0.55	0.55	0.45	0.69	0.35	0.43
n_{gleich}	0.56	0.52	0.49	0.61	0.45	0.65	0.33	0.43

Mit diesen Werten werden die Verjüngungswahrscheinlichkeiten verglichen. Falls die Wahrscheinlichkeit größer als dieser Wert ist, gibt es Verjüngung ansonsten nicht. \bar{x} gibt das Verhältnis von zutreffenden Beobachtungen zur Beobachtungsanzahl an ($\bar{x} = \frac{N_{\text{ja}}}{N}$). n_{gleich} ist jener Schwellwert, bei dem sich beim Parametrisierungsdatensatz dieselbe Anzahl von Ja- und Nein-Entscheidungen wie bei der Beobachtung einstellt.

Den Einfluß einer Veränderung des Schwellwertes kann aus Abbildung 4.1 und 4.2 abgelesen werden. Dabei wurden die Summenkurven der beobachteten Probepunkte über der Prognosewahrscheinlichkeit der Modelle aufgetragen. Darin sind jedoch nur das Logitmodell mit der Eingangsvariable Konk, das neuronale Netz und der Entscheidungsbaum dargestellt. Wobei die Kurven des Entscheidungsbaumes de facto nicht existieren, da er als Ergebnis keine Wahrscheinlichkeiten sondern lediglich eine Entscheidung zurückgibt. Je weiter die Ja- und Nein- Kurven eines Modells auseinander liegen, desto besser ist es in der Lage den Datensatz richtig zu trennen. Beim Parametrisierungsdatensatz liegen die Kurven etwas weiter auseinander als beim dargestellten Validierungsdatensatz. Je flacher die Kurven verlaufen, desto weniger Einfluß hat eine Verschiebung des Trennwertes. Bei einem idealen Modell würde die Nein-Kurve bei einer Wahrscheinlichkeit von etwas mehr als 0 sofort auf die Anzahl der Nein-Beobachtungen steigen und danach waagrecht verlaufen. Die Ja-Kurve würde bis knapp vor der Wahrscheinlichkeit von 1 in der Höhe von 0 liegen um danach sofort auf die Anzahl der Ja-Beobachtungen zu steigen. Bei einem idealen Modell hätte eine Verschiebung des Schwellwertes keinen Einfluß auf das Ergebnis. Bei den dargestellten realen Modellen bringt eine Verschiebung in Richtung 1 mehr Nein- und weniger Ja-Entscheidungen. Bei einer Verschiebung in Richtung 0 mehr Ja- und weniger Nein-Entscheidungen. Damit wäre es auch möglich die Modelle an die lokalen Gegebenheiten zu adaptieren.

In Tabelle 4.7 sind die Anzahl der Treffer für das Ankommen von Verjüngung bei einem Schwellwert von 0.5 angegeben. Beim Parametrisierungsdatensatz liegt mCCF am nächsten und nN am weitesten entfernt von der tatsächlich beobachteten Anzahl von Ja-Entscheidungen. Beim Prozentsatz an richtig klassifizierten Probepunkten liegt hingegen das neuronale Netz mit 77.2 % vorne. Dabei werden von allen Modellen die Ja-Entscheidungen mit größerer Sicherheit getroffen als nein-Entscheidungen. Bei den Validierungsdatensätzen aus dem Lehrforst ist deutlich ein saisonales Schwanken der Verjüngungssituation zu beobachten. Im Jahr 2001 gab es wenig neue Verjüngung, im Jahr 2002 hingegen recht viel. Dementsprechend sind auch die Modellvorausagen in beiden Jahren unterschiedlich. So liegt die Trefferwahrscheinlichkeit im Jahr 2001 bei etwas mehr als 70 %. Im Jahr 2002 hingegen bei 80 %. Die Datensätze aus der Hirschlacke weisen einen relativ hohen Anteil an Punkten mit Verjüngung auf. Hier zeigen alle Modelle, bis auf

den Entscheidungsbaum akzeptable Resultate. Es zeigt sich deutlich die Schwäche der Modelle CCF und auch mCCF. Diese sind im Bereich der Verneinung von neuer Verjüngung äußerst schwach, da in der Regel auf diesen Flächen das Vorhandensein von recht dichter älterer Verjüngung das Verjüngungshemmnis darstellt und besonders das Modell CCF auf diese überhaupt nicht ansprechen kann. Beim Validierungsdatensatz des Nationalparks Kalkalpen liegt die Gesamttrefferquote bei 67 % bis 70 %. Die Trefferquote der nicht verjüngten Punkte ist jedoch recht niedrig. Das liegt an dem geringen Anteil an nichtverjüngten Flächen dieses Datensatzes.

In Tabelle 4.8 ist die Treffergenauigkeit der Baumarten Fichte, Buche, Tanne und Rest in der Verjüngung dargestellt. Hierbei zeigt sich, daß der Fichtenanteil bis auf den Datensatz des Nationalparks, ständig unterschätzt wird. Die Gesamttrefferquote liegt nur bei der Aufnahme Lf02 deutlich über 50 %. Im Lehrforst wird meist das Fehlen von Fichte richtig eingestuft, im Nationalpark hingegen wird das Vorhandensein mit 80 % richtigen Einstufungen recht gut charakterisiert. Bei der Buche existieren zwei Modelle. Dabei konnte das Entscheidungsbaummodell in der Regel geringfügig bessere Ergebnisse erzielen als das Logitmodell. Beim Logitmodell kam es in der Hirschlacke zu extremen Buchenüberschätzungen. Beim Tannenmodell sind die Logit- und die Entscheidungsbaumversion in etwa gleich gut. Was jedoch auffällt ist, daß das Vorkommen von Tanne immer unterschätzt wird. Dies dürfte jedoch durch den Umstand, daß Tanne häufig in der Verjüngung zu finden ist, nicht jedoch im Altbestand, begründet liegen, da die Modelle nur bei Vorhandensein der Tanne im Altbestand auch Tanne in der Verjüngung prognostizieren sollten. Das Vorhandensein von anderen Baumarten wird auf den Flächen der Hirschlacke sehr gut beantwortet, da auf diesen Flächen kaum andere Baumarten vorkommen. Auf den restlichen Flächen ist hingegen die Trefferquote äußerst bescheiden und liegt bei etwa 55 %.

Die Verwendung keiner fixen Schwelle, sondern der Vergleich des Ergebnisses mit einer gleichverteilten Zufallszahl zwischen 0 und 1 und die nachfolgende Entscheidung ob Verjüngung auftritt oder nicht, scheint zunächst nichts wesentlich anderes zu sein als die Verwendung von 0.5 als Schwellwert. Die Verwendung dieser Methode hat jedoch den Vorteil, daß es auch auf Flächen, welche eine geringe Verjüngungswahrscheinlichkeit haben, zu Verjüngung kommen kann. Dies gibt den stochastischen Charakter dieser Modelle recht deutlich wieder. Bei Verwendung eines fixen Schwellenwertes werden Punkte, die knapp unter diesem Schwellenwert liegen, nie als verjüngt klassifiziert werden, obwohl ihre Wahrscheinlichkeit dafür doch recht hoch wäre. Bei dieser Methode werden sie jedoch in genausovielen Fällen als verjüngt bzw. unverjüngt klassifiziert werden, wie dies ihrer Wahrscheinlichkeit entspricht. Dieses Verfahren kann natürlich nur bei Modellen angewandt werden, die Wahrscheinlichkeiten zurückgeben.

In Tabelle 4.9 sind die Treffer für das Ankommen von Verjüngung wiedergegeben. Auf den ersten Blick fällt auf, daß die Gesamttrefferquote gegenüber dem Vergleich mit 0.5 absinkt. Die Abweichung von beobachteten zu prognostizierten Vorhandensein bzw. Fehlen von Verjüngung ist jedoch beim Parametrisierungsdatensatz, sowie bei den Datensätzen Lf02 und NpKa, äußerst gering. Ebenfalls fällt positiv auf, daß die Bereiche, welche vorher recht schlecht abgedeckt wurden, jetzt zumindest etwas besser beantwortet werden. Weiters fällt auf, daß alle Modelle ähnliche Ergebnisse liefern.

In Tabelle 4.10 ist die Trefferquote für die Baumarten bei Verwendung einer gleichverteilten Zufallszahl zur Entscheidung dargestellt. Auch hier ist ein leichtes Absinken der Gesamttrefferanzahl zu beobachten. Lediglich bei Buche ist bei den Datensätzen der Hirschlacke und bei Tanne bei den Datensätzen Lf02 und Hl02 ein leichtes Ansteigen festzustellen. Auch bei den Anzahlen der mit einer bestimmten Baumart verjüngten Fläche ist eine allgemeine Besserung der Ergebnisse zu beobachten. Nicht mehr zu beobachten sind Aussagen, daß eine bestimmte Baumart nicht vorkommt. Dazu müßte nämlich das Modell eine Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen dieser Baumart von 0 ausgeben, was in der Regel jedoch nicht vorkommt.

In Tabelle 4.10 ist die Treffergenauigkeit der direkten Schätzung, ob eine Baumart auf einem Punkt vorkommt, beim Vergleich mit einer gleichverteilten Zufallszahl, dargestellt. Dieses Modell ist dafür parametrisiert, um auf jedem Punkt zu entscheiden, ob es dort Verjüngung einer bestimmten Baumart gibt. Um es jedoch auch leichter mit jenen Modellen vergleichen zu können, welche nur auf jenen Punkten, wo es Verjüngung gibt, die Baumart schätzen, wurde auch hier die Trefferanzahl auf den verjüngten Probestellen dargestellt. Bei den Punkten, wo es Verjüngung

Tabelle 4.7: Treffergenauigkeit der Ankommensmodelle bei $p = 0.5$

Modell	N_{Beob}	$N_{Ja,Beob}$	$N_{Ja,Modell}$	$\Delta\%$	$OK_{Ja}\%$	$OK_{Nein}\%$	$OK_x\%$	
Param.	Konk	422	233	251	7.7	82.0	68.3	75.9
	CCF	422	233	240	3.0	80.7	72.5	77.0
	mCCF	422	233	230	-1.3	78.5	75.1	77.0
	Eb.	422	233	251	7.7	82.0	68.3	75.8
	nN	422	233	269	15.5	87.1	65.1	77.2
Lf01	Konk	104	48	56	16.7	77.1	66.1	71.2
	CCF	104	48	46	-4.2	75.0	67.9	71.2
	mCCF	104	48	46	-4.2	79.2	71.4	75.0
	Eb.	104	48	57	18.8	75.0	62.5	68.3
	nN	104	48	60	25.0	83.3	64.3	73.1
Lf02	Konk	110	65	65	0	83.1	75.6	80.0
	CCF	110	65	59	-9.2	78.5	82.2	80.0
	mCCF	110	65	63	-3.1	80.0	75.6	78.2
	Eb.	110	65	84	29.2	90.8	44.4	71.8
	nN	110	65	69	6.2	86.2	71.1	80.0
HI87	Konk	43	43	35	-18.6	81.4	—	81.4
	CCF	43	43	39	-9.3	90.7	—	90.7
	mCCF	43	43	38	-11.6	88.4	—	88.4
	Eb.	43	43	7	-83.7	16.3	—	16.3
	nN	43	43	34	-20.9	79.1	—	79.1
HI02	Konk	43	35	32	-8.6	82.9	62.5	79.1
	CCF	43	35	43	22.9	100	0	81.4
	mCCF	43	35	42	20.0	100	12.5	83.7
	Eb.	43	35	13	-62.9	34.3	87.5	44.2
	nN	43	35	29	-17.1	74.3	62.5	72.1
NpKa	Konk	676	500	533	6.6	81.0	27.3	67.0
	CCF	676	500	538	7.6	81.2	25.0	66.6
	mCCF	676	500	581	16.2	87.8	19.3	70.0
	Eb.	676	500	604	20.8	90.2	13.1	70.1
	nN	676	500	559	11.8	83.6	19.9	67.0

Konk .. Konk nach Gleichung (2.74) als Bestandesdichtemaß in Logitmodell

CCF ... CCF nach Gleichung (2.73) als Bestandesdichtemaß in Logitmodell

mCCF .. mCCF nach Gleichung (2.73) wobei allerdings der BHD nach Gleichung (2.75) transformiert wurde als Bestandesdichtemaß in Logitmodell

Eb Entscheidungsbaummodell mit Konk als Bestandesdichtemaß

nN Neuronales Netzmodell mit Konk als Bestandesdichtemaß

Lo Logitmodell

Param. .. Parametrisierungsdatensatz Lehrforst 1998 und 2000

Lf Validierungsdatensatz Lehrforst 2001 und 2002

HI Validierungsdatensatz Hirschlacke 1987 und 2002

NpKa .. Validierungsdatensatz Nationalpark Kalkalpen 1996 bis 2000

N_{Beob} Beobachtete Anzahl

$N_{Ja,Beob}$.. Beobachtete Anzahl wo das Ereignis zutrifft

$N_{Ja,Modell}$.. Anzahl wo das Modell unterstellt, daß das Ereignis zutrifft

$\Delta\%$ Abweichung des Modells von der Realität berechnet mit $\frac{N_{Ja,Modell} - N_{Ja,Beob}}{N_{Ja,Beob}} \cdot 100$

$OK_{Ja}\%$.. Prozent der vom Modell richtig eingestuftten Ja Ereignisse

$OK_{Nein}\%$.. Prozent der vom Modell richtig eingestuftten Nein Ereignisse

$OK_x\%$.. Prozent der vom Modell insgesamt richtig eingestuftten Ereignisse

Tabelle 4.8: Treffergenauigkeit der Baumartenmodelle bei $p = 0.5$

Modell	N_{Beob}	$N_{Ja,Beob}$	$N_{Ja,Modell}$	$\Delta\%$	OK _{Ja} %	OK _{Nein} %	OK _x %	
Fichte	Par. Lo	233	104	66	-36.5	32.7	75.2	56.2
	Lf01 Lo	48	17	13	-23.5	23.5	71.0	54.2
	Lf02 Lo	65	43	40	-7.0	74.4	63.6	70.8
	H187 Lo	43	43	26	-39.5	60.5	—	60.5
	H102 Lo	35	34	17	-50.0	48.6	100	51.4
	NpKa Lo	500	255	394	54.5	80.4	22.9	52.2
Buche	Par. Lo	233	160	178	11.2	87.5	48.0	75.1
	Lf01 Lo	48	22	35	59.1	86.4	38.5	60.5
	Lf02 Lo	65	50	50	0	82.0	40.0	72.3
	H187 Lo	43	1	29	2800	100	33.3	34.9
	H102 Lo	35	6	29	383	83.3	17.2	28.6
	NpKa Lo	500	308	317	2.9	71.4	49.5	63.0
Eiche	Par. Eb	233	160	150	-6.2	79.4	68.5	76.0
	Lf01 Eb	48	22	29	31.8	81.8	57.7	68.8
	Lf02 Eb	65	50	41	-18.0	72.0	66.7	70.8
	H187 Eb	43	1	4	300	0	90.5	88.4
	H102 Eb	35	6	16	167	66.7	58.6	60.0
	NpKa Eb	500	308	262	-14.9	59.4	58.9	59.2
Tanne	Par. Lo	233	83	33	-60.2	36.1	98.0	75.9
	Lf01 Lo	48	14	10	-28.6	42.9	88.2	75.0
	Lf02 Lo	65	41	9	-78.0	17.1	91.7	44.6
	H187 Lo	43	24	22	-8.3	58.3	57.9	58.1
	H102 Lo	35	23	22	-4.3	65.2	41.7	57.1
	NpKa Lo	500	181	73	-59.7	25.4	91.5	67.6
Kiefer	Par. Eb	233	83	33	-60.2	36.1	98.0	75.9
	Lf01 Eb	48	14	9	-35.7	42.9	91.2	77.1
	Lf02 Eb	65	41	9	-78.0	17.1	91.7	44.6
	H187 Eb	43	24	20	-16.7	50.0	57.9	53.5
	H102 Eb	35	23	19	-17.4	60.9	58.3	60.0
	NpKa Eb	500	181	71	-60.8	24.3	91.5	67.2
Rest	Par. Lo	233	101	80	-20.8	45.5	74.2	61.8
	Lf01 Lo	48	24	22	-8.3	54.2	62.5	58.3
	Lf02 Lo	65	45	22	-51.1	40	80.0	52.3
	H187 Lo	43	0	0	0	—	100	100
	H102 Lo	35	3	0	-100	0	100	91.4
	NpKa Lo	500	467	273	-41.5	54.6	45.4	54.0

Tabelle 4.9: Treffergenauigkeit der Modelle bei $p = z[0, 1]$

Modell	N_{Beob}	$N_{Ja,Beob}$	$N_{Ja,Modell}$	$\Delta\%$	$OK_{Ja}\%$	$OK_{Nein}\%$	$OK_x\%$	
Param.	Konk	422	233	235.3	1.0	73.0	65.4	69.6
	CCF	422	233	240.5	3.2	73.9	63.8	69.4
	mCCF	422	233	231.5	-0.6	71.6	65.8	69.0
	nN	422	233	232.3	-0.3	71.7	65.5	68.9
Lf01	Konk	104	48	55.9	16.5	70.5	60.5	65.1
	CCF	104	48	56.4	17.5	72.0	61.0	66.1
	mCCF	104	48	54.2	12.9	68.9	62.3	65.3
	nN	104	48	55.2	15.0	69.1	60.6	64.5
Lf02	Konk	110	65	65.6	0.9	74.3	61.6	69.1
	CCF	110	65	61.7	-5.1	72.6	67.7	70.6
	mCCF	110	65	64.2	-1.2	70.0	58.6	65.3
	nN	110	65	64.6	-0.6	72.5	61.2	67.9
HI87	Konk	43	43	30.9	-28.1	71.9	—	71.9
	CCF	43	43	35.5	-17.4	82.6	—	82.6
	mCCF	43	43	31.7	-26.3	73.7	—	73.7
	nN	43	43	27.7	-35.6	64.4	—	64.4
HI02	Konk	43	35	31.4	-10.3	77.1	45.0	71.2
	CCF	43	35	40.2	14.9	95.1	13.8	80.0
	mCCF	43	35	35.7	2.0	84.6	25.0	73.5
	nN	43	35	26.0	-25.7	64.3	56.2	62.8
NpKa	Konk	676	500	486.9	-2.6	73.8	28.4	62.0
	CCF	676	500	485.3	-2.9	74.0	34.4	63.6
	mCCF	676	500	500.7	0.1	75.9	31.1	64.2
	nN	676	500	478.7	-4.3	71.6	31.3	61.1

Tabelle 4.10: Treffergenauigkeit der Modelle bei $p = z[0, 1]$

Modell	N_{Beob}	$N_{Ja,Beob}$	$N_{Ja,Modell}$	$\Delta\%$	OK _{Ja} %	OK _{Nein} %	OK _x %	
Fichte	Par.	233	104	99.4	-4.4	44.5	58.9	52.5
	Lf01	48	17	20.4	31.8	42.8	57.7	52.4
	Lf02	65	43	34.3	-20.2	56.4	54.5	55.8
	Hl87	43	43	21.2	-50.7	49.3	—	49.3
	Hl02	35	34	16.7	-50.9	48.5	80.0	49.4
	NpKa	500	255	287.6	12.8	57.7	42.7	50.3
Buche	Par.	233	160	159.8	-0.1	74.7	44.8	65.3
	Lf01	48	22	32.3	46.8	76.0	39.9	56.4
	Lf02	65	50	43.6	-12.8	70.3	43.5	64.1
	Hl87	43	1	24.4	2340	70.0	43.6	44.2
	Hl02	35	6	23.5	292	70.0	33.4	39.7
	NpKa	500	308	289.3	-6.1	61.4	47.8	56.2
Tanne	Par.	233	83	84.7	2.0	54.9	73.9	67.1
	Lf01	48	14	18.4	31.4	54.5	68.4	64.3
	Lf02	65	41	22.4	-45.4	36.9	69.8	49.0
	Hl87	43	24	29.3	22.1	70.8	35.3	55.1
	Hl02	35	23	26.0	13.0	77.0	30.8	61.1
	NpKa	500	181	168.9	-6.7	43.5	71.7	61.5
Rest	Par.	233	101	105.3	4.3	49.6	58.2	54.5
	Lf01	48	24	23.2	-3.3	51.4	54.7	53.1
	Lf02	65	45	28.4	-36.9	45.1	59.8	49.6
	Hl87	43	0	12.8	—	—	70.2	70.2
	Hl02	35	3	10.5	250	33.3	70.3	67.1
	NpKa	500	467	230.4	-50.7	46.2	55.6	46.8

gibt, schneidet dieses Modell insgesamt etwas schlechter ab als jenes, das nur für diese Situation erstellt wurde. Die Trefferrate beim gesamten Datensatz liegt im Bereich von 23.9% bis 78.1%. Dabei fällt auf, daß die Fichte beim Datensatz Hirschlacke deutlich unterschätzt wird.

Tabelle 4.11: Treffergenauigkeit der Direkt-Modelle bei $p = z[0, 1]$

Modell	N_{Beob}		$N_{J,B.}$	$N_{Ja,Modell}$		$\Delta\%$		$OK_{Ja}\%$	$OK_{Nein}\%$		$OK_x\%$		
Fichte	Par.	422	233	104	104.0	72.6	0.0	-30.2	32.5	77.9	70.0	66.8	50.3
	Lf01	104	48	17	25.7	14.5	51.2	-14.9	31.6	76.6	70.7	69.3	56.8
	Lf02	110	65	43	31.6	21.8	-26.5	-49.2	36.9	76.5	72.9	61.0	49.1
	HI87	43	43	43	10.3	10.3	-76.0	76.0	23.9	-	-	23.9	23.9
	HI02	43	35	34	10.4	9.11	-69.4	-73.2	26.7	85.6	96.0	39.0	28.7
	NpKa	676	500	255	226.6	195.8	-11.1	-23.2	39.4	60.6	61.1	52.6	50.1
Buche	Par.	422	233	160	160.0	120.1	0.0	-25.0	59.0	75.0	64.9	68.9	60.9
	Lf01	104	48	22	36.3	23.5	65.0	6.8	59.8	71.8	60.3	69.2	60.1
	Lf02	110	65	50	47.5	35.7	-5.0	-28.6	59.9	70.8	61.5	65.8	60.3
	HI87	43	43	1	10.6	10.6	960	960	38.0	75.6	75.6	74.7	74.7
	HI02	43	35	6	13.7	12.0	128.3	100.5	45.7	70.3	68.0	66.9	64.1
	NpKa	676	500	308	299.5	239.6	-2.8	-22.2	51.7	61.9	58.2	57.3	54.2
Tanne	Par.	422	233	83	83.0	55.3	0.0	-33.4	35.1	84.1	82.5	74.5	65.6
	Lf01	104	48	14	19.1	11.5	36.4	-18.1	36.9	84.5	81.5	78.1	68.6
	Lf02	110	65	41	22.9	15.7	-44.1	-61.7	25.8	82.2	78.6	61.2	45.3
	HI87	43	43	24	18.2	18.2	24.2	24.2	43.7	59.2	59.2	50.5	50.5
	HI02	43	35	23	19.0	16.8	-17.4	-27.0	52.3	65.0	60.4	58.2	55.1
	NpKa	676	500	181	166.2	122.9	-8.2	-32.1	28.3	76.8	77.5	63.8	59.7

Hier wurde einmal nur der Datensatz verwendet wo es zu Verjüngung gekommen ist (rechte Spalte) das andere mal der gesamte Datensatz (linke Spalte).

In Sterba u. a. (1997) und Schweiger (1997) werden die Mittelwerte der Modellparametrisierung zur Entscheidung, ob es zu Verjüngung kommt oder nicht, herangezogen. In Tabelle 4.12 sind die Ergebnisse bei gleicher Vorgehensweise dargestellt. Da der vorhandene Mittelwert (0.55) recht nahe bei 0.5 liegt, sind hierbei keine großen Unterschiede bei dieser Vorgehensweise zu erwarten. Bei dem vorhandenen Mittelwert werden etwas weniger Probepunkte mit Verjüngung erwartet, was auch in der Tabelle abzulesen ist. Dementsprechend muß auch der Prozentsatz der richtigen Ja-Entscheidungen fallen und der der richtigen Nein-Entscheidungen steigen. Der Prozentsatz der insgesamt richtig eingestuft Punkte änderte sich jedoch kaum. Interessanter ist die Betrachtung von Tabelle 4.13. Hier werden die Baumartenmodelle untersucht. Diese haben etwas größere Abweichungen von 0.5. Bei Fichte verbessert sich das Gesamtergebnis bei allen Probeflächen bis auf Lf01 und NpKa. Bei Buche wird das Ergebnis beim Parametrisierungsdatensatz, bei Lf02 und bei NpKa schlechter. Bei Tanne verbessern sich die Ergebnisse nur bei HI02 und NpKa. Bei den sonstigen Baumarten verbessern sich die Ergebnisse nur bei den Probeflächen Lf02 und NpKa. Es ist also kaum eine Verbesserung der Trefferanzahl durch diese Maßnahme zu beobachten. Beim Parametrisierungsdatensatz wurde jedoch das Verhältnis von Ja- zu Nein-Entscheidungen deutlich näher an die Beobachtung herangeführt. Bei den unabhängigen Validierungsdatensätzen war dies nicht immer der Fall.

Zuguterletzt wurde noch der Schwellenwert, ab welchem eine Verjüngungswahrscheinlichkeit mit Ja oder Nein interpretiert wird, so gewählt, daß das Verhältnis von Ja- zu Nein-Entscheidungen des Modells gleich dem der Beobachtung ist. Durch diese Maßnahme ging der Trefferprozentsatz in der Regel ein wenig zurück. Die Abweichungen der Verhältnisses ja zu nein wurden teilweise verbessert teilweise aber auch verschlechtert. Auch bei den Baumartenmodellen ist ein ähnliches Ergebnis in Tabelle 4.15 zu sehen.

Insgesamt ist jedoch besonders bei der Tanne festzustellen, daß diese bei Annahme von einer Trennung bei 0.5 bei allen Datensätzen unterschätzt wird. Bei den letzten 3 Methoden ist

Tabelle 4.12: Treffergenauigkeit der Modelle bei $p = \bar{x}$ der Beobachtung

Modell	N_{Beob}	$N_{Ja,Beob}$	$N_{Ja,Modell}$	$\Delta\%$	$OK_{Ja}\%$	$OK_{Nein}\%$	$OK_x\%$	
Param.	Konk	422	233	234	0.4	78.1	72.5	75.6
	CCF	422	233	225	-3.4	77.3	76.2	76.8
	mCCF	422	233	220	-5.6	76.8	78.3	77.5
	nN	422	233	258	10.7	85.4	68.8	78.0
Lf01	Konk	104	48	52	8.3	77.1	69.6	73.1
	CCF	104	48	49	2.1	40.8	73.2	72.1
	mCCF	104	48	52	8.3	77.1	73.2	75.0
	nN	104	48	57	18.8	79.2	66.1	72.1
Lf02	Konk	110	65	61	-6.2	78.5	77.8	78.2
	CCF	110	65	55	-15.4	73.8	84.4	78.2
	mCCF	110	65	58	-10.8	73.8	77.8	75.5
	nN	110	65	63	-3.1	81.5	77.8	80.0
H187	Konk	43	43	32	-25.6	74.4	—	74.4
	CCF	43	43	37	-14.0	86.0	—	86.0
	mCCF	43	43	36	-16.3	83.7	—	83.7
	nN	43	43	32	-25.6	74.4	—	74.4
H102	Konk	43	35	32	-8.6	82.9	62.5	79.1
	CCF	43	35	42	20.0	100	12.5	83.7
	mCCF	43	35	40	14.3	94.3	12.5	79.1
	nN	43	35	28	-20.0	71.4	62.5	70.0
NpKa	Konk	676	500	511	2.2	79.8	30.7	67.0
	CCF	676	500	477	-4.6	75.0	42.0	66.4
	mCCF	676	500	553	10.6	84.2	25.0	68.8
	nN	676	500	537	7.4	80.8	24.4	66.1

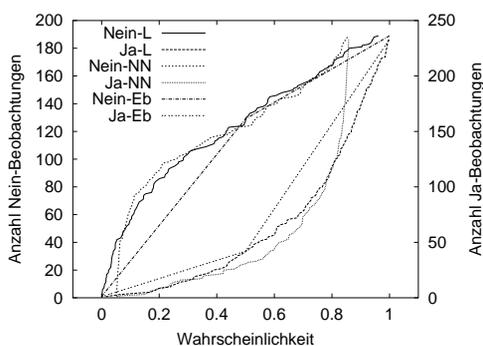


Abbildung 4.1: Modellwahrscheinlichkeiten und tatsächliche Beobachtung von Verjüngung für den Parametrisierungsdatensatz Lf98+00

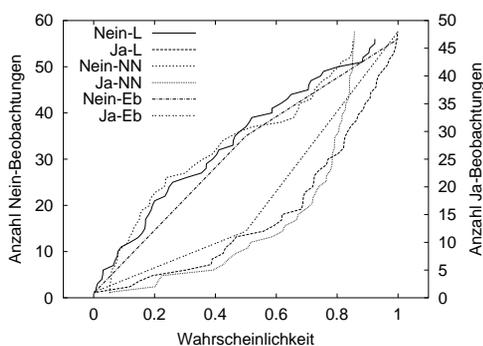


Abbildung 4.2: Modellwahrscheinlichkeiten und tatsächliche Beobachtung von Verjüngung für den Validierungsdatensatz Lf01

Tabelle 4.13: Treffergenauigkeit der Modelle bei $p = \bar{x}$ der Beobachtung

Modell	N_{Beob}	$N_{Ja,Beob}$	$N_{Ja,Modell}$	$\Delta\%$	OK _{Ja} %	OK _{Nein} %	OK _x %	
Fichte	Par.	233	104	108	3.8	58.7	63.6	61.4
	Lf01	48	17	20	17.6	41.2	58.1	52.1
	Lf02	65	43	48	11.6	86.0	50.0	73.8
	Hl87	43	43	33	-23.3	76.7	—	76.7
	Hl02	35	34	22	-35.3	64.7	100	65.7
	NpKa	500	255	446	74.9	88.2	9.8	49.8
	Buche	Par.	233	160	152	-5.0	78.1	63.0
Lf01		48	22	30	36.4	77.3	50.0	62.5
Lf02		65	50	40	-20	70.0	66.7	69.2
Hl87		43	1	8	700	100	83.3	83.7
Hl02		35	6	22	267	83.3	41.4	48.6
NpKa		500	308	206	-33.1	46.4	67.2	54.4
Tanne		Par.	233	83	63	-24.1	53.0	87.3
	Lf01	48	14	14	0.0	42.9	76.5	66.7
	Lf02	65	41	14	-65.9	22.0	79.2	43.1
	Hl87	43	24	42	75.0	95.8	0	53.5
	Hl02	35	23	30	30.4	87.0	16.7	62.9
	NpKa	500	181	100	-44.8	33.7	87.8	69.8
	Rest	Par.	233	101	100	-1.0	53.5	65.2
Lf01		48	24	27	12.5	62.5	50.0	56.2
Lf02		65	45	31	-31.1	53.3	65.0	56.9
Hl87		43	0	1	—	—	97.7	97.7
Hl02		35	3	0	-100	0	100	91.4
NpKa		500	467	299	-36.0	59.5	36.4	58.0

Tabelle 4.14: Treffergenauigkeit der Modelle bei p so gewählt, daß das Modell gleiche Anzahlen wie Beobachtung ergibt

Modell	N_{Beob}	$N_{Ja,Beob}$	$N_{Ja,Modell}$	$\Delta\%$	$OK_{Ja}\%$	$OK_{Nein}\%$	$OK_x\%$	
Param	Konk	422	233	—	—	77.7	72.5	75.4
	CCF	422	233	—	—	79.4	74.6	77.3
	mCCF	422	233	—	—	79.4	74.6	77.3
	nN	422	233	—	—	79.0	74.1	76.8
Lf01	Konk	104	48	53	10.4	75.0	69.6	72.1
	CCF	104	48	53	10.4	75.0	69.6	72.1
	mCCF	104	48	54	12.5	79.2	71.4	75.0
	nN	104	48	56	16.7	77.1	66.1	71.2
Lf02	Konk	110	65	60	-7.7	78.5	80.0	79.1
	CCF	110	65	57	-12.3	75.4	82.2	78.2
	mCCF	110	65	63	-3.1	80.0	75.6	78.2
	nN	110	65	61	-6.2	78.5	77.8	78.2
HI87	Konk	43	43	32	-25.6	74.4	—	74.4
	CCF	43	43	37	-14.0	86.0	—	86.0
	mCCF	43	43	38	-11.6	88.4	—	88.4
	nN	43	43	30	-30.2	69.8	—	69.8
HI02	Konk	43	35	32	-8.6	82.9	62.5	79.1
	CCF	43	35	43	22.9	100	0	81.4
	mCCF	43	35	42	20	100	12.5	83.7
	nN	43	35	28	-20.0	71.4	62.5	69.8
NpKa	Konk	676	500	514	2.8	78.8	31.8	66.6
	CCF	676	500	518	3.6	79.0	30.1	66.3
	mCCF	676	500	591	18.2	89.4	18.2	70.9
	nN	676	500	518	3.6	78.6	29.0	65.7

Tabelle 4.15: Treffergenauigkeit der Modelle bei p so gewählt, daß das Modell gleiche Anzahlen wie Beobachtung ergibt

Modell	N_{Beob}	$N_{Ja,Beob}$	$N_{Ja,Modell}$	$\Delta\%$	$OK_{Ja}\%$	$OK_{Nein}\%$	$OK_x\%$	
Fichte	Par.	233	104	—	—	56.7	65.1	61.4
	Lf01	48	17	20	17.6	41.2	58.1	52.1
	Lf02	65	43	47	9.3	86.0	54.5	75.4
	Hl87	43	43	33	-23.3	76.7	—	76.7
	Hl02	55	34	20	-41.2	58.8	100	60.0
	NpKa	500	255	436	71.0	86.7	12.2	50.2
Buche	Par.	233	160	—	—	81.2	57.5	73.8
	Lf01	48	22	30	36.4	77.3	50.0	62.5
	Lf02	65	50	43	-14.0	76.0	66.7	73.8
	Hl87	43	1	14	1300	100	69.0	69.8
	Hl02	35	6	25	317	83.3	31.0	40.0
	NpKa	500	308	224	-27.3	51.0	65.1	56.4
Tanne	Par.	233	83	—	—	62.7	79.3	73.4
	Lf01	48	14	18	28.6	50.0	67.6	62.5
	Lf02	65	41	22	-46.3	36.6	70.8	49.2
	Hl87	43	24	43	79.2	100	0	55.8
	Hl02	35	23	33	43.5	95.7	8.3	65.7
	NpKa	500	181	149	-17.7	47.0	79.9	68.0
Rest	Par.	233	101	—	—	54.5	65.2	60.5
	Lf01	48	24	27	12.5	62.5	50.0	56.2
	Lf02	65	45	31	-31.1	53.3	65.0	56.9
	Hl87	43	0	1	—	—	97.7	97.7
	Hl02	35	3	0	-100	0	100	91.4
	NpKa	500	467	304	-34.9	60.6	36.4	59.0

dies nicht mehr der Fall. Dort bekommen relativ seltene Baumarten leichter eine Chance auf eine positive Beantwortung ihres Vorkommens. Häufig vorkommende Baumarten bekommen im Gegenzug eine geringere Chance. Diese wird bei den letzten beiden Varianten durch Verschieben des Schwellenwertes erreicht.

Die Koeffizienten des Verjüngungsdichtemodells nach Gleichung (2.77) sind in Tabelle 4.2 angegeben. In dieses Modell gehen nur der maximale BHD der Buche und der Seitenlichteinfluß signifikant ein. Weiters wurden noch die maximalen BHD's der Fichte, Tanne und sonstigen in das Modell aufgenommen. Es ist an der Verbesserung der Residuen von 224 auf 208 schon zu erkennen, daß die Verjüngungsdichte durch dieses Modell recht schwach beschrieben wird. Dies ist auch in den Abbildungen 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 zu sehen. Die Verjüngungsdichte kann somit auch als stochastischer Prozeß betrachtet werden. Es wurde daher zusätzlich ein Modell, welches auf Zufallszahlen aufbaut, erstellt.

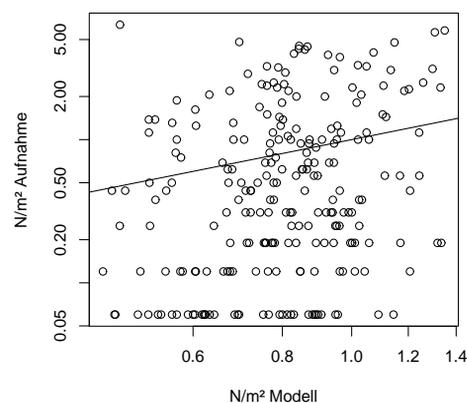


Abbildung 4.3: Modellzusammenhang zwischen beobachteter und prognostizierter Stammzahl der neuen Verjüngung in N/m^2 angewandt auf den Parametrisierungsdatensatz (Lf98+00).

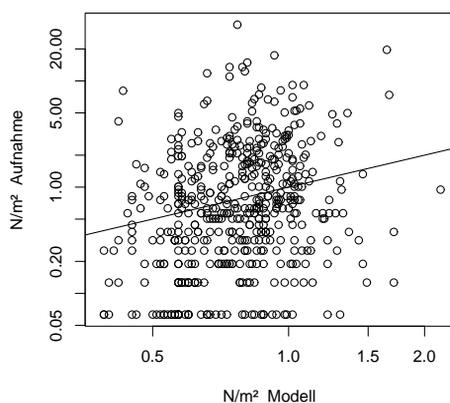


Abbildung 4.4: Modellzusammenhang zwischen beobachteter und prognostizierter Stammzahl der neuen Verjüngung in N/m^2 angewandt auf den Validierungsdatensatz NpKa.

In diesem Modell wird die Stammzahl der Verjüngung je m^2 nach Gleichung (4.1) berechnet wobei x eine gleichverteilte Zufallszahl von 0 bis 1 ist. Diese Gleichung entstand aus der Überlegung, daß der Logarithmus der Stammzahl der neuen Verjüngung je m^2 linear mit der Anzahl der Beobachtungen zunahm, solange nicht allzu hohe Verjüngungsdichten beobachtet wurden (siehe Abbildung 3.1). Da in der Praxis die Anzahl von hohen Verjüngungsdichten weniger interessiert, als Verjüngungsdichten im mittleren Bereich, wurden alle Beobachtungen mit mehr als 3.5 Bäumen je m^2 in der neuen Verjüngung weggelassen. Die Koeffizienten wurden mittels GLM bestimmt und sind in Gleichung (4.2) zu sehen. Damit ergibt sich eine minimale Verjüngungsdichte von $0.034 N/m^2$ bzw. $0.54 N/16m^2$, was in etwa die Hälfte dessen ist, was durch die Aufnahmemethode erhoben werden kann, und einer maximalen Verjüngungsdichte von $4.3 N/m^2$. Die Anpassung an die tatsächliche Verteilung ist in Abbildung 4.9 zu sehen. Diese Gleichung ist unter der Annahme, daß die Beobachtungen der Verjüngungsdichte ebenfalls logarithmisch verteilt ist, an die gegebene Situation leicht anpaßbar. Es muß nur eine minimale und maximale Verjüngungsdichte bestimmt oder festgelegt werden. Der Koeffizient a errechnet sich dann durch Logarithmieren der minimalen Stammzahl und der Koeffizient b durch Logarithmieren der maximalen Stammzahl und Dazuaddieren des Koeffizienten a .

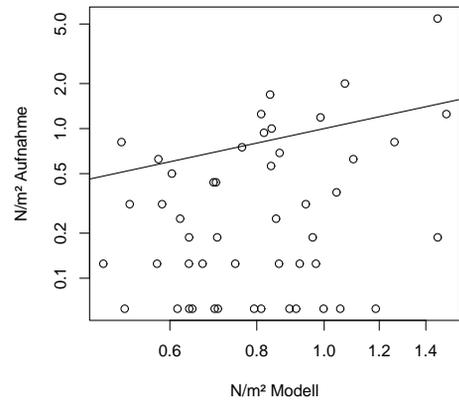


Abbildung 4.5: Modellzusammenhang zwischen beobachteter und prognostizierter Stammzahl der neuen Verjüngung in N/m^2 angewandt auf den Validierungsdatensatz Lf01.

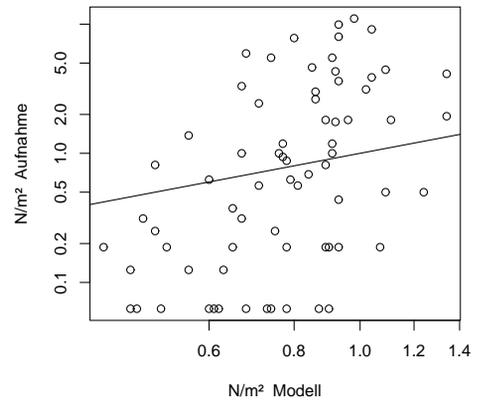


Abbildung 4.6: Modellzusammenhang zwischen beobachteter und prognostizierter Stammzahl der neuen Verjüngung in N/m^2 angewandt auf den Validierungsdatensatz Lf02.

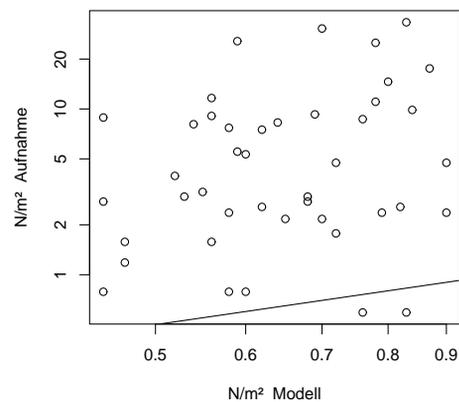


Abbildung 4.7: Modellzusammenhang zwischen beobachteter und prognostizierter Stammzahl der neuen Verjüngung in N/m^2 angewandt auf den Validierungsdatensatz Hi87.

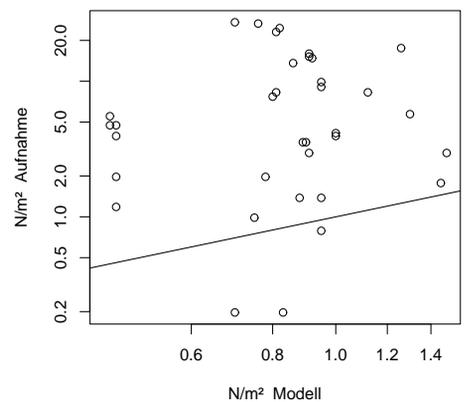


Abbildung 4.8: Modellzusammenhang zwischen beobachteter und prognostizierter Stammzahl der neuen Verjüngung in N/m^2 angewandt auf den Validierungsdatensatz Hi02.

$$n_v/m^2 = e^{a+b \cdot x} \quad (4.1)$$

$$n_v/m^2 = e^{-3.39+4.84 \cdot x} \quad (4.2)$$

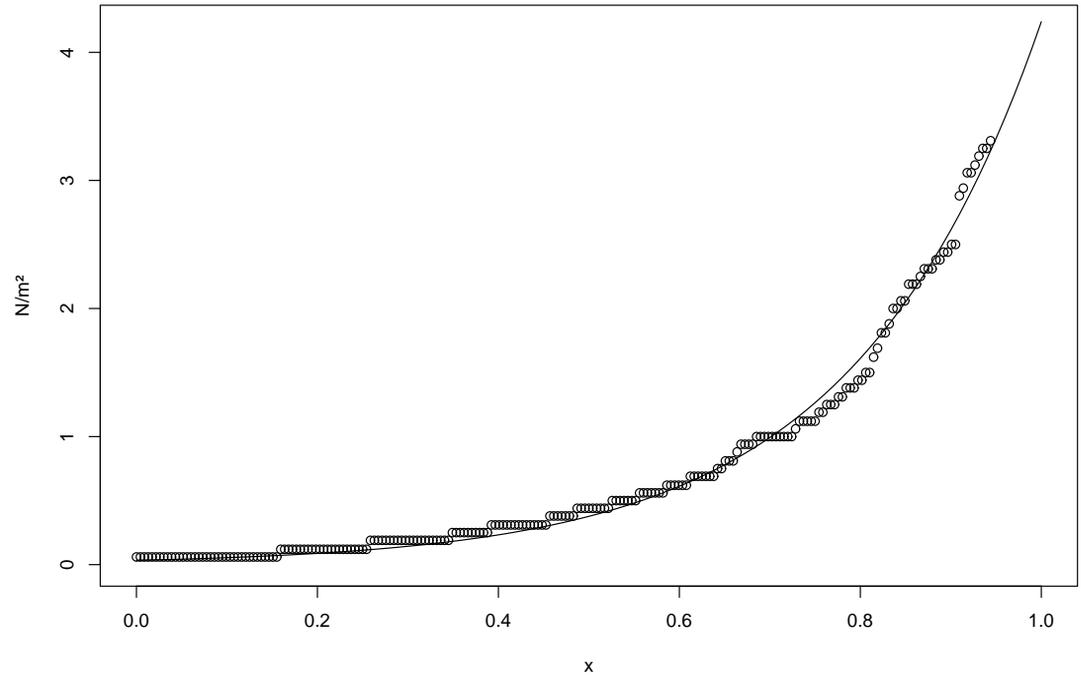


Abbildung 4.9: Ausgleich der Verjüngungsdichte N/m^2 und des Stichprobenumfangs mittels In-Gleichung

$x \dots x'$ te Probefläche, sortiert nach der Verjüngungsdichte und dividiert durch die Probeflächenanzahl des Datensatzes Lf98+00, bzw. eine gleichverteilte Zufallszahl zwischen 0 und 1

In Abbildung 4.10 wurde die Verjüngungssituation eines Bestandes über 80 Jahre mit Moses simuliert. Die graphische Darstellung wurde mit Hilfe von SVS (McGaughey 1997) erstellt.

4.1.2 Höhenzuwachs

Die Koeffizienten des Höhenzuwachsmodells sind in Tabelle 4.16, 4.17, 4.18 und 4.19 zu sehen. Wenn man die Ergebnisse von Tabelle 4.16 mit denen in Golser (1997); Golser und Hasenauer (1997); Sterba u. a. (1997) vergleicht, welche übrigens alle identisch sind, fällt auf, daß andere Himmelsrichtungen signifikant in das Modell eingehen. Außerdem fällt auf, daß alle Koeffizienten, welche das Seitenlicht betreffen, hier negativ, in den früheren Artikeln positiv eingingen. Das liegt jedoch ausschließlich daran, daß ein Vorzeichen in Gleichung 2.43 auf Seite 12 positiv gesetzt wurde, um den Einfluß der eingehenden Variablen besser zu verdeutlichen. So hat eine Zunahme von OCI und RCI eine Abnahme des Höhenzuwachses zufolge, eine Zunahme des Seitenlichteinflusses jedoch eine Zunahme des selben. Dieser Unterschied ist nun schon in den Koeffizienten deutlich zu erkennen. In den oben zitierten Artikeln ist der Einfluß des Oberbestandes bei Buche am geringsten, gefolgt von Tanne und Fichte und zuletzt Kiefer. Hier ergab sich folgende Reihenfolge: Buche, Fichte, Tanne und Kiefer, wobei Fichte und Tanne sehr nahe

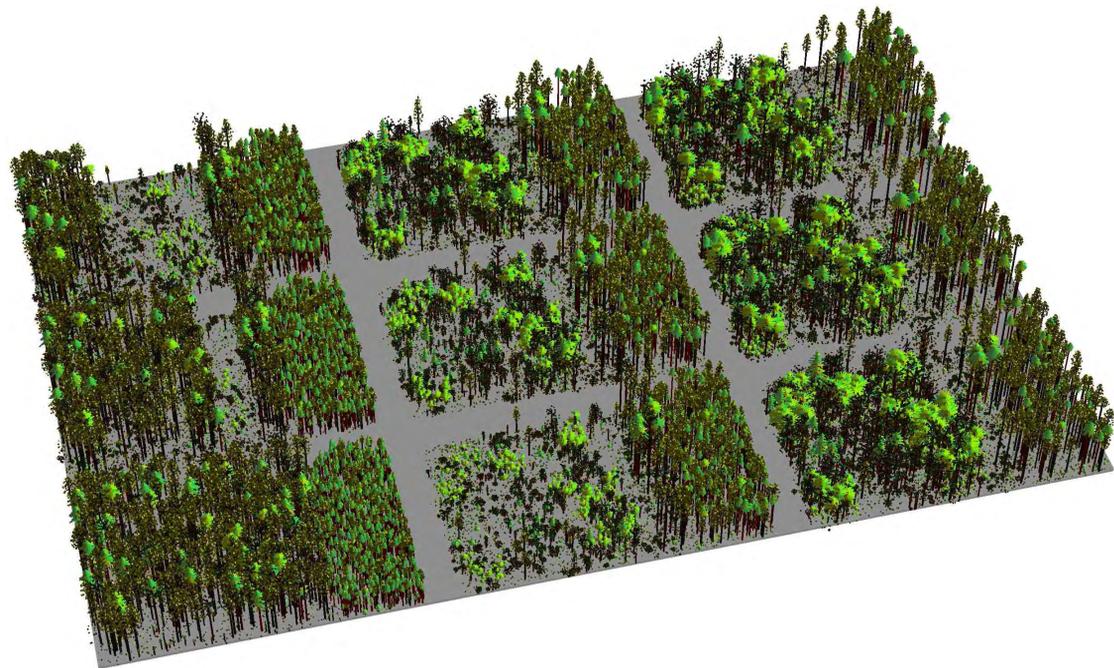


Abbildung 4.10: *Praktischer Verjüngungssimulationsdurchlauf*

In dieser Abbildung wurde das Verjüngungsmodul in Moses angewandt. Dabei ist der Zustand des Bestandes alle 10 Jahre dargestellt, wobei die zeitliche Abfolge von links vorne nach rechts hinten verläuft.

beisammen liegen, Kiefer nach wie vor recht stark auf den OCI anspricht und in etwa doppelt so empfindlich auf den OCI reagiert wie Buche. Der RCI ging damals nur bei Fichte und Buche ein. Jetzt ist Tanne vor Fichte am sensitivsten auf den RCI. Buche und Kiefer reagieren weniger stark darauf. Beim Seitenlichteinfluß reagieren Fichte, Tanne und Buche ähnlich, Kiefer weniger.

Bei der schrittweisen Vereinfachung des Höhenzuwachsmodells wurde zunächst der Seitenlichteinfluß EIL, durch den in EIL enthaltenen Wert von SUMD ersetzt. Die Ergebnisse dieses Zwischenschritts sind in Tabelle 4.17 zu sehen. In diesem Schritt haben Fichte und Tanne die Plätze getauscht hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber dem OCI. Beide liegen aber sehr knapp beisammen. Die Koeffizienten ändern sich bei Tanne mit -0.21 am stärksten, bei Kiefer mit -0.02 dagegen kaum. Der RCI verändert sich ebenfalls bei Tanne am meisten, bei Buche etwas und bei Fichte und Kiefer kaum. Der stärkste Einfluß durch Weglassen der Seitenlichtöffnungswinkel ist wie zu erwarten durch Ansteigen des Koeffizienten SUMD festzustellen, da dieser jetzt alleine den Seitenlichteinfluß beschreiben muß. Die Residuen sind durch diese Maßnahme bei Kiefer und Tanne etwas angestiegen.

Der letzte Schritt der Modellvereinfachung bestand darin, den abstandsabhängigen Oberbestandskonkurrenzindex OCI durch den abstandsunabhängigen Bestandesdichteindex CCF zu ersetzen. Gleichzeitig wurde auch der Konkurrenzindex innerhalb der Verjüngung RCI durch die Anzahl der größeren Verjüngung ausgetauscht. Dadurch bleibt die Reihenfolge des Einflusses der Oberbestandesdichte auf den Höhenzuwachs der Baumarten gleich. Der Abstand von Fichte und Tanne zu Kiefer wird jedoch kleiner. Der Einfluß der Anzahl von höherer Verjüngung auf den Höhenzuwachs ist bei Kiefer sehr gering und nicht gesichert, bei Fichte und Buche annähernd gleich und bei Tanne am größten. Die Koeffizienten von SUMD ändern sich auch geringfügig. Sie werden weniger negativ bis auf Fichte. Die Residuen erhöhen sich um 1 cm außer bei Buche, dort um 5 cm.

Zu Vergleichszwecken wurde das vereinfachte Modell auch mit den Daten des Lehrforstes der Aufnahmejahre 1998 und 2000 parametrisiert. Dabei zeigt sich, daß bei den etwas kleineren

Tabelle 4.16: Koeffizienten nach Gleichung (2.43), parametrisiert mit Vollaufnahmedaten

Variable	Koeffizient	Fichte	Buche	Kiefer	Tanne
OCI	a	1.611	1.138	2.64	1.75
RCI	b	2.27	1.05	1.04	3.24
tan(maxIL) N	c ₁	-0.168	–	-0.52	-0.208
tan(maxIL) NO	c ₂	-0.339	–	–	-0.256
tan(maxIL) O	c ₃	–	-0.28	-0.465	–
tan(maxIL) SO	c ₄	–	–	–	-0.196
tan(maxIL) S	c ₅	–	–	–	-0.45
tan(maxIL) SW	c ₆	–	-0.51	–	–
tan(maxIL) W	c ₇	–	–	–	–
tan(maxIL) NW	c ₈	–	-0.138	–	-0.292
SUMD	d	-0.046	-0.052	-0.112	-0.046
Freiheitsgrade		587	426	56	291
Standardabweichung (m)		0.16	0.29	0.11	0.18

$$\begin{aligned}
 ih &= ih_{\text{pot}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{\text{COMP}} + \text{EIL}}\right) \\
 \text{COMP} &= a \cdot \text{OCI} + b \cdot \text{RCI} \\
 \text{EIL} &= c_{1-8} \cdot \tan(\text{maxIL}) + d \cdot \text{SUMD}
 \end{aligned}$$

Tabelle 4.17: Koeffizienten nach Gleichung (2.43) wobei EIL durch SUMD ersetzt wurde, parametrisiert mit Vollaufnahmedaten

Variable	Koeffizient	Fichte	Buche	Kiefer	Tanne
OCI	a	1.583	1.147	2.62	1.54
RCI	b	2.24	0.95	1.06	3.10
SUMD	d	-0.065	-0.081	-0.143	-0.115
Freiheitsgrade		589	429	58	296
Standardabweichung (m)		0.16	0.29	0.14	0.19

$$\begin{aligned}
 ih &= ih_{\text{pot}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{\text{COMP}} + d \cdot \text{SUMD}}\right) \\
 \text{COMP} &= a \cdot \text{OCI} + b \cdot \text{RCI}
 \end{aligned}$$

Tabelle 4.18: Koeffizienten nach Gleichung (2.78), parametrisiert mit Vollaufnahmedaten

Variable	Koeffizient	Fichte	Buche	Kiefer	Tanne
CCF	a	0.039	0.0264	0.0379	0.0342
N_{hv}	b	0.74	0.87	0.06 n.g.	1.74
SUMD	d	-0.066	-0.057	-0.105	-0.091
Freiheitsgrade		586	453	59	300
Standardabweichung (m)		0.17	0.34	0.15	0.20

$$ih = ih_{\text{pot}} \cdot \left(1 - e^{\frac{-1}{\text{COMP}} + d \cdot \text{SUMD}}\right)$$

$$\text{COMP} = a \cdot \text{CCF} + b \cdot N_{vh}$$

Datenumfängen von Fichte und Tanne die Variable $N_{höher}$ nicht mehr signifikant ist und die restlichen Koeffizienten von der Vollaufnahme stärker abweichen. Bei Buche hingegen ist der Datenumfang vergleichbar mit dem der Vollaufnahme, und auch die Koeffizienten sind einander sehr ähnlich. Lediglich der Koeffizient des Seitenlichteinflusses ist etwas negativer geworden. Bei allen drei Baumarten sind jedoch die Residuen kleiner als bei der Vollaufnahme. Das mag einerseits daran liegen, daß diese Messungen zum Großteil von einem Aufnahmeteam erhoben wurden, zum anderen, daß sich die Aufnahmen nur auf zwei Aufnahmejahre verteilen, welche zeitlich nur zwei Jahre auseinander liegen und zusätzlich im selben Gebiet erhoben wurden.

Tabelle 4.19: Koeffizienten nach Gleichung (2.78), parametrisiert mit WZP-Daten

Variable	Koeffizient	Fichte	Buche	Tanne
CCF	a	0.0495	0.0261	0.0561
N_{hv}	b	-0.24 n.g.	0.85	0.93 n.g.
SUMD	d	-0.123	-0.084	-0.117
Freiheitsgrade		204	481	65
Standardabweichung (m)		0.09	0.28	0.06

In Abbildung 4.11 und 4.12 sowie in Tabelle 4.20 sind die Ergebnisse der Validierung des Höhenzuwachsmo­dells mit den Koeffizienten nach Tabelle 4.18 zu sehen. Man sieht, daß es kaum einen Bias gibt, und das die Prognoseabweichungen für Fichte und besonders für Tanne recht gering sind. Bei Buche hingegen streut die Prognose relativ stark um die Beobachtung. Ebenso verhalten sich die Korrelationen zwischen Prognose und Beobachtung. Diese sind bei Fichte und Tanne in der Nähe von 0.45, bei Buche hingegen nur bei 0.2.

4.1.3 Verbiß

In diesem Abschnitt wird der Einfluß eines vorhandenen Wilddruckes auf die Stammzahl der Verjüngung dargestellt. Dabei wird einerseits die Prädisposition einzelner Baumarten sowie der Einfluß des Standortes auf die Verbißhäufigkeit dargestellt.

Daß unterschiedliche Baumarten auch unterschiedlich dem Verbiß ausgesetzt sind, ist in Abbildung 4.13 zu sehen. Bei manchen Baumarten ist der Stichprobenumfang jedoch sehr klein, sodaß sich ihre Position in der Verbißbeliebtheit noch verschieben kann. Man sieht, daß Fichte und Lärche weitaus weniger häufig verbissen werden als Tanne und Buche und diese wiederum wesentlich weniger als etwa Ahorn, Esche und Vogelbeere. Warum nun einige Bäume weniger,

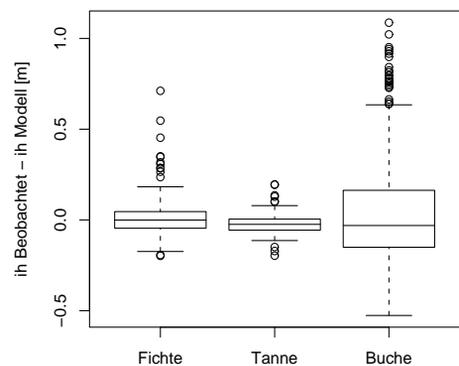


Abbildung 4.11: Funktion (2.78) mit den Parametern aus Tabelle 4.18, angewandt auf die WZP-Daten Lf9800

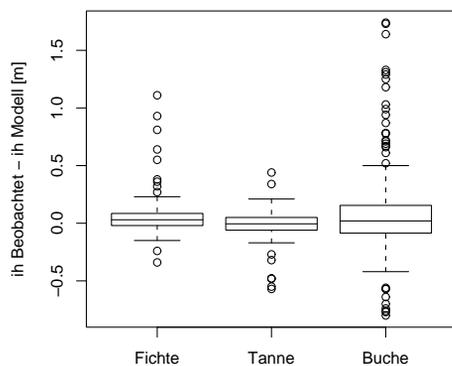


Abbildung 4.12: Funktion (2.78) mit den Parametern aus Tabelle 4.18, angewandt auf die WZP-Daten Lf02

Tabelle 4.20: Höhenzuwachsfunction (2.78), mit den Parametern aus Tabelle 4.18, angewandt auf die WZP-Daten des Lehrforstes

		Fichte	Tanne	Buche
Lf9800	n	210	72	489
	Standardabweichung [m]	0.11	0.07	0.28
	Korrelation r	0.48	0.40	0.21
Lf02	n	71	58	188
	Standardabweichung [m]	0.24	0.18	0.41
	Korrelation r	0.75	0.43	0.15

die anderen häufiger verbissen werden, kann mehrere Gründe haben. Einer davon ist aber sicher die Attraktivität der Baumart für das Wild. Außerdem ist zu sehen, daß der Verbißanteil der einzelnen Baumarten stark streut.

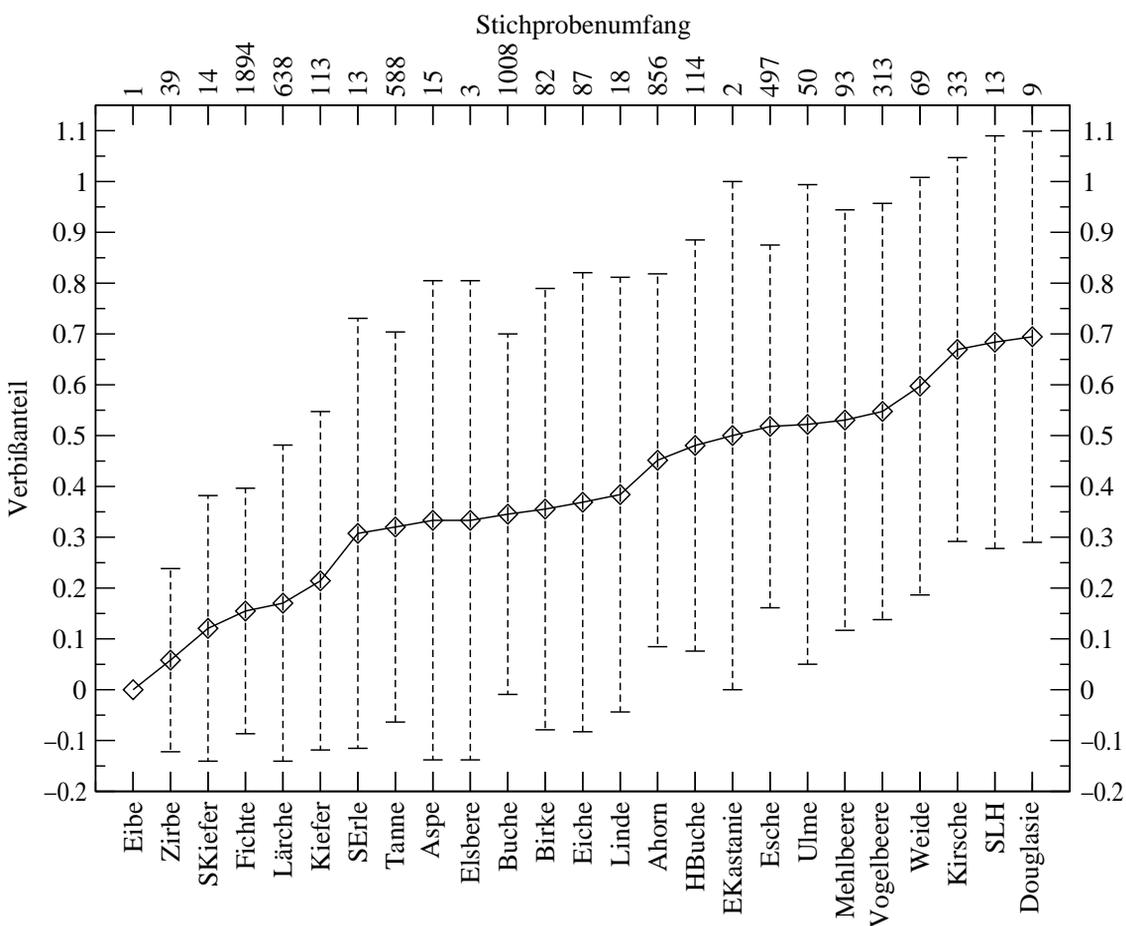


Abbildung 4.13: Verbißanteil einiger Baumarten

Aufgetragen wurde der Mittelwert und die Standardabweichung des Verbißanteils (Anzahl verbissener Leittriebe der Baumart/Gesamtanzahl der Baumart).

Wie sich nun ein gewisser Verbißdruck auf die Stammzahl einiger Baumarten auswirkt, ist in Tabelle 4.21 zu sehen. Wenn ein Verbißdruck vorhanden ist, muß dieser bei der Anzahl an neuer Verjüngung berücksichtigt werden. Dazu ist die unverbissene Anzahl mit dem Faktor aus Tabelle 4.23 zu multiplizieren. Dieser Faktor wurde folgendermaßen ermittelt. Es wurde zunächst die mittlere Stammzahl der kleinsten Höhenklasse (10 cm bis 30 cm) abhängig vom Verbißprozent berechnet. Dabei zeigte sich, daß in der Klasse ohne Verbiß nicht die höchsten Stammzahlen angetroffen wurden, sondern in jener mit 10 % Verbiß. Dies mag dadurch entstehen, daß es nur bei sehr geringen Verjüngungsdichten zu gar keinem Verbiß kommt, da diese Flächen für das Wild unattraktiv sind oder diese wenigen Bäume einfach nicht so leicht gefunden werden bzw. die Wahrscheinlichkeit, daß kein Baum in einer Aufnahme mit wenigen Individuen verbissen ist, relativ höher liegt als bei einer Aufnahme mit vielen Bäumen. Da eine Stammzahlzunahme aufgrund von Verbiß ausgeschlossen wird, wurde für die Baumart Bergahorn die durchschnittliche Stammzahl für die Klassen 10 %, 30 %, und 50 % gemeinsam berechnet und diese dann als maximal mögliche angesehen. Bei Buche wurde für den Bereich 10 % bis 50 % eine lineare Regression gerechnet und mit dieser die Stammzahlabnahme im Bereich 0 % bis 50 % berechnet. Für Fichte wurde eine lineare Regression im Bereich 30 % bis 100 % berechnet und damit die Stammzahlen

in diesen Klassen bestimmt. Bei Tanne wurde die Klassen 10 % und 30 % sowie die Klassen 50 % und 70 % zusammengefaßt. Die Werte bei 0 % wurden sinngemäß ergänzt. Dadurch kann ein Wilddruck auf die Anzahl neu verjüngter Bäume berücksichtigt werden. Welchen Einfluß jedoch der Verbiß auf die Mortalität und den Höhenzuwachs der Bäume hat, kann auf diese Weise nicht ermittelt werden, da sich die Aufnahmen nicht über einen weiten Zeitraum erstrecken und der Verbißdruck über die Jahre nicht als konstant angenommen werden kann.

Tabelle 4.21: Median der Stammzahlen bei entsprechendem Verbißprozent in der Höhenklasse bis 30 cm

Verbißanteil	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1
Bergahorn	5570	9549	10350	12330	8754	8356	4775
Birke	7162	—	—	5570	6366	—	7162
Buche	8754	14720	11140	13530	7560	7162	5570
Eiche	5969	—	12730	9549	12730	—	—
Esche	6366	11540	12730	13530	20290	11540	7958
Fichte	8754	10350	7162	7560	6366	14320	4775
Hainbuche	4775	10350	62070	28650	8754	—	9151
WKiefer	6765	—	4775	4775	4775	—	—
Lärche	4775	6366	7958	4775	7560	—	4775
Linde	4775	22680	3979	—	—	—	—
Mehlbeere	5173	5570	15120	11940	7162	37400	—
Ulme	3979	—	3979	3979	—	—	—
SKiefer	—	—	4775	—	—	—	—
Tanne	6366	9549	11540	6366	7162	5570	4775
Vogelbeere	4377	5570	6366	10740	7162	9549	6764
Weide	—	6366	8754	6366	4377	8754	—
Zirbe	5570	—	—	—	—	—	—

Angegeben wird die Stammzahl je ha. In der Aufnahme mußten mindestens fünf Bäume aufgenommen werden, was einer Stammzahl von 3979 je ha entspricht. Es ist zu beachten, daß diese Werte aufgrund des Stichprobenumfangs noch beträchtlich schwanken können (siehe Tabelle 4.22)

In Abbildung 4.14 und 4.15 ist die Verbißsituation in verschiedenen Betrieben dargestellt. So wird oft das Argument gebracht, daß es nicht so entscheidend ist, ob viel oder wenig verbissen ist, sondern wieviel nicht verbissen ist, sodaß das Betriebsziel erreicht werden kann. Und tatsächlich ist beispielsweise im Betrieb 112 eine hohe Anzahl verbissen, aber dennoch ist die Anzahl der nichtverbissenen Bäume ebenfalls sehr hoch. Bei Betrieb 113 ist hingegen die Anzahl der Verbissenen im unteren Bereich. Allerdings gib es dort auch recht wenig unverbissene Verjüngung. Im Schnitt nur etwa 1 Pflanze je 4 m². Auch beim Verbißanteil liegt dieser Betrieb bei jenen wo prozentuell am meisten verbissen wurde. Nun kann es ja sein, daß ein Betrieb nur deshalb so hohe Verbißanteile hat, weil sich bei ihm vermehrt jene Baumarten verjüngen, welche bevorzugt verbissen werden. Daher wurde der Verbißanteil der Betriebe auch noch hinsichtlich der Baumarten Fichte, Buche und Tanne untersucht. Auch bei dieser Betrachtung liegt Betrieb Nr. 113 stets im Spitzenfeld. Auch Betrieb 112 liegt bei Fichte bei den stärker verbissenen Betrieben, bei Buche und Tanne hingegen bei den eher weniger stark verbissenen. Wie dies erreicht wurde ist den Daten nicht zu entnehmen.

Der Einfluß der Höhenlage auf den Verbiß von Fichte, Buche und Tanne ist in Abbildung 4.16 zu sehen. So nimmt das Verbißprozent bei Fichte mit der Höhenlage zu, was dadurch zu erklären wäre, daß sich auch mit der Höhenlage ihr Anteil an der Gesamtverjüngung steigert und das Wild weniger Selektiermöglichkeiten vorfindet. Bei Buche nimmt das Verbißprozent ab 1000 m sprunghaft zu und bei Tanne ist eher ein leichtes Abnehmen des Verbisses mit der Höhenlage festzustellen.

In Abbildung 4.17 ist das Verbißprozent von Fichte, Tanne und Buche bei unterschiedlichen Vegetationstypen dargestellt. Dabei ist ein sehr starker Unterschied zwischen den einzelnen Vegetationstypen feststellbar. Allerdings ist dabei zu beachten, daß der Stichprobenumfang bei ein-

Tabelle 4.22: Stichprobenumfang zur Berechnung der Stammzahlen bei entsprechendem Verbißprozent in der Höhenklasse bis 30 cm

Verbißprozent	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1
Bergahorn	47	63	84	82	51	24	13
Birke	4	0	0	1	1	0	1
Buche	91	112	90	47	22	14	7
Eiche	4	0	1	1	1	0	0
Esche	16	30	49	48	32	12	9
Fichte	310	169	72	24	5	1	1
Hainbuche	6	9	8	7	3	0	6
WKiefer	2	0	2	1	1	0	0
Lärche	18	17	3	5	2	0	1
Linde	1	2	1	0	0	0	0
Mehlbeere	2	3	2	2	1	2	0
Ulme	2	0	1	1	0	0	0
SKiefer	0	0	1	0	0	0	0
Tanne	31	28	24	14	12	3	4
Vogelbeere	2	7	7	8	4	5	6
Weide	0	1	1	1	4	1	0
Zirbe	9	0	0	0	0	0	0

Tabelle 4.23: Stammzahlverminderung durch Verbiß in der Höhenklasse bis 30 cm

Verbißprozent	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1
Bergahorn	1	1	1	1	0.85	0.81	0.46
Buche	1	0.96	0.89	0.81	0.52	0.49	0.38
Fichte	1	1	0.70	0.68	0.67	0.65	0.64
Tanne	1	1	1	0.65	0.65	0.54	0.46

Die Stammzahl der unverbissenen neuen Verjüngung muß mit dem jeweiligen Faktor des entsprechenden Verbißprozents multipliziert werden, um die tatsächliche Anzahl an unverbissenen zu erhalten, wobei das Verbißprozent für die entsprechende Baumart einzeln bestimmt wird.

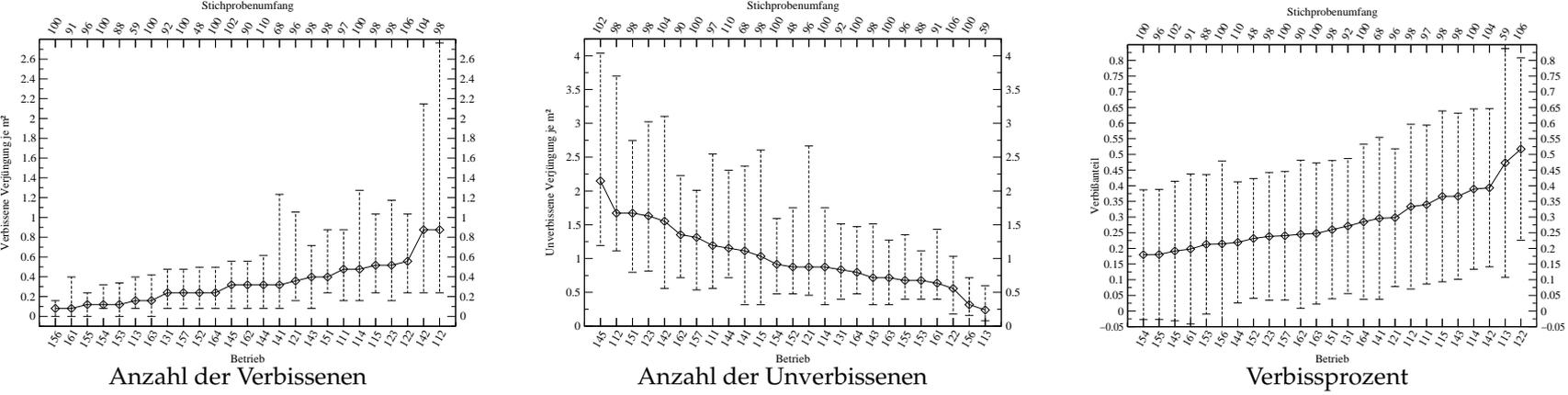


Abbildung 4.14: Verbiß in verschiedenen Betrieben ohne Berücksichtigung der Baumart

Bei den Anzahlen ist die 25, 50 und 75 Perzentile aufgetragen, bei dem Verbißanteil der Mittelwert und die Standardabweichung.

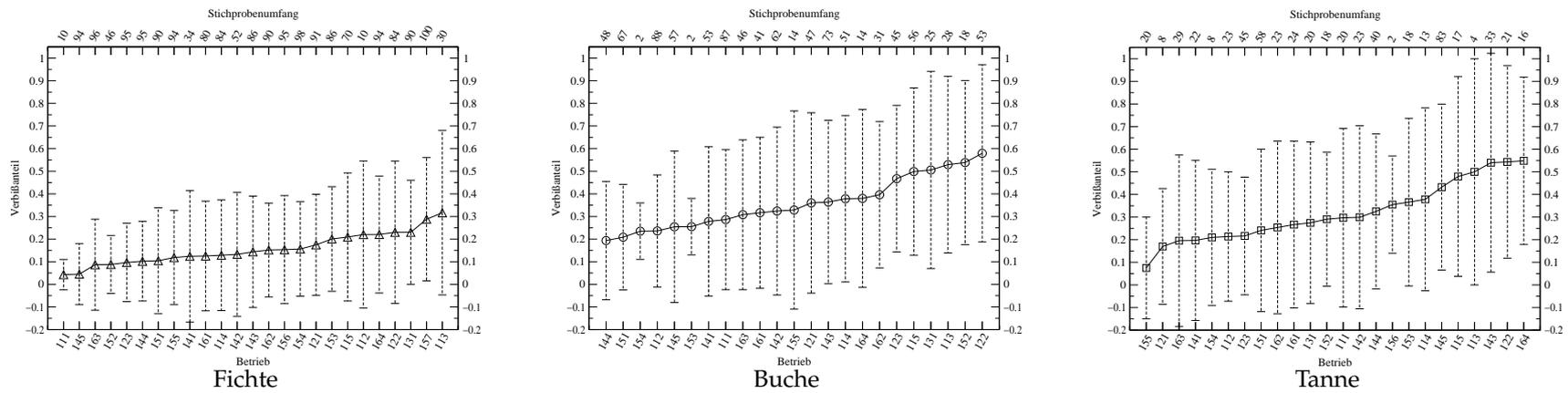


Abbildung 4.15: Verbißprozent in verschiedenen Betrieben mit Berücksichtigung der Baumart

Aufgetragen wurde der Mittelwert und die Standardabweichung

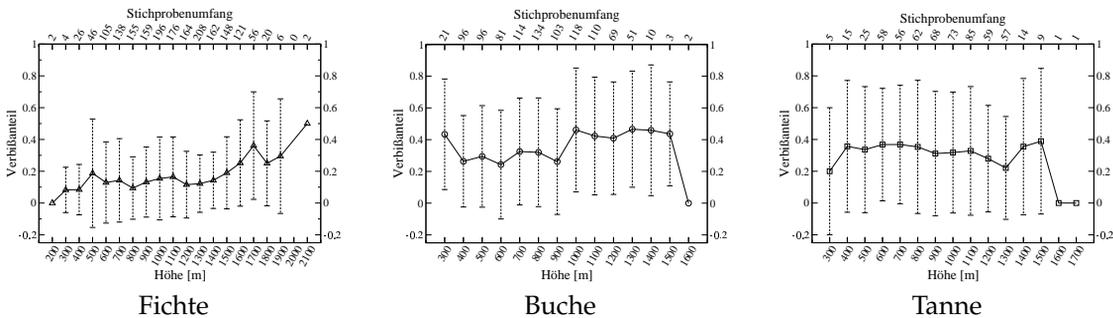


Abbildung 4.16: Verbissprozent in verschiedenen Seehöhen für Fichte, Buche und Tanne

Aufgetragen wurde der Mittelwert und die Standardabweichung

zelen Vegetationstypen recht klein ist.

So wie auch beim Vegetationstyp ist auf unterschiedlichen Standortseinheiten mit verschiedenen Verbißbelastungen zu rechnen. Dies ist auch in Abbildung 4.18 zu sehen. Beispielsweise ist für Buche auf frischen Flyschhangstandorten mit einem Verbiß von etwas mehr als 20 % zu rechnen. Bei Standorten auf schwach bis mittelgründigen mäßig frischen oder skelettreichen Karbonatstandorten ist hingegen mit etwa 40 % Verbiß zu rechnen.

In Abbildung 4.19 ist der Einfluß des Baumartenanteils auf deren Verbißprozent dargestellt. Diese Kurven wurden mittels lokaler Regression berechnet. Bei Fichte ist kaum ein Einfluß auf deren Verbißprozent aufgrund deren Baumartenanteils zu beobachten. Lediglich bei nahezu 100 % Fichtenanteil steigt auch ihr Verbißprozent ein wenig an. Bei Buche ist ein richtiges „Optimum“ für deren Verbiß im Bereich um 40 % Baumartenanteil festzustellen. Bei geringeren sowie bei größeren Baumartenanteilen geht ihr Verbißanteil zurück. Bei sehr hohen Baumartenanteilen steigt jedoch wieder der Verbißgrad. Bei der Tanne ist der Verbißanteil bei geringen Baumartenanteilen etwas geringer, um dann bis zu einem Baumartenanteil von 40 % leicht anzusteigen. Dabei bleibt der Verbißgrad in etwa gleich.

Zuguterletzt wurde noch untersucht, ob eine Schutzmaßnahme einen Einfluß auf den Verbißanteil einzelner Baumarten hat. In Abbildung 4.20 ist der Verbißanteil bei unterschiedlichen Schutzgraden der Verjüngung dargestellt. Darin ist zu sehen, daß bei Fichte und Buche zwischen den Schutzgraden 0, 1 und 2 kaum ein Unterschied im Verbißgrad besteht. Lediglich bei hohem Schutz steigt der Verbißanteil stärker an, allerdings ist in dieser Klasse der Stichprobenumfang recht gering. Auch bei Tanne nimmt die Anzahl der stärker geschützten Flächen stark ab. Aber auch hier ist zu beobachten, daß der Verbißanteil bei den stark geschützten Flächen höher ist als auf den weniger stark geschützten.

4.2 Bestandesstruktur

In diesem Abschnitt werden die berechneten Strukturkennwerte der ausgewerteten Probeflächen dargestellt. Diese Kennwerte und beobachteten Beziehungen können in Folge dazu verwendet werden, um Baumkoordinaten zu erzeugen, welche bestimmte Bestandesstrukturen aufweisen.

4.2.1 BHD und Abstand zwischen zwei Bäumen

Die Ergebnisse des Abstandes zum nächsten Nachbarn, eingesetzt in Gleichung 2.97 auf Seite 26, wobei Gleichung 2.80 auf Seite 21 zur Mittelbildung verwendet wurde, sind in Tabelle 4.24 wiedergegeben. Die Koeffizienten von Tabelle 4.24 wurden folgenderweise berechnet. Zunächst wurde der mittlere Abstand der untersuchten Baumart zum nächsten Baum je Bestand nach Gleichung (2.80) bestimmt. Nachdem nun der mittlere Abstand bekannt ist, wird der mittlere BHD der beiden Baumarten durch Aufsummieren aller BHD's der Baumart des Bestandes und Dividieren durch deren Anzahl (arithmetisches Mittel) bestimmt. Danach wurde für jeden Baum

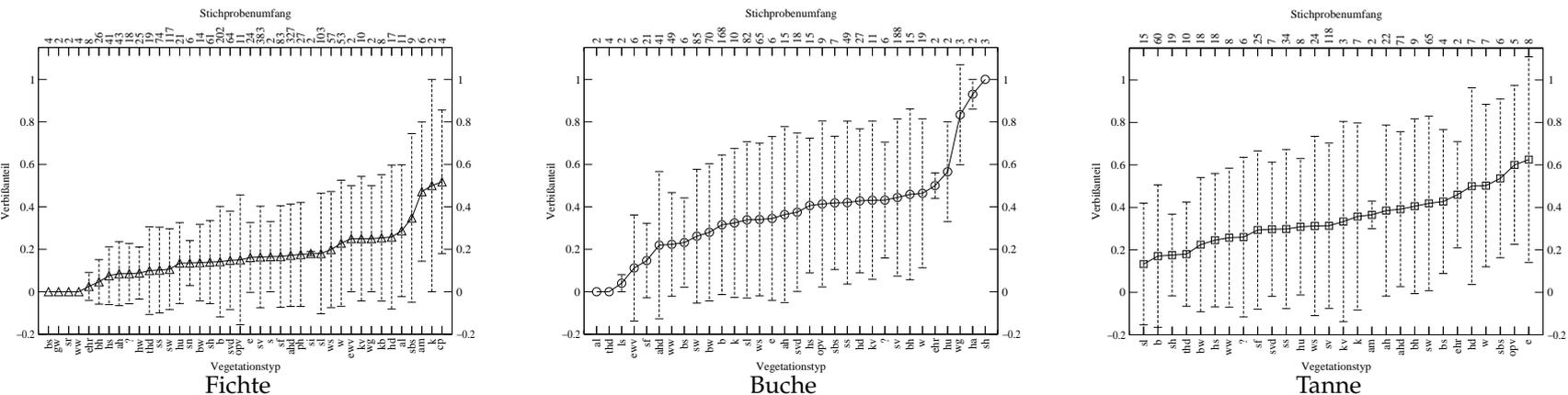


Abbildung 4.17: Verbissprozent bei verschiedenen Vegetationstypen für Fichte, Buche und Tanne

Aufgetragen wurde der Mittelwert und die Standardabweichung

? Nicht angesprochen
ah Astmoos-Heidelbeer-Typ
ahd Astmoos-Heidebeere-Drahtschmiele-Typ
al Alpenrosen-Latschen-Typ
am Anmoor-Typ
b Binglekraut-Typ
bh Binglekraut, Heidelbeer-Typ
bs Bergschwingel-Sauerklee-Typ
bw Bergschwingel-Waldmeister-Typ
cp Calluna-Preiselbeere-Typ
e Erika-Blaugras-Typ
ehr Erika-Heidelbeer, Rohhumus-Typ
ewv Erweiterter Weide- oder Verlichtungs-Typ
gw Unbekannt

ha Heidelbeer-Adlerfarn-Typ
hd Hainsimse-Drahtschmiele-Typ
hs Hainsalat, Sanikel-Typ
hu Hochstauden Unterhang-Typ
hw Heidelbeere-Wucher-Typ
k Schattenkräuter-Typ
kb Kalkbeeinflussung-Typ
kv Keine Vegetation
ls Leberblümchen-Sanikel-Typ
opv Sauerklee-Harmützenmoos-Typ
ph Preiselbeer-Heidelbeer-Typ
s Seegras-Typ
sbs Schneerosse, Binglekraut, Sauerklee-Typ
sf Sauerklee-Farn-Typ

sh Sauerklee-Heidelbeer-Typ
si Sickerrasen-Typ
sl Schneerosen-Leberblümchen-Typ
sn Süßwasser-Naßgallen-Typ
sr Schwemmböden, Rutschflächen (Grauerlen)-Typ
ss Sauerklee-Schattenblümchen-Typ
sv Schlagvegetation
svd Schlagvegetation dämmend
sw Sauerklee-Waldschaumkraut-Typ
thd Torfmoos-Heidelbeer-Drahtschmiele-Typ
w Weidewiesen
wg Waldmeister-Goldnessel-Typ
ws Waldmeister, Sanikel-Typ
ww Wimpersegge-Waldmeister-Typ

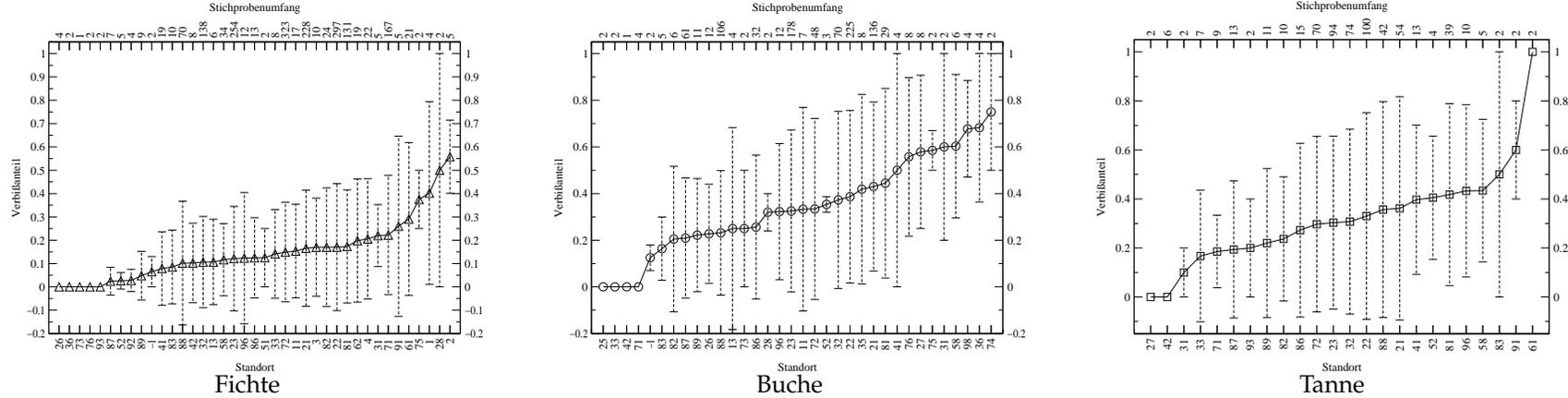


Abbildung 4.18: Verblissprozent bei verschiedenen Standortseinheiten für Fichte, Buche und Tanne
Aufgetragen wurde der Mittelwert und die Standardabweichung

I Standortseinheiten auf Kalk (WiWa = Wienerwald)

- 11 Feinerdearmer Rendzinastandort
- 13 Felssteilhangstandort
- 21 Schwach mittelgründiger, mäßig frischer Karbonatstandort
- 22 Mittelgründiger skelettreicher Karbonatstandort
- 23 Mittelgründiger mäßig feinerdereicher Karbonatstandort
- 25 Mäßig trockener, schwach mittelgründiger Rendzinastandort (nur WiWa)
- 26 Mäßig frischer, mittelgründiger Rendzinastandort (nur WiWa)
- 27 Mäßig frischer bis frischer, mäßig feinerdereicher Karbonatstandort (nur WiWa)
- 28 Mäßig frischer, tonreicher Karbonatstandort in warmer Lage (nur WiWa)
- 31 Tiefgründiger, humusreicher Karbonatstandort
- 32 Tiefgründiger, skelettreicher und tonreicher Karbonatstandort
- 33 Tiefgründiger, tonreicher, skelettarmer Karbonatstandort
- 34 Mäßig frischer, feinerdereicher Karbonatstandort (nur WiWa)
- 35 (III/5 Mäßig frischer, tonreicher Karbonatstandort (nur WiWa)
- 36 Frischer, feinerdereicher Karbonatstandort (nur WiWa)
- 41 Tiefgründiger, skelettarmer, tonreicher, im Oberboden kalkarmer Standort
- 42 Tiefgründiger Standort mit Kieselskelett
- 51 Vernäßter, tonreicher, wasserzügiger Standort
- 52 Vernäßter anmooriger Standort
- 58 Karrenstandort
- II Standortseinheiten auf Silikat**
- 61 Nährstoffarmer, mäßig gründiger Standort
- 62 Felssteilhang- und Blockhaldenstandort
- 71 Mäßig nährstoffreicher, mäßig frischer Hangstandort

- 72 Mäßig nährstoffreicher, frischer Hangstandort
- 73 Mäßig frischer, saurer Standort in sommerwarmen Gebieten
- 74 Mäßig frischer, saurer Standort in sommerwarmen Oberhanglagen
- 75 Mäßig frischer, skelettreicher Standort über Schotter
- 81 Frischer nährstoffreicher Braunerdestandort
- 82 Sehr frischer Unterhangstandort
- 83 Frischer, skelettreicher Braunerdestandort in schattseitiger Lage in sommerwarmen Gebieten
- 91 Verebnungslage mit Wasserstautendenz
- 92 Mäßig frischer Staublehmstandort
- 93 Frischer Staublehmstandort
- 01 Vernäßter, wasserzügiger Standort
- 02 Anmooriger Standort
- 03 Grabenwaldstandort mit Rutschendenz
- 04 Kalkbeeinflußter Standort
- III Standortseinheiten auf Flysch**
- 76 Mäßig frischer saurer Oberhangstandort
- 86 Frischer, sandreicher Hangstandort
- 87 Frischer, sonnseitiger Hangstandort (nur WiWa)
- 88 Hangstandort
- 89 Sehr frischer schattseitiger Hangstandort
- 96 Sehr frischer tonreicher Verebnungsstandort
- 98 Sehr frischer, sandreicher Verebnungsstandort (nur WiWa)
- 1 Standort nicht angesprochen

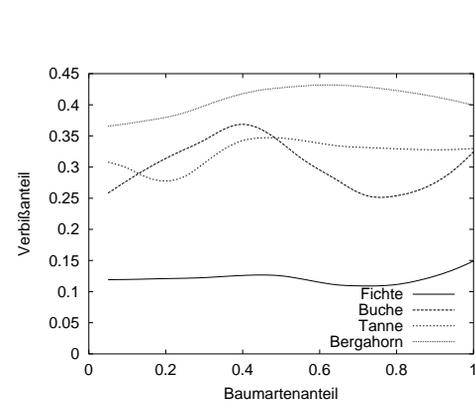


Abbildung 4.19: Einfluß des Baumartenanteils auf das Verbißprozent der Bäume unter 30 cm.

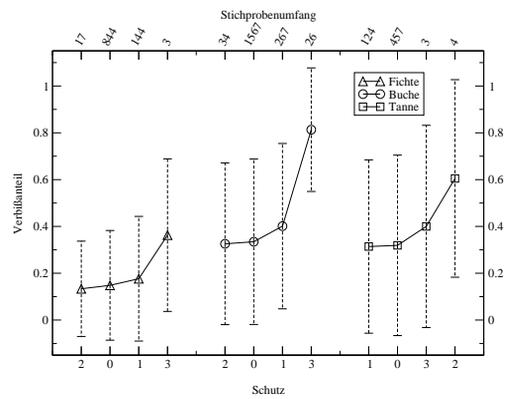


Abbildung 4.20: Verbißanteil für Fichte, Buche und Tanne bei unterschiedlicher Schutzintensität

0... Kein Schutz, 1... 1/3 geschützt, 2... 2/3 geschützt, 3... alle geschützt

je Baumart der nächste Nachbar gesucht. Mit diesen Werten wurde nun Koeffizient a in Gleichung (2.97) mittels linearer Regression bestimmt. Der erwartete Abstand berechnet sich dann nach Gleichung (4.3).

$$d_{E_1} = a \cdot (bhd_i + bhd_{i,1} - \overline{bhd}_{ba_i} - \overline{bhd}_{ba_{i,1}}) + \bar{r}_E \cdot R \quad (4.3)$$

- a Koeffizient aus Tabelle 4.24
- d_{E_1} Erwarteter Abstand zum nächsten Nachbarn
- bhd_i ... BHD des untersuchten Baumes
- $bhd_{i,1}$.. Erster Nachbar des untersuchten Baumes
- \overline{bhd}_{ba_i} .. Mittlerer BHD der Baumart des untersuchten Baumes
- $\overline{bhd}_{ba_{i,1}}$.. Mittlerer BHD der Baumart des nächsten Nachbarn des untersuchten Baumes
- \bar{r}_E Erwarteter Abstand nach Gleichung (2.81)
- R Clark & Evans Strukturindex nach Gleichung (2.82)

Wie zu sehen ist, muß bei der Berechnung des erwarteten Abstandes auch die Bestandesstruktur berücksichtigt werden. So wird zunächst der erwartete Abstand bei Zufallsverteilung so korrigiert, daß er der gewünschten Verteilung dieser beiden Baumarten entspricht (z. B. geklumpt oder gleichmäßig). Dieser korrigierte Wert wird dann noch um den Einfluß des BHD's der beiden Bäume verändert. Auf diese Weise können jedoch auch negative Abstände berechnet werden.

Die Koeffizienten in Tabelle 4.24 sind somit ein Weiser dafür, welchen Einfluß der BHD auf den Abstand der Bäume hat. Diese Tabelle sollte theoretisch symmetrisch aufgebaut sein. Es dürfte also keinen Unterschied machen, ob die eine Baumart im Zentrum steht und die andere der nächste Nachbar ist oder umgekehrt. Tatsächlich muß dies jedoch nicht so sein, da der nächste Nachbar eines Baumes nicht gleichzeitig auch deren nächster Nachbar sein muß. So ergibt sich ein Faktor von 0.071, wenn der nächste Nachbar einer Eiche eine Linde ist, umgekehrt ergibt sich ein Faktor von 0.072. Bei der Nachbarschaft Rotbuche-Weißkiefer ergibt sich ein Wert von 0.034 umgekehrt von 0.016. Hierbei ist zu beachten, daß der Stichprobenumfang nur 37 Bäume umfaßt und diese Baumartenkombination auf 11 bzw. 15 Probeflächen angetroffen wurde. Die Stichprobenumfänge sind in Tabelle 3.9 und 3.10 abzulesen. Es ist auch zu sehen, daß der BHD bei Fichte, Tanne, Weißkiefer, Zirbe und Stieleiche einen geringeren Einfluß hat, als etwa bei Buche, Lärche, Japanlärche und Eiche. Dieser Koeffizient kann jedoch nicht nur von den natürlichen Eigenschaften einer Baumart beeinflusst werden. Weiteren Einfluß hat die Durchforstungsart auf den Koeffizienten der Bestandesstruktur. Die Bestandesstruktur wird ebenfalls zur Bestimmung des erwarteten Baumabstandes verwendet. Um eine Vorstellung von den in den untersuchten Beständen beobachteten Indizes zu bekommen, betrachte man Tabelle 4.26. Hier sind bei den Maximalwerten Zahlen weit über den in Abschnitt 2.3.1 beschriebenen 2.1419 des Clark und Evans

Tabelle 4.24: Koeffizienten zur Beschreibung der BHD–Abhängigkeit des Abstandes zwischen zwei Bäumen

Die Bestandesstruktur wurde nach Clark&Evans berücksichtigt.

	Baumart des Nachbarn														
	Fi	Ta	WKi	Lä	Zi	JLä	RBu	Ei	Es	Ah	Li	HBu	SoLh	SEi	TEi
Fi	.016	0	.024	.026	.013	–	.014	0	0	.012	–	.046	0	–	0
Ta	.004	.012	0	–	–	–	.006	0	0	0	–	–	0	–	–
WKi	.019	0	.013	0	–	–	.016	0	0	–	–	–	0	–	–
Lä	.025	0	0	.026	0	–	0	.119	.028	0	0	0	0	–	–
Zi	.015	–	–	.041	.015	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
JLä	–	–	–	–	–	.029	–	–	–	–	–	–	–	–	–
RBu	.016	.005	.034	0	–	–	.020	.012	0	0	0	0	0	0	0
Ei	0	0	0	0	–	–	0	.036	–	0	.071	0	0	–	–
Es	0	0	0	0	–	–	0	0	0	–	–	0	–	0	–
Ah	0	0	–	0	–	–	0	0	–	0	–	0	–	–	0
Li	–	–	–	0	–	–	0	.072	–	–	0	0	–	0	–
HBu	0	–	–	0	–	–	0	0	0	–	0	0	–	0	0
SoLh	0	.065	0	0	–	–	0	–	–	–	–	0	0	–	–
SEi	–	–	–	–	–	–	0	–	0	–	.018	0	–	.013	–
TEi	0	–	–	–	–	–	0	–	–	0	–	0	–	–	0

Koeffizient a in Gleichung (2.97 auf Seite 26) berechnet mit BHD in cm und Abstand in m. Angegeben sind nur mit 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit von 0 verschiedene Werte.

Fi... Fichte, Ta... Tanne, WKi... Weißkiefer, Lä... Lärche, Zi... Zirbe, JLä... Japanlärche, RBu... Rotbuche, Ei... Eiche, Es... Esche, Ah... Ahorn, Li... Linde, HBu... Hainbuche, SoLh... Sonstiges Laubholz, SEi... Stieleiche, TEi... Traubeneiche

Wertes abzulesen. Dies „passiert“ deshalb, da sich der erwartete Abstand aus allen Bäumen der Baumart des Bestandes berechnet, der beobachtete Abstand wurde jedoch nur dann verwendet, wenn dieser näher war als der Abstand zum nächsten Bestandesrand. Außerdem ist die Form der Probestflächen teilweise in die Länge gestreckt, was ebenfalls zu höheren Werten als 2.1419 führt. Man sieht, daß die meisten Baumarten eine Tendenz zur Regelmäßigkeit zeigen. Nur Buche, Linde, Hainbuche und sonstiges Laubholz zeigen diese Tendenz nicht.

Der erwartete Abstand zum nächsten Nachbarn kann jedoch auch nach Gleichung 2.85 auf Seite 22 berechnet werden. Der erwartete Abstand muß dann entsprechend nach Gleichung 2.86 auf Seite 22 berechnet werden. Außerdem muß der Koeffizient a der Gleichung (4.3) aus Tabelle 4.25 entnommen werden. Zusätzlich muß der Index R mit den Werten aus Gleichung (2.85) und Gleichung (2.86) mit Gleichung (2.82) gerechnet werden. Auch hier hat der BHD von Lärche, Japanlärche und Hainbuche einen größeren Einfluß auf den Abstand als etwa bei Fichte, Tanne und Weißkiefer. Weiters waren drei Werte signifikant negativ, und zwar bei Rotbuche–Traubeneiche, Ahorn–Tanne und Ahorn–Rotbuche. Dies hätte zur Folge, daß diese Bäume mit Zunahme des BHD's näher beieinander stehen, was unplausibel erscheint. Deshalb wurden diese Werte auf 0 gesetzt.

Neben dem nächsten Nachbarn kann auch der Nachbar betrachtet werden, welcher am nächststärksten erscheint. Daß ist jener, bei dem das Verhältnis BHD/Abstand am größten ist. Da sich dieser Abstand zum einen aus der Bestandesstruktur zum anderen aus dem BHD des nächsten Nachbarn ergibt, bleibt eigentlich nur mehr eine zufällige Reststreuung des Abstandes zwischen zwei Bäumen. Um dies zu bestätigen, wurde versucht, einen zusätzlichen Einfluß des BHD's auf den Abstand mittels Gleichung 2.98 auf Seite 26 zu ermitteln. Der Koeffizient a war in manchen Fällen sogar signifikant, das Bestimmtheitsmaß der Regression war jedoch in der Regel unter 5%. Der Zusammenhang wurde exemplarisch für Fichte in Abbildung 4.21 und für Buche in Abbildung 4.22 dargestellt. Dabei ist ebenfalls keine Abhängigkeit des Abstandes zwischen den Bäumen vom BHD zu beobachten.

Einen Einfluß auf den Abstand zwischen den Bäumen hat die Bestandesstruktur. Diese ist natürlich in jedem Bestand unterschiedlich. Um eine Vorstellung über den Bereich dieses Struk-

Tabelle 4.25: Abhängigkeit des Abstandes zwischen zwei Bäumen nach Prodan

	Baumart des Nachbarn														
	Fi	Ta	WKi	Lä	Zi	JLä	RBu	Ei	Es	Ah	Li	HBu	SoLh	SEi	TEi
Fi	.018	.007	.019	.024	0	–	.013	0	0	.011	–	.046	0	–	0
Ta	.013	.016	0	–	–	–	.006	0	0	0	–	–	0	–	–
WKi	.017	0	.021	0	–	–	.024	0	0	–	–	–	0	–	–
Lä	.022	0	0	.050	0	–	0	0	0	0	0	0	0	–	–
Zi	0	–	–	0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
JLä	–	–	–	–	–	.025	–	–	–	–	–	–	–	–	–
RBu	.014	.006	.023	0	–	–	.026	0	0	0	0	0	0	0	0 ^a
Ei	0	0	0	0	–	–	0	.030	–	0	0	0	0	–	–
Es	0	0	0	0	–	–	0	0	0	–	–	0	–	0	–
Ah	.017	0 ^b	–	0	–	–	0 ^c	0	–	0	–	0	–	–	0
Li	–	–	–	0	–	–	0	0	–	–	0	0	–	0	–
HBu	0	–	–	0	–	–	0	0	–	0	.028	–	–	0	.053
SoLh	.014	0	0	0	–	–	0	–	–	–	–	0	0	–	–
SEi	–	–	–	–	–	–	0	–	0	–	0	0	–	.022	–
TEi	0	–	–	–	–	–	0	–	–	0	–	0	–	–	.057

0^a ... – 0.028, 0^b ... – 0.014, 0^c ... – 0.035,

Tabelle 4.26: Bereich des berechneten Clark & Evans und Prodanindexes der einzelnen Probeflächen

Ba	Clark & Evans						Prodan					
	Min	25%	Med	\bar{x}	75%	Max	Min	25%	Med	\bar{x}	75%	Max
Fi	0.54	0.95	1.11	1.33	1.36	11.09	0.48	0.95	1.06	1.34	1.32	13.39
Ta	0.60	0.95	1.16	1.86	1.64	11.41	0.56	0.95	1.12	1.85	1.55	11.50
WKi	0.39	0.93	1.11	1.20	1.28	3.78	0.34	0.94	1.06	1.16	1.24	3.39
Lä	0.26	0.87	1.14	1.77	1.76	6.83	0.23	0.79	1.07	1.63	1.77	6.01
Zi	1.08	1.10	1.15	1.22	1.36	1.43	1.02	1.05	1.13	1.15	1.24	1.31
JLä	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
RBu	0.25	0.84	1.00	1.001	1.14	2.02	0.23	0.88	1.00	1.04	1.14	3.35
Ei	0.20	0.85	1.09	1.02	1.20	1.43	0.18	0.80	1.02	0.94	1.12	1.34
Es	0.44	0.95	1.28	1.22	1.45	1.92	0.39	0.87	1.18	1.11	1.32	1.70
Ah	0.69	0.88	1.12	1.09	1.28	1.78	0.74	0.83	1.08	1.04	1.21	1.57
Li	0.82	0.92	1.02	1.06	1.10	1.54	0.73	0.90	0.98	0.99	1.04	1.36
HBu	0.47	0.86	1.01	0.98	1.06	1.54	0.42	0.86	0.96	0.93	1.03	1.36
SoLh	0.11	0.61	0.81	1.01	1.19	2.95	0.10	0.66	0.84	1.02	1.06	3.25
SEi	0.59	1.04	1.20	1.14	1.27	1.50	0.53	0.99	1.13	1.05	1.15	1.36
TEi	0.92	1.01	1.16	1.16	1.22	1.55	0.90	1.04	1.12	1.10	1.17	1.40
Alle	0.75	0.97	1.09	1.10	1.21	1.78	0.80	0.97	1.06	1.11	1.17	1.90

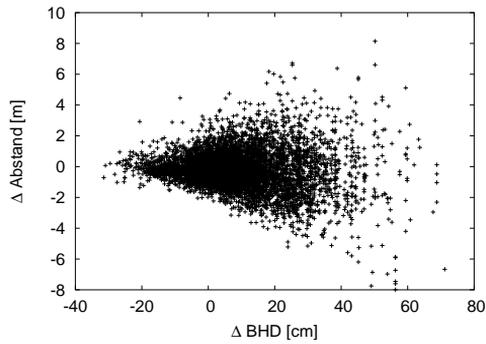


Abbildung 4.21: Abhängigkeit des Abstandes zum nächststärksten Nachbarn von dessen BHD bei einer Nachbarschaft von Fichte zu Fichte

$\Delta BHD = BHD_i - \overline{BHD}_{ba_i}$, $\Delta Abstand = d_b - d_e \cdot \frac{\bar{d}_b}{d_e}$, (siehe auch Gleichung (2.97) und Gleichung (2.98) auf Seite 26.).

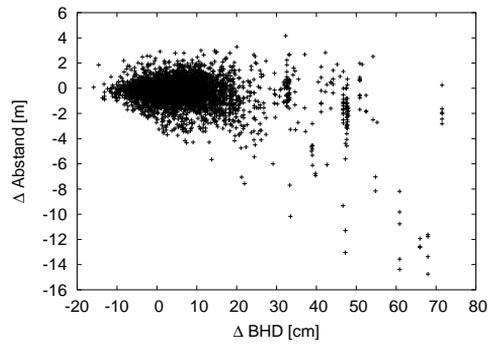


Abbildung 4.22: Abhängigkeit des Abstandes zum nächststärksten Nachbarn von dessen BHD bei einer Nachbarschaft von Buche zu Buche

turfaktors \bar{r}_a/\bar{r}_e in den verwendeten Beständen zu bekommen, ist dieser in Tabelle 4.27 wiedergegeben. Dabei ist eine Trennung hinsichtlich einzelner Baumarten unternommen worden. Auch hier ist zu beobachten, daß die Abstände der Bäume zur Regelmäßigkeit neigen. Extrem hohe Werte entstehen auch hier aus denselben Gründen wie beim Abstand zum nächsten Nachbarn. In Tabelle 3.11 sind die Anzahl der Einzelbaumbesichtungen dargestellt und in Tabelle 3.12 ist die Anzahl der Probestellen, auf welchen diese Baumartenkombinationen vorkamen, wiedergegeben.

Tabelle 4.27: Bereich des berechneten ra/re der WZP der einzelnen Probestellen

Ba	Min	25%	Med	\bar{x}	75%	Max
Fi	0.46	0.98	1.13	1.33	1.38	8.86
Ta	0.39	1.02	1.17	2.18	1.90	26.51
WKi	0.30	0.80	.095	1.25	1.10	20.86
Lä	0.26	0.68	1.04	0.92	1.14	1.61
Zi	0.86	1.01	1.16	1.09	1.21	1.24
JLä	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
RBu	0.32	0.92	1.20	1.81	1.71	22.73
Ei	0.55	1.09	1.16	1.34	1.34	3.55
Es	0.61	1.05	1.64	2.25	2.49	6.94
Ah	0.46	1.06	1.85	1.94	2.53	3.75
Li	0.66	1.55	1.97	1.74	2.03	2.41
HBu	0.55	1.29	1.62	1.67	1.96	3.28
SoLh	0.10	0.80	1.35	3.05	3.27	28.47
SEi	0.31	1.01	1.15	1.04	1.18	1.40
TEi	0.84	0.92	1.02	1.13	1.20	1.71
Alle	0.56	0.91	1.07	1.04	1.17	1.61

Die Baumart bezieht sich dabei auf den nächststärksten Nachbarn

Der erwartete Abstand berechnet sich dann nach Gleichung (4.4).

$$d_{E_1} = \bar{r}_E \cdot R \quad (4.4)$$

d_{E_1} Erwarteter Abstand zum nächst stärksten Nachbarn
 \bar{r}_E Erwarteter Abstand nach Gleichung (2.87)
 R Strukturindex berechnet aus $R = \frac{\bar{r}_{a,1}}{r_{e,1}}$, wobei $\bar{r}_{a,1}$ aus Gleichung (2.89 auf Seite 22) und $r_{e,1}$ aus Gleichung (2.88 auf Seite 22) bestimmt wird.

4.2.2 Baumart des Nachbarn

In Tabelle 4.28 sind Kennzahlen der Verteilung des Segregations- / Aggregationsindex nach Gleichung 2.90 auf Seite 23 und Gleichung 2.91 auf Seite 23 dargestellt. Zu beachten ist, daß sich dieser Index auf einen Bestand bezieht und der Stichprobenumfang daher bei den vorliegenden Datensätzen maximal $n = 190$ betragen kann. Tatsächlich beträgt er bei Fichte beispielsweise $n = 140$. Daher wurde eine weitere Aufteilung nach Mischungsanteilen der Baumart nicht vorgenommen. Alle Werte, die größer als 1 sind, zeigen an, daß diese Baumart eher neben einer anderen Baumart steht, diese Baumart also mit den anderen Baumarten gut durchmischt ist. Werte unter 1 zeigen hingegen an, daß diese Baumart eher neben der gleichen Baumart steht, diese Baumart bildet somit Gruppen und ist nicht gleichmäßig mit den anderen Baumarten vermischt. Bei der Betrachtung des nächsten Nachbarn stehen in den untersuchten Beständen Eiche und Hainbuche eher neben einer anderen Baumart. Fichte, Tanne, Zirbe und Rotbuche hatten als nächsten Nachbarn überdurchschnittlich oft dieselbe Baumart. Bei den restlichen Baumarten ist die Nachbarbaumart eher zufällig. Bei der Betrachtung des nächststärksten Nachbarn zeigt Zirbe und Weißkiefer die Tendenz zur selben Baumart, Eiche, Tanne, Lärche und Hainbuche eher zu einer anderen Baumart. Die Probeflächenanzahl kann in Tabelle 3.11 und Tabelle 3.12 abgelesen werden.

Tabelle 4.28: Baumartenindex des nächsten Nachbarn und des nächst stärksten Nachbarn

Ba	Nächster Nachbar						Nächststärkster Nachbar					
	Min	25%	Med	\bar{x}	75%	Max	Min	25%	Med	\bar{x}	75%	Max
Fi	0	0.68	0.92	0.87	1.01	2.00	0	0.76	1.00	0.97	1.09	5.32
Ta	0	0.87	0.96	0.91	1.02	1.31	0	0.99	1.01	0.98	1.14	1.80
WKi	0.11	0.78	1.00	0.92	1.05	1.56	0	0.70	0.99	0.89	1.05	2.83
Lä	0	1.00	1.00	0.98	1.03	1.57	0	1.00	1.01	1.00	1.05	1.73
Zi	0.63	0.73	0.82	0.80	0.88	0.95	0.68	0.72	0.78	0.77	0.81	0.86
JLä	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RBu	0	0.54	0.91	0.81	1.00	2.53	0	0.70	1.00	0.88	1.03	2.70
Ei	0.51	1.00	1.00	1.08	1.02	2.17	0.50	1.00	1.00	1.24	1.02	2.97
Es	0.50	1.00	1.00	0.97	1.00	1.04	0	0.98	1.00	0.89	1.00	1.04
Ah	0.50	1.00	1.00	0.93	1.01	1.02	0.60	1.00	1.00	0.94	1.00	1.02
Li	0.72	0.97	1.00	0.97	1.01	1.12	0.95	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03
HBu	0.74	0.86	1.01	1.01	1.13	1.27	0.78	0.98	1.02	1.01	1.08	1.14
SoLh	0	0.70	1.00	0.84	1.00	1.04	0	0.72	1.00	0.85	1.00	1.04
SEi	0	1.00	1.19	1.18	1.53	2.00	0	1.00	1.04	1.08	1.25	1.99
TEi	0.68	1.05	1.46	1.29	1.52	1.63	0.72	1.04	1.88	1.70	2.21	2.47

4.2.3 Durchmesser differenzierung

Bei der Durchmesser differenzierung wurde der BHD des Nachbarn durch den BHD des untersuchten Baumes dividiert. Von diesem Wert wurde je Bestand ein Mittelwert gebildet. Die Verteilung dieser Mittelwerte ist in Tabelle 4.29 zu sehen. Die Anzahl der Bestände ist in Tabelle 3.10 bzw. Tabelle 3.12 zu sehen. Der nächste Nachbar ist von Weißkiefer, Lärche, Esche, Stiel- und Traubeneiche in den untersuchten Beständen in der Regel schwächer. Bei den anderen Baumarten ist er gleichstark oder stärker. Bei Linde und Hainbuche gab es keine Bestände, in denen diese beiden im Schnitt stärker sind als ihr nächster Nachbar. Diese beiden Baumarten waren nie in einem Bestand dominant, was natürlich nicht bedeutet, daß es nie vorkam, daß ein Einzelbaum stärker als sein nächster Nachbar war. Bei der Rotbuche gab es den Fall, daß sie in einem Bestand im Schnitt 145 mal schwächer war als ihr nächster Nachbar. Dies ist z. B. bei Verjüngung unter Schirm durchaus vorstellbar. Auf der anderen Seite kam es bei Lärche vor, daß diese um ca. das Hundertfache stärker als ihr nächster Nachbar war. Dies ist bei Verjüngung unter Lärchenschirm ebenfalls möglich.

Bei Betrachtung des nächststärksten Nachbarn und dessen Durchmesser ist natürlich zu erwarten, daß das BHD-Verhältnis zugunsten des nächststärksten Nachbarn ausfällt. Lediglich bei Traubeneiche ist diese im Schnitt bei den untersuchten Beständen immer noch stärker als der nächststärkste Nachbar. In der Tabelle kann man auch recht deutlich die schattenresistenteren Baumarten erkennen. So hat Fichte, Tanne, Rotbuche, Ahorn, Linde und Hainbuche einen mittleren Faktor von über 2, die Lichtbaumarten liegen hingegen im Mittel unter 2.

Tabelle 4.29: Durchmesser differenzierung

Ba	Nächster Nachbar						Nächststärkster Nachbar					
	Min	25%	Med	\bar{x}	75%	Max	Min	25%	Med	\bar{x}	75%	Max
Fi	0.23	1.01	1.26	1.48	1.58	6.25	0.57	1.35	2.04	4.31	3.75	75.94
Ta	0.04	0.95	1.34	2.56	1.88	41.00	0.84	1.27	2.78	6.34	3.34	81.00
WKi	0.10	0.54	0.77	1.07	0.96	19.55	0.45	0.94	1.07	1.97	1.40	48.03
Lä	0.01	0.56	0.91	0.90	1.04	2.63	0.62	0.87	1.01	1.81	1.18	20.53
Zi	0.89	0.99	1.00	1.01	1.01	1.15	1.09	1.10	1.13	1.22	1.35	1.41
JLä	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
RBu	0.86	1.23	1.63	4.08	2.20	145.50	0.99	1.59	2.62	14.34	5.17	218.50
Ei	0.07	0.69	1.03	1.48	1.75	8.52	0.55	1.08	1.24	1.83	1.90	8.52
Es	0.17	0.50	0.72	1.04	0.98	4.18	0.74	0.95	1.33	2.27	2.80	7.67
Ah	0.26	1.16	1.38	1.53	1.87	3.80	0.39	1.44	2.09	2.32	2.93	5.14
Li	1.13	1.92	1.98	2.01	2.32	2.46	1.13	2.08	2.33	2.32	2.71	3.19
HBu	1.37	1.75	1.87	2.09	2.44	3.65	1.53	1.94	2.67	2.56	3.03	3.65
SoLh	0.16	0.62	1.18	1.44	1.95	5.47	0.52	1.18	2.05	4.83	3.79	43.92
SEi	0.24	0.54	0.91	0.78	1.06	1.08	0.24	0.97	1.23	1.05	1.25	1.36
TEi	0.32	0.36	0.47	0.66	1.07	1.13	0.72	0.77	0.82	0.96	1.22	1.35

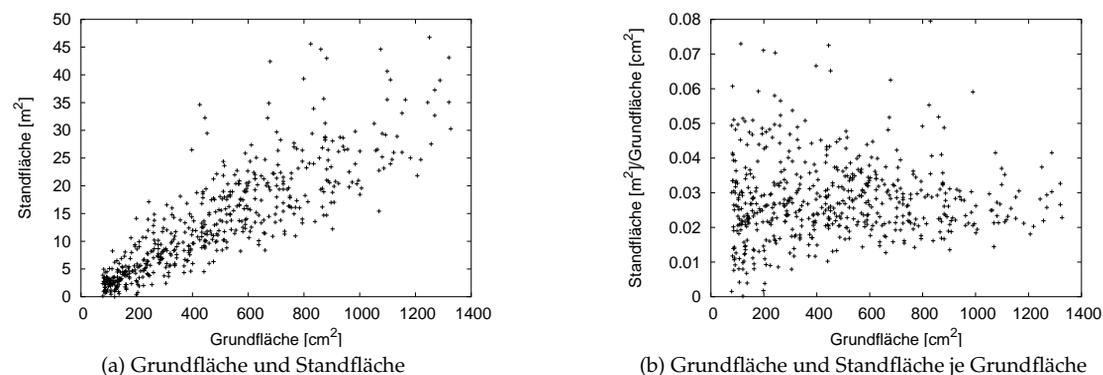
Mit der Durchmesser differenzierung läßt sich auch die Homogenität des Bestandes beschreiben. Dazu wird der BHD des Nachbarn durch den BHD des untersuchten Baumes dividiert, wenn der untersuchte Baum stärker ist. Ansonsten wird der Kehrwert davon gebildet. Dadurch ergibt sich stets ein Wert zwischen 0 und 1. Daraus wurde nun je Bestand der Mittelwert berechnet. Die Verteilung dieser Werte ist in Tabelle 4.30 zu sehen, dabei wurden die Baumarten nicht berücksichtigt. Es ist zu sehen, daß die Nachbarbäume im Mittel ca. nur 60 % des BHD's des stärkeren Nachbarn haben. In einzelnen recht gleichmäßigen Beständen erreichen sie bis zu 90 %. In anderen stärker differenzierten Beständen jedoch nur 40 % beim nächsten und gar nur 20 % des nächststärksten Nachbarn.

Tabelle 4.30: Durchmesserdifferenzierung über alle Probeflächen

Nächster Nachbar						Nächststärkster Nachbar					
Min	25%	Med	\bar{x}	75%	Max	Min	25%	Med	\bar{x}	75%	Max
0.42	0.54	0.62	0.63	0.71	0.91	0.20	0.49	0.61	0.60	0.72	0.90

4.2.4 Standfläche

In Abbildung 4.23 ist der Zusammenhang der Standfläche mit der Kreisfläche eines Baumes (Lehrforst 18b2) dargestellt. In diesem Fall liegt die Korrelation bei $r = 0.84$. Es ist weiters zu sehen, daß das Verhältnis Standfläche/Grundfläche unabhängig von der Grundfläche ist, jedoch bei den kleineren Grundflächen stärker streut.

**Abbildung 4.23:** Zusammenhang zwischen Grundfläche und Standfläche

Da die Standfläche unabhängig von der Baumart berechnet wurde, wurde nicht zwischen verschiedenen Baumarten unterschieden. Es wurde die prozentuelle Abweichung der beobachteten Standfläche von der erwarteten nach Gleichung (2.99 auf Seite 27) berechnet. Die Streuung dieser Werte, die je Bestand berechnet wurde, ist in Tabelle 4.31 zu sehen.

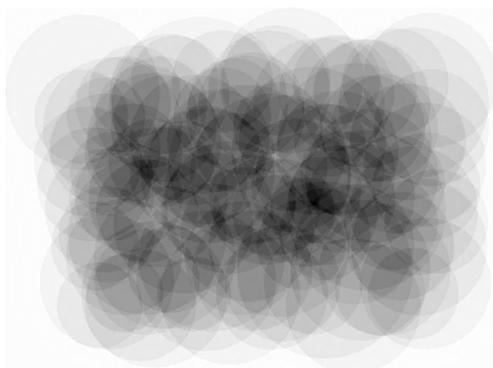
Tabelle 4.31: Streuung der Standflächenprozent

Min	25%	Med	\bar{x}	75%	Max
0.05	0.46	0.55	0.86	0.78	5.55

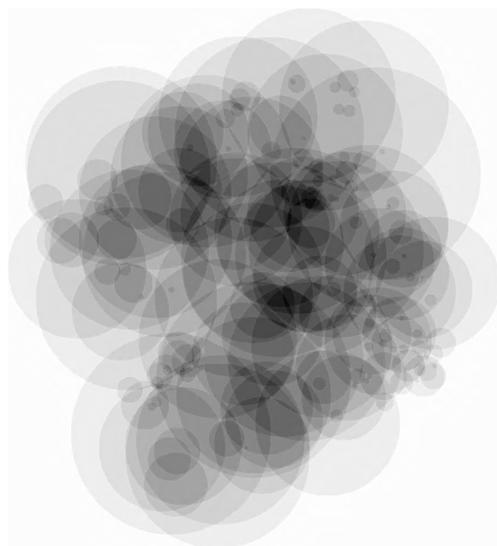
Angegeben ist die Verteilung der Standardabweichung

Wie zu sehen ist, gibt es Flächen, auf denen die beobachtete Standfläche der erwarteten beinahe entsprechen. Auf einer Fläche gab es eine Standardabweichung von nur 5%. 50% der Flächen liegen jedoch in dem Bereich von 46% bis 78% Streuung. In Abbildung 4.24 ist die Grundflächenstreuung zweier Bestände zu sehen.

Neben der Berechnung der Standfläche kann auch deren Schwerpunkt berechnet werden. Im Durchschnitt sollten alle Bäume ihren Fußpunkt in der Mitte der Standfläche haben. Wie stark der Fußpunkt vom Schwerpunkt der Standfläche abweicht, ist in Abbildung 4.25 zu sehen. Dabei nimmt mit Zunahme der Standfläche die Streuung zu. Bei einer Koordinatengenerierung kann dieser Umstand dahingehend verwendet werden, daß durch Verschieben der Baumkoordinaten in Richtung Standflächenschwerpunkt eine regelmäßige Struktur entsteht und durch Verschieben weg vom Schwerpunkt eine geklumpte.



(a) Hauersteig Fläche 3 (s=31%)



(b) Schweiz Fläche Seewadel (43) (s=124%)

Abbildung 4.24: Variation der Bestandesdichte

Die dunklen Flächen sind jene mit der größten Grundflächendichte. Diese wurden mittels Winkelzählprobe mit einem Zählfaktor von $k=4$ bestimmt, daher nimmt die Grundfläche um 4 m^2 je Schwärzungsgrad zu.

4.2.5 Formkoeffizient der BHD-Verteilung

In Tabelle 4.32 ist die Streuung des Formkoeffizienten c , welcher nach Gleichung (2.96) auf Seite (24) berechnet wurde, wiedergegeben.

Tabelle 4.32: Streuung des Formkoeffizienten

Min	25%	Med	\bar{x}	75%	Max
0.25	2.15	4.22	11.41	11.15	348.91

Man sieht, daß es sowohl extrem linksschiefe als auch rechtsschiefe BHD-Verteilungen geben kann. Extrem linkslastig sind jene, wo sehr viele dünne Bäume da sind und wenig dicke. Rechtslastige Verteilungen kommen hingegen dann vor, wenn es ganz wenig dünne und recht viele dicke Stämme im Bestand gibt. Im Mittel kommen in den untersuchten Beständen eher starke Stämme als schwache vor. Dies mag aber auch an den vorhandenen Kluppschwellen bei der Aufnahme liegen.

4.2.6 Beispiele von Koordinatengenerierungen

4.2.6.1 Hauersteig

4.2.6.1.1 Aufgabe Rekonstruktion der Baumkoordinaten der Dauerversuchsfläche Hauersteig.

4.2.6.1.2 Rahmenbedingungen Der Dauerversuch Hauersteig wurde im Jahre 1892 von Adolf Cieslar angelegt und seit 1923 von der FBVA kontinuierlich beobachtet. Dabei wurden die Bäume nummeriert, jedoch deren Position erst 1988 bestimmt. Daher gab es von allen vor 1988 entnommenen Bäumen keine Koordinatenangaben. Da diese Versuchsfläche mittels Reihenpflanzung begründet wurde, standen die Bäume mehr oder weniger auf geraden Linien. Dies hatte zur

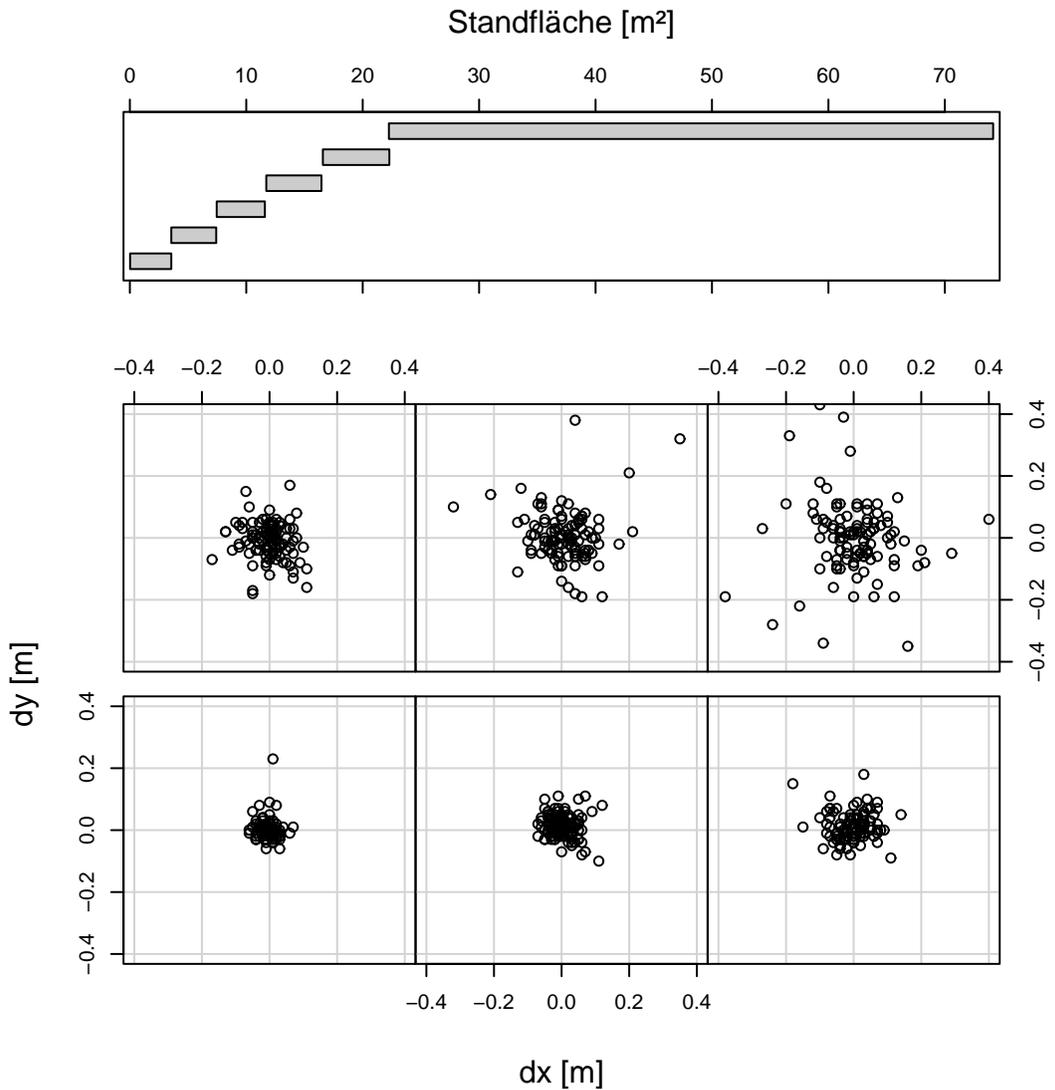


Abbildung 4.25: Abweichung der Standflächenschwerpunkte vom Fußpunkt des Baumes

dx Beobachtete x-Koordinate – x-Koordinate des Standflächenschwerpunktes

dy Beobachtete y-Koordinate – y-Koordinate des Standflächenschwerpunktes

Folge, daß auch die Baumnummern entlang dieser Linien anstiegen. Es ist daher in den Baumnummern auch eine Information der Baumposition enthalten.

4.2.6.1.3 Vorgangsweise

Graphische Darstellung der vorhandenen Koordinaten Es wurden alle vorhandenen Baumkoordinaten, wie in Abbildung 4.26 dargestellt, ausgedruckt. Darin konnte festgestellt werden, mit welchem Muster die Baumnummern vergeben wurden. Man kann erkennen, daß auf Fläche 4 (der Bestand mit dem 2×2 Pflanzverband) die Baumnummern fast ausschließlich entlang der Pflanzstreifen vergeben wurden. Auch auf Fläche 1 wurden die Baumnummern entlang der Pflanzstreifen vergeben, jedoch wurde auf dieser Fläche auch häufig die Pflanzreihe verlassen. Zusätzlich fehlen hier wesentlich mehr Baumnummern der ursprünglichen Fläche.

Händische Ergänzung von Baumkoordinaten an der Probeflächengrenze Um eine einfache Interpolation der fehlenden Baumkoordinaten zwischen bekannten Baumkoordinaten durchführen zu können, müssen die Baumkoordinaten an „Richtungsänderungspunkten“ bekannt sein. Da diese meist nicht bekannt waren, mußten sie „per Hand“ ergänzt bzw. geschätzt werden. In Abbildung 4.27 sind die Flächen 1 und 4 nach dieser Ergänzung dargestellt. Zusätzlich wird hier noch festgelegt, bis zu welcher Baumnummer die Baumkoordinaten zwischen zwei Bäumen interpoliert werden kann (bis zu welcher Baumnummer ein System in der Verteilung beobachtbar ist)¹.

Lineare Interpolation der Baumkoordinaten Zwischen den nun bekannten Koordinaten wurden alle fehlenden Baumkoordinaten interpoliert². Dabei wurde nicht einfach in die Mitte der beiden benachbarten Bäume hineininterpoliert, sondern die Position auch noch von der Baumnummer abhängig gemacht. Wenn z. B. die Koordinaten von Baumnummer 2 gesucht wurden und als Nachbarn Baum 1 und Baum 5 zur Verfügung standen, wurde die Strecke zwischen Baum 1 und Baum 5 in 4 gleich große Teile geteilt und die Koordinaten für Baum 2 am Ende des ersten Streckenabschnitts bei Baum 1 gelegt. Bei der Koordinateninterpolation wurden die Bäume immer nur für eine Aufnahmeperiode ergänzt. Dabei wurden bei der jüngsten Aufnahme beginnend (Aufnahme 1988) schrittweise die Koordinaten bis zur Bestandesbegründung interpoliert.

Baumkoordinatenverschiebung Nachdem die Koordinaten interpoliert wurden, werden die Baumkoordinaten noch verschoben. Dabei werden die Bäume zu ihrem Standflächenschwerpunkt hin verschoben, was einem Ausweichen vor der Konkurrenz entspricht. Dadurch wird verhindert, daß zwei Bäume „zu nahe“ beieinander stehen. Danach werden für das Aufnahmejahr vor diesem Aufnahmejahr die zusätzlichen Baumkoordinaten interpoliert und danach wieder deren Position verschoben (aber nur von den neu interpolierten Koordinaten). Dies wird so lange wiederholt, bis alle Aufnahmejahre ergänzt sind. In Abbildung 4.28 ist das Ergebnis dieser Interpolation und Verschiebung dargestellt.

Ergänzung der restlichen Bäume All jene Bäume, deren Baumnummer nicht auf deren Position im Bestand schließen läßt, wurden über Zufallszahlen generiert und danach ebenfalls in Richtung ihres Standflächenschwerpunktes verschoben. Dabei wurden die Bäume auch mit der letzten Aufnahme beginnend (1988) ergänzt. In Abbildung 4.29 ist das Endergebnis dargestellt.

¹ Auf Fläche 1 wurden die Baumnummern 1–486, auf Fl. 2 Bnr. 1–902, auf Fl. 3 Bnr. 1–760 und auf Fl. 4 Bnr. 1–526 mittels Interpolation koordinativ rekonstruiert.

² Auf Fläche 2, welche nicht dargestellt ist, wurden offensichtlich immer 2 Streifen gleichzeitig aufgenommen, deshalb wurde hier über die interpolierten Koordinaten eine gleichverteilte Zufallszahl von 0–1 m gelegt.

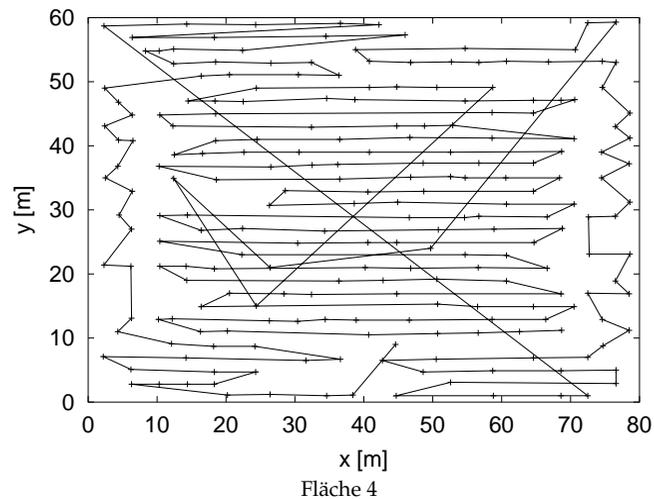
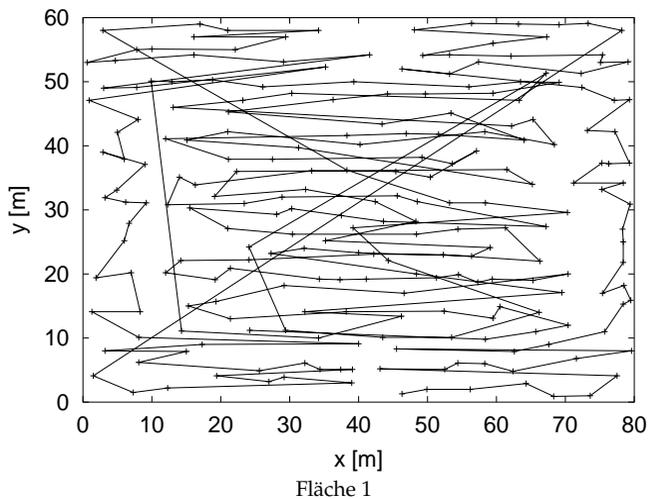


Abbildung 4.26: Darstellung der vorhandenen Baumkoordinaten

Die Baumnummern wurden aufsteigend mit einer Linie verbunden. Fläche 1 wurde im 1×1 Verband gepflanzt, Fläche 4 im 2×2 Verband.

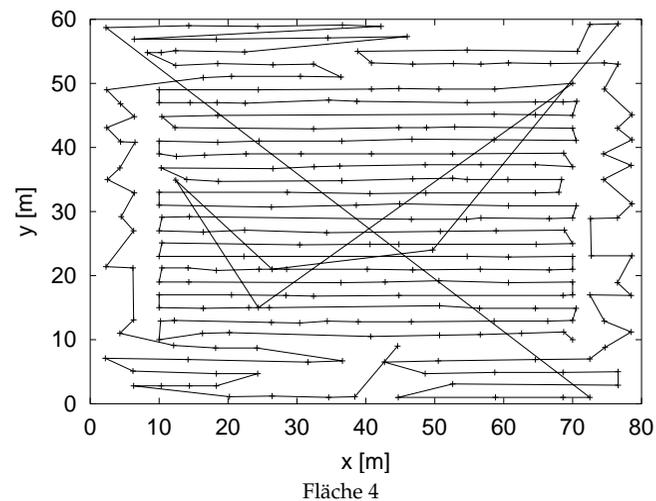
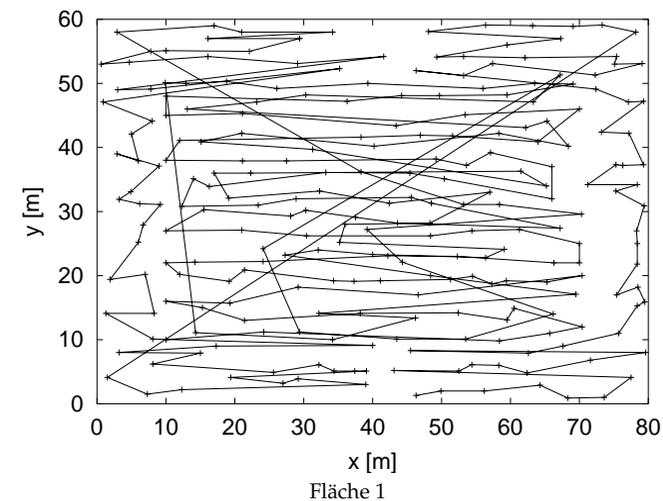


Abbildung 4.27: Darstellung der vorhandenen und händisch ergänzten Baumkoordinaten

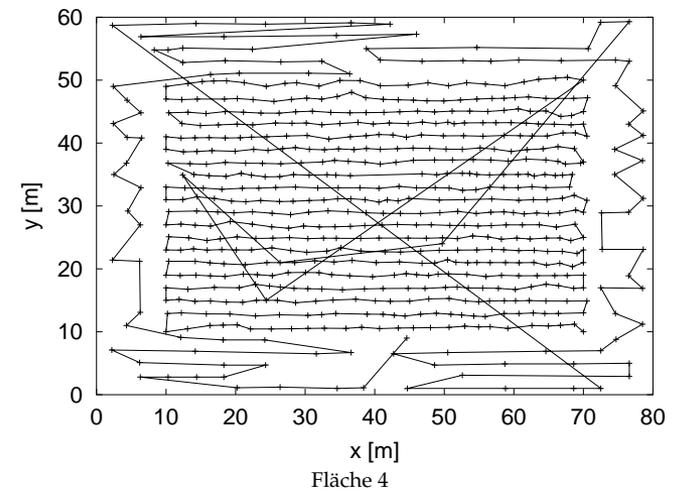
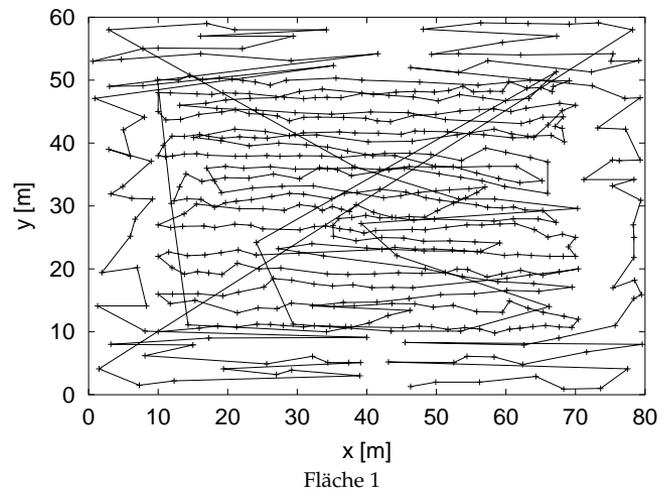


Abbildung 4.28: Darstellung der vorhandenen, händisch ergänzten, interpolierten und zum Standflächenschwerpunkt verschobenen Baumkoordinaten

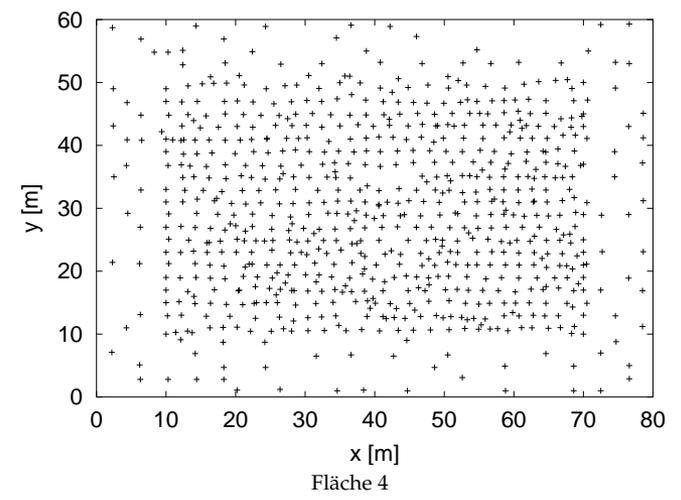
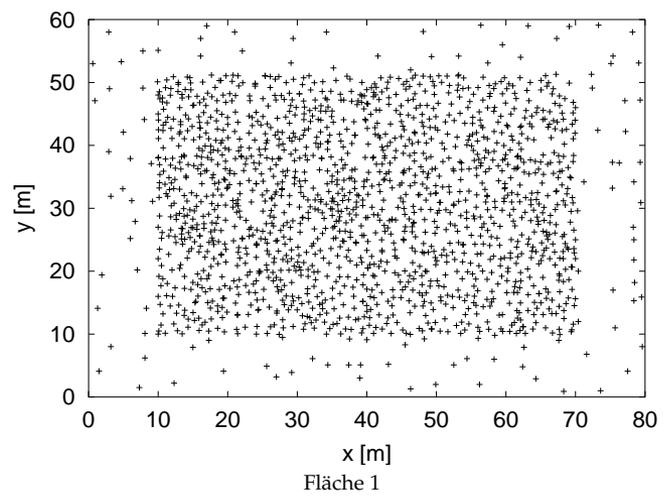
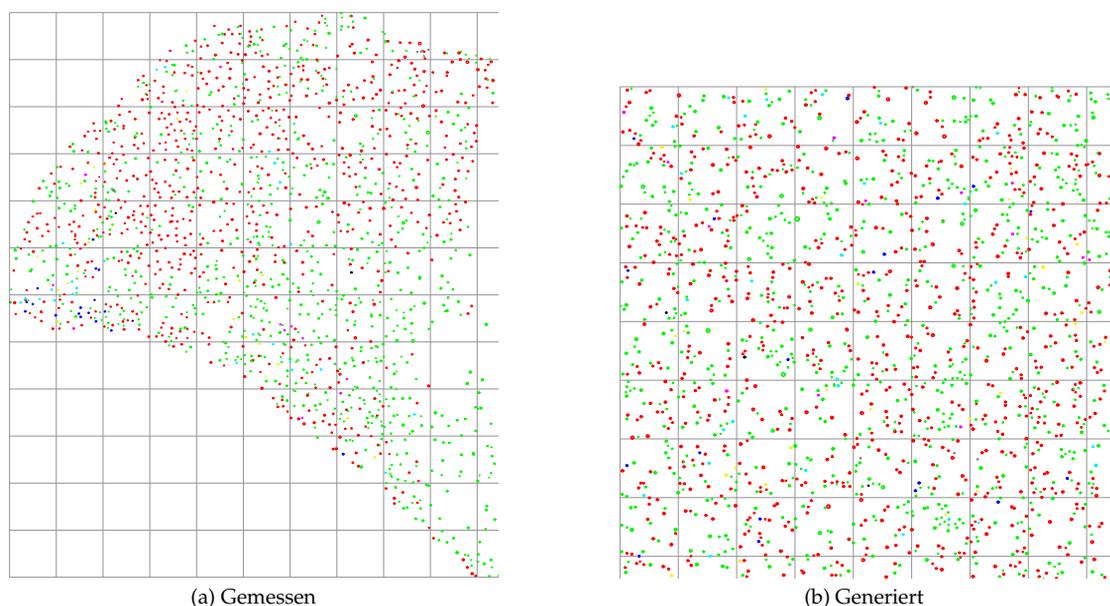


Abbildung 4.29: Darstellung der vorhandenen und ergänzten Baumkoordinaten

4.2.6.2 Lehrforst

An zwei Beispielbeständen soll der Unterschied hinsichtlich des Konkurrenzindex CI (siehe Gleichung 2.1 auf Seite 4) zwischen tatsächlichen und generierten Baumkoordinaten demonstriert werden. Falls es dabei zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen den CI's des tatsächlichen und dem generierten Bestand kommt, eignet sich die Koordinatengenerierung zur Erzeugung von Beständen, deren Wachstum in MOSES, welches den CI als Konkurrenzmaß verwendet, simuliert werden soll. Dazu wurden die Bestände 15b1 und 18b3 des Lehrforstes, welche in Kindermann (1998) näher beschrieben sind, verwendet. In Abbildung 4.30 ist die Fläche 15b1 und in Abbildung 4.31 die Fläche 18b3, sowohl wie sie tatsächlich aussieht als auch ihre Nachbildung dargestellt. Aufgenommener und generierter Bestand haben dieselbe Fläche nicht jedoch die gleiche Flächenform. Außerdem besitzen beide eine ähnliche Struktur.



Der Rasterabstand beträgt 25 m. Buche... grün, Fichte... rot, Kiefer... blau, Birke... schwarz, Eiche... violett, Hainbuche... grau, Lärche... türkis und Tanne... gelb

Abbildung 4.30: Koordinaten der Fläche 15b1 (5.16 ha)

Bei den berechneten CI's ist eine gewisse Streuung zwischen dem gemessenen und dem generierten Bestand zu beobachten. Besonders deutlich ist diese bei den kleineren BHD's zu sehen (Abbildung 4.32). Diese Streuung war jedoch zu erwarten, da bei einer Koordinatengenerierung keinesfalls angenommen werden kann, daß der Einzelbaum auf seiner tatsächlichen Position zu stehen kommt. Es ist lediglich zu erwarten, daß die Bestandessituation ähnlich nachgebildet wird. Ein Trend in den CI-Abweichungen ist nicht feststellbar. In Abbildung 4.33 sind die Absoluten CI's der vier Bestände aufgetragen. Dabei ist ebenfalls zu sehen, daß die Proportion des CI's bei gleichem BHD im gemessenen sowie im generierten Bestand ähnlich ist. Lediglich die Streuung bei den generierten Beständen ist etwas geringer.

4.2.6.3 Neuerzeugung

Als letztes Beispiel werden zwei vollkommen künstlich erzeugte Bestände gezeigt. Bei diesen wurden drei Baumarten festgelegt und deren BHD mittels Weibullverteilung erzeugt. Der Bestand in Abbildung 4.34 ist in beiden Richtungen gleichmäßig dicht. Die Baumarten sind geklumpt, d. h. sie stehen näher beieinander als dies bei einer Zufallsverteilung üblich wäre. Die

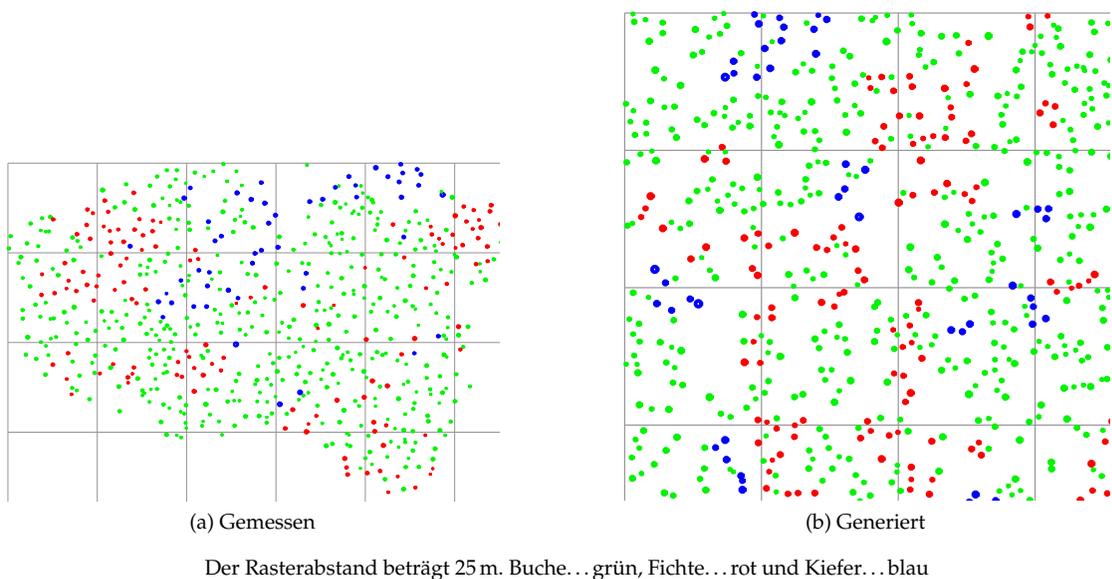


Abbildung 4.31: Koordinaten der Fläche 18b3 (0.94 ha)

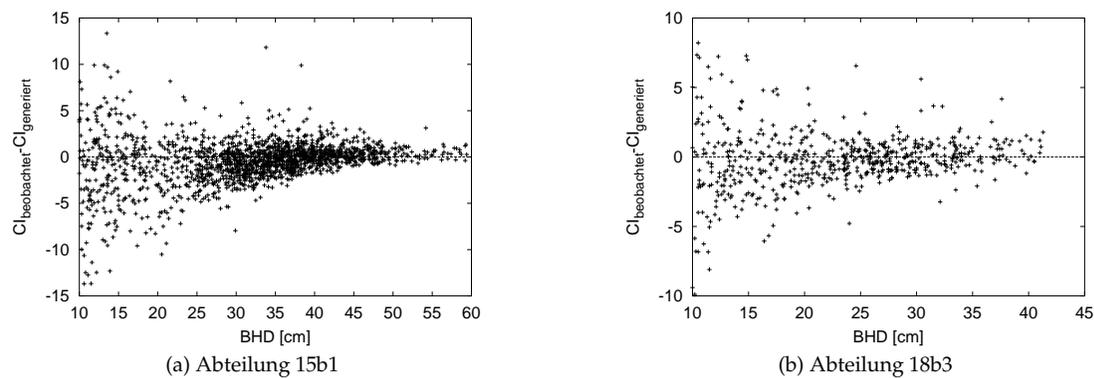


Abbildung 4.32: C_i -Differenzen-Vergleich zwischen generierten und tatsächlichem Bestand

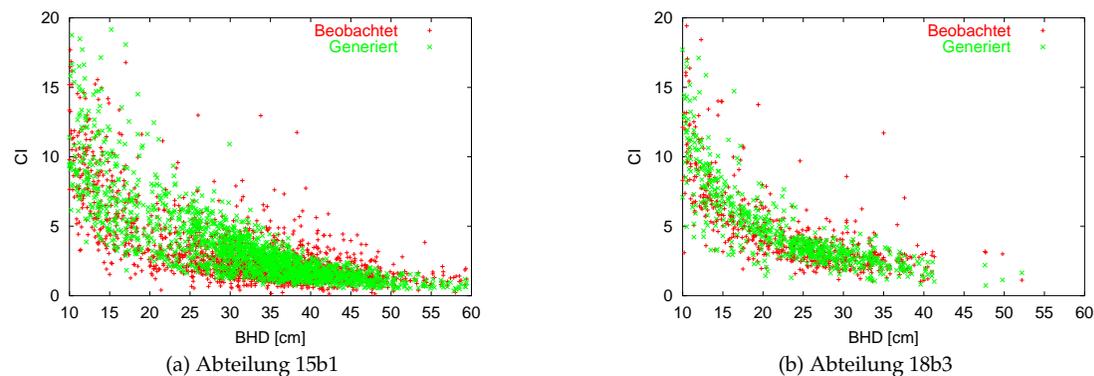


Abbildung 4.33: C_i -Vergleich zwischen generiertem und tatsächlichem Bestand

rote Baumart bildet Aggregate derselben Baumart, die anderen beiden haben zufällige Nachbarschaft. Der Bestand in Abbildung 4.35 wird nach links lockerer und ist in der Y-Richtung homogen. Die Abstände der Bäume untereinander sind gleichmäßig, d. h. sie haben größere Abstände als dies bei Zufallsverteilungen zu erwarten wäre. Die rote Baumart ist separiert, da sie eher neben einer anderen Baumart steht.

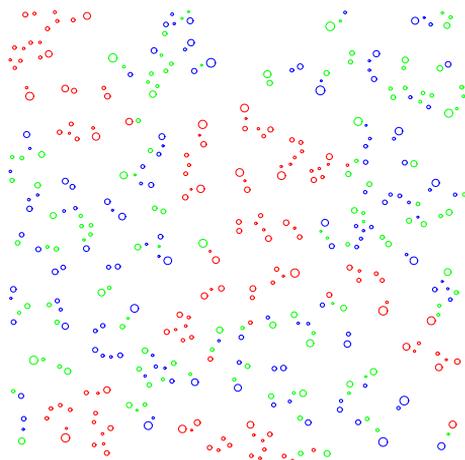


Abbildung 4.34: Beispiel 1 eines generierten Bestandes

Geklumpt, rot aggregiert, homogen

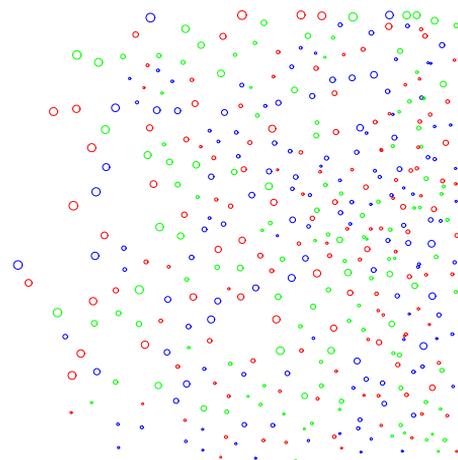


Abbildung 4.35: Beispiel 2 eines generierten Bestandes

Gleichmäßig, rot separiert, lockerer werdend

4.2.6.4 Operatnachbildung

Um das Wachstum einzelner Bestände oder sogar ganze Abteilungen in abstandsabhängigen Waldwachstumsmodellen zu simulieren, ist die Kenntnis der Baumkoordinaten Voraussetzung. Diese Kenntnis liegt jedoch in den seltensten Fällen vor. In diesem Beispiel wird gezeigt, wie man in diesen Fällen vorgehen könnte. In der Regel sind die Größe und Lage der einzelnen Unterabteilungen einer Abteilung bekannt. Zusätzlich liegen auch Operatsangaben der einzelnen Unterabteilungen vor. In diesen finden sich Angaben über Baumartenanteile, Altersangaben, Bonitäten sowie über deren Bestockungsgrad. Daraus läßt sich mit Hilfe von z. B. Ertragstafeln die Stammzahl und der BHD der Baumarten in etwa bestimmen. Mit diesen Angaben wurden nun die Baumkoordinaten der Abteilung 21 des Lehrforstes, unter Verwendung des Programmes StandGen (Kittenberger 2003), generiert. In Abbildung 4.36 ist die Darstellung von Abteilung 21 in StandGen zu sehen und in Abbildung 4.37 eine perspektivische Ansicht, welche mit SVS (McGaughey 1997) erzeugt wurde.

4.3 Bestandesrand – Randgewichtung

Bei Anlage eines Probekreises, welcher über die aufgenommene Bestandesgrenze hinausgeht, wird mit verschiedenen Methoden die tatsächlich aufgenommene Stammzahl auf jene, die in dem Probekreis erwartet wird, hochgerechnet. In Tabelle 4.33 ist zu sehen, daß alle Methoden eine hohe Korrelation mit den wirklichen Stammzahlen haben, und daß die Korrelation mit kleiner werdender Probekreisgröße zurückgeht. Es ist weiters zu sehen, daß bei keiner Berücksichtigung des Randes die Korrelation mit dem tatsächlichen Wert bei größeren Probeflächen geringer ist als bei den restlichen Methoden.

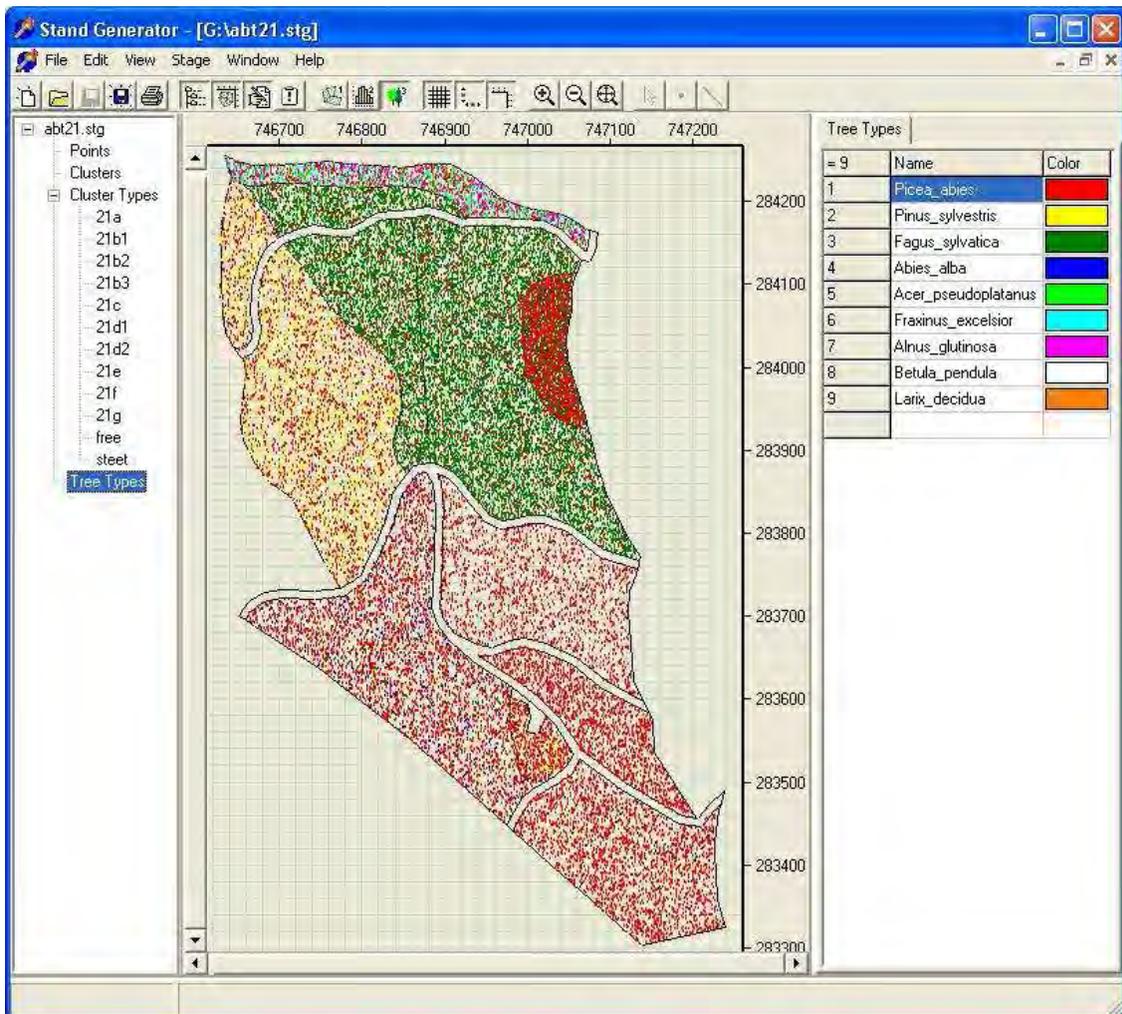


Abbildung 4.36: Konstruktion der Abteilung 21 mit StandGen

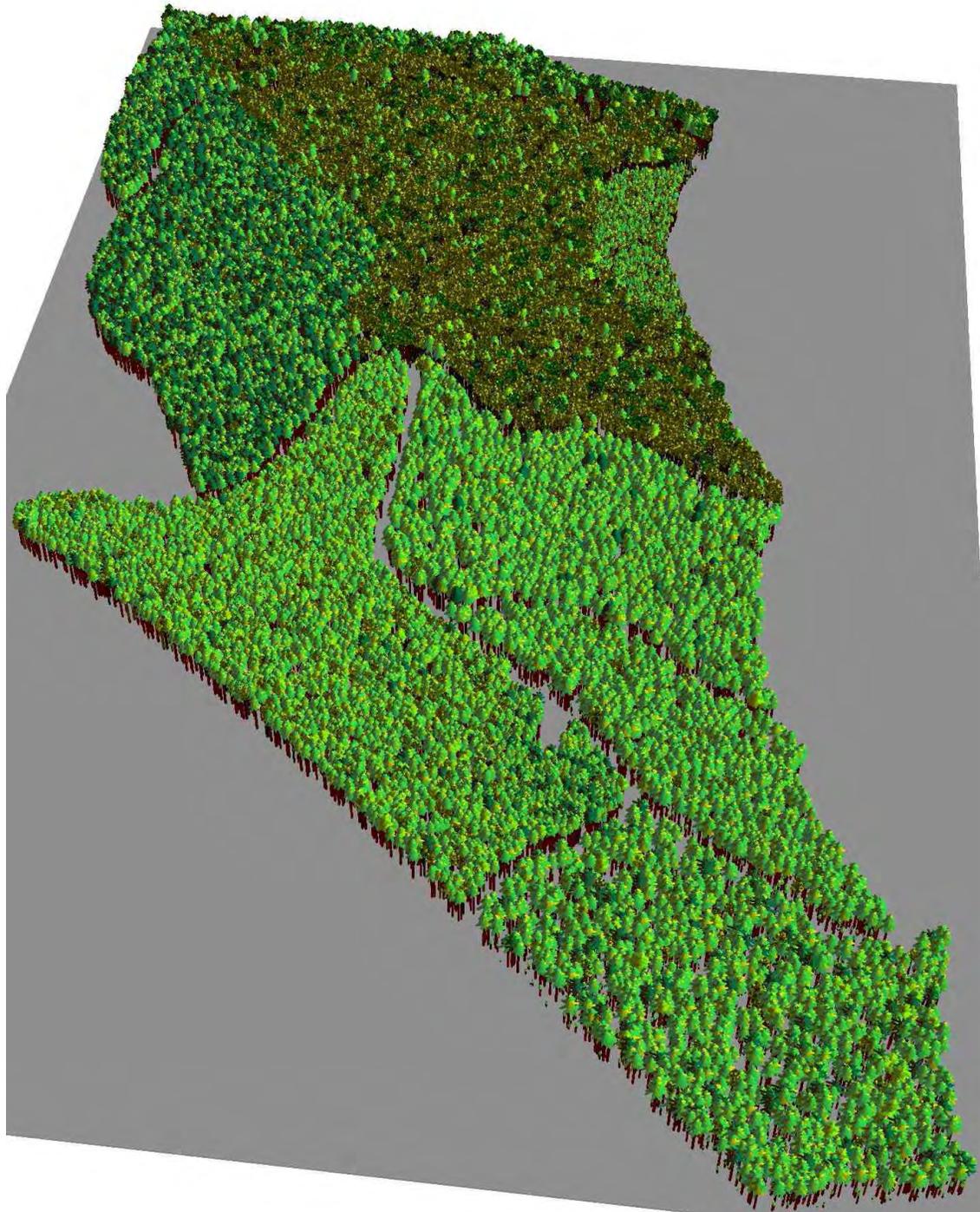


Abbildung 4.37: Abteilung 21 in perspektivischer Darstellung

Tabelle 4.33: Korrelation und Regressionsanstieg zwischen wirklicher Stammzahl im Probekreis mit der hochgerechneten Stammzahl

Methode	r _{7,5}	r _{5,3}	r _{3,75}	r _{2,65}	r _{1,9}	b _{7,5}	b _{5,3}	b _{3,75}	b _{2,65}	b _{1,9}
keine	0.918	0.919	0.916	0.883	0.829	1.480	1.326	1.284	1.252	1.210
Sp _{Gr.}	0.988	0.981	0.964	0.921	0.844	0.957	0.960	0.934	0.896	0.832
Sp _{Baum}	0.987	0.982	0.967	0.929	0.851	1.039	1.048	1.060	1.075	1.060
Verschie.	0.988	0.981	0.965	0.925	0.840	0.974	0.983	0.972	0.962	0.939
Gew _{Kreis.}	0.972	0.971	0.954	0.904	0.817	0.976	0.976	0.948	0.913	0.887
Gew _{Fl.}	0.991	0.987	0.977	0.946	0.882	0.975	0.990	0.982	0.976	0.948
N	2194	1952	1469	970	589	2194	1952	1469	970	589

Dabei wurden Probekreisradien von 7.5 m, 5.3 m, 3.75 m, 2.65 m und 1.9 m verwendet

r Korrelation zwischen N_{Modell} und $N_{wirklich}$
 b Anstieg einer Regression $N_{wirklich} = b \cdot N_{Modell}$
keine .. Keine Randeinflußberücksichtigung
Sp_{Gr.} ... Spiegelung entlang der Bestandesgrenze
Sp_{Baum} ... Spiegelung um den Baum
Verschie. Kopieren und Verschieben des Bestandes
Gew_{Kreis.} Gewichtung mit der Kreislänge außerhalb
Gew_{Fl.} ... Gewichtung mit der Flächengröße außerhalb
N Anzahl Beobachtungen

Bei Betrachtung der Regressionsanstiege (Tabelle 4.33 und 4.34) zeigt sich, daß bei keiner Randberücksichtigung der Anstieg deutlich über 1 liegt und die restlichen Methoden einen Anstieg nahe 1 haben. Beim Absolutglied fällt auf, daß dieses bei der Gewichtung mit der Kreisbogenlänge höher ist als bei den anderen Methoden.

Tabelle 4.34: Absolutglied und Anstieg einer linearen Regression

Methode	a _{7,5}	a _{5,3}	a _{3,75}	a _{2,65}	a _{1,9}	b _{7,5}	b _{5,3}	b _{3,75}	b _{2,65}	b _{1,9}
keine	8.0	3.9	1.9	1.3	1.1	1.325	1.193	1.158	1.096	0.986
Sp _{Gr.}	0.8	0.3	0.3	0.5	0.8	0.947	0.952	0.920	0.848	0.714
Sp _{Baum}	1.6	0.9	0.7	0.7	1.0	1.018	1.023	1.022	1.004	0.884
Verschie.	1.2	0.6	0.5	0.6	0.8	0.959	0.968	0.949	0.903	0.804
Gew _{Kreis.}	3.0	1.4	1.0	1.0	1.2	0.937	0.941	0.899	0.822	0.706
Gew _{Fl.}	1.4	0.8	0.5	0.5	0.7	0.958	0.962	0.958	0.928	0.833

a, b... Regressionskoeffizienten von $N_{wirklich} = a + b \cdot N_{Modell}$.

In Tabelle 4.35 sind die Mittelwertabweichung und die Standardabweichung der Modelle gegenübergestellt. Bei keiner Randberücksichtigung ist bei allen Probeflächengrößen ein signifikanter Unterschied (I. W. <0.1 %) zwischen den Mittelwerten und auch zwischen den Standardabweichungen festzustellen.

Auch bei den Modellen, Spiegelung entlang der Aufnahmegrenze und Spiegelung um Baum, waren alle Mittelwerte signifikant verschieden vom wahren Wert. Bei der Standardabweichung mußten speziell bei den kleineren Aufnahmeflächen einige als signifikant verschieden klassifiziert werden.

Die Modelle Verschieben, Gewichtung mit deren Kreisbogenlänge und Gewichtung mit der Fläche zeigten bei diesem Vergleich die besten Eigenschaften.

Tabelle 4.35: Mittelwert und Standardabweichung bei fixen Probekreisen

Methode	$\bar{x}_{7.5}$	$\bar{x}_{5.3}$	$\bar{x}_{3.75}$	$\bar{x}_{2.65}$	$\bar{x}_{1.9}$	S _{7.5}	S _{5.3}	S _{3.75}	S _{2.65}	S _{1.9}
wirklich	46.0	23.7	12.4	7.1	4.4	37.1	19.0	9.6	4.9	2.6
keine	-17.3 ^c	-7.1 ^c	-3.4 ^c	-1.8 ^c	-1.0 ^c	25.7 ^c	14.7 ^c	7.6 ^c	3.9 ^c	2.2 ^c
Sp _{Gr.}	1.8 ^c	0.9 ^c	0.8 ^c	0.6 ^c	0.6 ^c	38.7 ^a	19.6	10.1	5.3 ^a	3.1 ^c
Sp _{Baum}	-2.4 ^c	-1.4 ^c	-1.0 ^c	-0.7 ^c	-0.5 ^c	36.0	18.3	9.1 ^a	4.5 ^a	2.5 ^a
Verschie.	0.7 ^c	0.2	0.2 ^b	0.1	0.0	38.2	19.3	9.8	5.0	2.8
Gew _{Kreis.}	-0.2	0.0	0.3 ^b	0.3 ^c	0.2 ^a	38.5	19.7	10.2 ^a	5.3 ^b	3.1 ^c
Gew _{Fl.}	0.6 ^c	0.1	0.0	0.0	0.0	38.4	19.5	9.8	4.9	2.8

$\bar{x}_{7.5} \dots$ Mittelwert von $N_{Modell} - N_{wirklich}$ bei einem Probekreisradius von $r = 7.5$ m. $S_{7.5} \dots$ Standardabweichung von der Stammzahl in einem 7.5 m Kreis. $X^a \dots$ 5% i. w.; $X^b \dots$ 1% i. w.; $X^c \dots$ 0.1% i. w.

Um beurteilen zu können, bis zu welchem Hochrechnungsfaktor die einzelnen Methoden brauchbare Ergebnisse liefern, wurden die hochgerechneten Stammzahlen mit den tatsächlichen in den Gruppen: Hochrechnungsfaktor = 1–1.25, 1.25–1.5, 1.5–2.25 und 2.25– ∞ verglichen (siehe Tabelle 4.36). Dabei zeigte sich, daß bei geringer Hochrechnung die Methoden Spiegelung um Aufnahmegrenze, Gewichtung mit Kreisbogenlänge und Gewichtung mit Fläche die besten Ergebnisse liefern. Auffällig ist auch noch, daß das Modell Gewichtung mit Kreisbogenlänge eine relativ hohe Standardabweichung, und das Modell Gewichtung mit Fläche eine relativ niedere Standardabweichung hat. Generell nimmt mit Zunahme des Hochrechnungsfaktors die Streuung zu.

Tabelle 4.36: Standardabweichung und Mittelwert der Stammzahl bei verschiedenen Hochrechnungsfaktoren und einem Probekreisradius von 7.5 m

Hochrechn. Methode	[1–1.25]			[1.25–1.5]			[1.5–2.25]			[2.25– ∞]		
	s	\bar{x}	n	s	\bar{x}	n	s	\bar{x}	n	s	\bar{x}	n
keine	16.9	-17.3 ^c	2194	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Sp _{Gr.}	3.3	-0.3	375	4.3	0.5 ^a	420	6.2	2.0 ^c	863	7.4	3.8 ^c	536
Sp _{Baum.}	4.1	-3.0 ^c	526	5.5	-3.2 ^c	424	6.5	-2.3 ^c	959	7.6	-0.1	285
Verschie.	3.3	-0.9 ^c	446	5.0	-0.5 ^a	434	6.1	0.9 ^c	850	7.1	3.2 ^c	464
Gew _{Kreis.}	4.4	-0.2	384	10.7	-2.3 ^c	516	8.6	0.5	1088	11.0	1.7 ^a	206
Gew _{Fl.}	2.6	0.1	393	3.6	0.1	430	5.2	0.7 ^c	1010	7.9	1.4 ^c	361

$X^a \dots$ 5% i. w.; $X^b \dots$ 1% i. w.; $X^c \dots$ 0.1% i. w.;

Bei der Berechnung der Überlappungszonen mit einem fixen Einflußradius zeigte sich folgendes Bild (siehe Tabelle 4.37). Die Korrelation zwischen wirklichem Wert und der Modellberechnung war für alle Methoden hoch. Bei keiner Randbeachtung, Spiegelung um die Aufnahmegrenze und Verschiebung liegt die Korrelation deutlich unter jener von Spiegeln um einen Baum, Gewichtung mit Bogenlänge und Gewichtung mit Fläche. Der Anstieg einer Regressionsgeraden ohne Absolutglied liegt bei keiner Randberücksichtigung über 1 und bei den Modellen Spiegelung um Grenze, Verschieben und Gewichtung mit Fläche, unter 1. Die Modelle Spiegelung um Baum und Gewichtung mit Bogenlänge lagen nahe 1. Dasselbe zeigte sich auch bei einer linearen Regression mit Absolutglied. Der Mittelwert war bei allen Methoden signifikant verschieden vom wahren Mittelwert, wobei beim Modell Gewichtung mit Bogenlänge die Differenz am geringsten war. Bei der Standardabweichung unterschieden sich die Modelle Spiegelung um Baum und Gewichtung mit Bogen nicht signifikant von der wahren Varianz.

Bei einer Aufteilung der Hochrechnungsfaktoren zeigte sich, daß das Modell Gewichtung mit der Kreisbogenlänge als einziges brauchbare Werte liefert, und die Streuung um den wahren Wert mit dem Hochrechnungsfaktor zunimmt (Tabelle 4.38).

Tabelle 4.37: Flächenüberlappung mit Einflußradius $r = 3.75$ m

Methoden	r	c	a	b	\bar{x}	s
keine	0.930	1.273	1.710	1.161	-3.067 ^c	7.631 ^c
Sp _{Gr.}	0.942	0.716	0.869	0.683	4.048 ^c	13.124 ^c
Sp _{Baum}	0.990	1.048	0.319	1.030	-0.650 ^c	9.127
Verschie.	0.950	0.751	0.946	0.714	3.265 ^c	12.666 ^c
Gew _{Kreis.}	0.986	0.994	0.439	0.971	-0.114 ^b	9.664
Gew _{Fl.}	0.989	0.821	0.477	0.800	2.267 ^c	11.758 ^c

r...Korrelation zwischen A_{Modell} und $A_{wirklich}$; c...Anstieg einer Regression $A_{wirklich} = c \cdot A_{Modell}$; a, b...Regressionskoeffizienten von $A_{wirklich} = a + b \cdot A_{Modell}$; Mittelwert wirklich = 11.484, Standardabweichung = 9.525, Stichprobenumfang = 2210.

X^a ...5% I. W.; X^b ...1% I. W.; X^c ...0.1% I. W.

Tabelle 4.38: Standardabweichung bei CI mit $r = 3.75$ m

Hochrechn. Methode	[1-1.25]			[1.25-1.5]			[1.5-2.25]			[2.25-∞]		
	s	\bar{x}	n	s	\bar{x}	n	s	\bar{x}	n	s	\bar{x}	n
keine	3.704	-3.067 ^c	2210	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sp _{Gr.}	0.641	0.310 ^c	380	1.768	1.409 ^c	424	4.628	5.008 ^c	867	6.966	7.056 ^c	554
Sp _{Baum}	0.465	-0.281 ^c	531	1.141	-0.679 ^c	426	1.601	-0.746 ^c	966	1.917	-0.963 ^c	287
Verschie.	0.556	0.206 ^c	451	1.603	1.131 ^c	436	4.229	4.302 ^c	857	6.594	6.130 ^c	481
Gew _{Kreis.}	0.242	-0.013	420	2.091	-0.525 ^c	475	1.662	-0.019	1040	1.705	0.080	275
Gew _{Fl.}	1.337	1.250 ^c	398	2.227	2.263 ^c	432	3.053	2.668 ^c	1016	3.321	2.262 ^c	364

X^a ...5% i. w.; X^b ...1% i. w.; X^c ...0.1% i. w.;

Bei der Berechnung der Überlappungszonen mit variablen Baumeinflußradien lagen die Korrelationen beim Spiegeln um Grenze und Verschieben deutlich unter den anderen Modellen. Auch beim Anstieg einer Regressionsgeraden weichen beide Modelle deutlich von den anderen ab. Beim Mittelwert waren alle Modelle signifikant vom wahren Wert verschieden. Die Kreisbogengewichtung lag jedoch am nächsten bei 0. Bei der Standardabweichung konnte für die Spiegelung um den Baum und Kreisbogengewichtung kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden (siehe Tabelle 4.39).

Tabelle 4.39: Überlappungsflächen mit Einflußradius $r = 3.75 - \sqrt{1 - \frac{113.5 - BHD}{113.5}}$ m

Methoden	r	c	a	b	\bar{x}	s
keine	0.930	1.102	0.012	1.005	-0.145 ^c	0.726 ^b
Sp _{Gr.}	0.651	0.465	0.371	0.341	0.696 ^c	1.496 ^c
Sp _{Baum}	0.929	1.039	0.093	0.977	-0.073 ^c	0.746
Verschie.	0.779	0.715	0.235	0.600	0.223 ^c	1.018 ^c
Gew _{Kreis.}	0.933	0.942	0.008	0.895	0.021 ^b	0.818
Gew _{Fl.}	0.930	0.841	0.118	0.779	0.110 ^c	0.938 ^c

Wirklicher Mittelwert = 0.924, Standardabweichung = 0.785, Stichprobenumfang = 1155.

Bei der Aufteilung nach verschiedenen Hochrechnungsfaktoren konnte nur das Modell Gewichtung mit der Bogenlänge überzeugen (siehe Tabelle 4.40).

Tabelle 4.40: Standardabweichung der Flächenüberlappungen bei $r = 3.75 - \sqrt{1 - \frac{113.5 - BHD}{113.5}}$ m mit verschiedenen Hochrechnungsfaktoren

Hochrechn. Methode]1-1.25]]1.25-1.5]]1.5-2.25]]2.25-∞]		
	s	\bar{x}	n	s	\bar{x}	n	s	\bar{x}	n	s	\bar{x}	n
keine	0.289	-0.145 ^c	1155	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sp _{Gr.}	0.096	-0.001	491	0.404	0.320 ^c	153	1.074	0.984 ^c	276	1.386	1.690 ^c	381
Sp _{Baum}	0.209	-0.077 ^c	747	0.379	-0.098 ^a	91	0.409	-0.067 ^a	301	0.378	0.098	16
Verschie.	0.168	-0.044 ^c	616	0.473	0.242 ^c	205	0.800	0.502 ^c	201	1.001	0.760 ^c	235
Gew _{Kreis.}	0.106	-0.009	527	0.278	0.037	217	0.427	0.046 ^a	361	0.483	0.095	50
Gew _{Fl.}	0.112	0.059 ^c	549	0.317	0.132 ^c	238	0.498	0.146 ^c	314	0.786	0.331 ^b	53

$X^a \dots 5\%$ i. w.; $X^b \dots 1\%$ i. w.; $X^c \dots 0.1\%$ i. w.;

Kapitel 5

Implementierungsvorschläge

In diesem Abschnitt werden Vorschläge gemacht, wie die erstellten Modelle in einem Wachstumssimulator implementiert werden können.

5.1 Verjüngung

5.1.1 Mortalität

Dieses Modell ist nur für Wachstumssimulatoren nötig, deren Mortalitätsmodell für Bäume unter 1.3 m Höhe nicht anwendbar ist. Ansonsten kann das bereits bestehende Modell verwendet werden.

Im ersten Schritt, bevor es zur Entscheidung kommt, ob in den letzten fünf Jahren neue Verjüngung dazugekommen ist, wird untersucht, ob die vorhandene Verjüngung die letzten fünf Jahre überlebt hat. Für diese Entscheidung wird der Verjüngungskonkurrenzfaktor KONK benötigt. Wie dieser ermittelt werden kann, ist in Abschnitt 5.1.2 beschrieben. Falls der Faktor KONK bei Buche und Fichte größer als 8 und bei Tanne größer als 10 ist, kommt es bei diesen Baumarten zu Mortalität. Um der natürlichen Variation Rechnung zu tragen, wird zu diesem Vergleichswert noch eine gleichverteilte Zufallszahl zwischen -0.5 und 0.5 addiert. Diese Zufallszahl kann für jede Unterfläche, für jede Baumart, für jede Unterfläche ohne Berücksichtigung der Baumart, oder für die gesamte Fläche für jede Baumart oder für die gesamte Fläche ohne Berücksichtigung der Baumart erzeugt werden. Empfohlen wird, diese Zufallszahl für jede Unterfläche und jede Baumart zu erzeugen. Bei Überschreiten dieses Grenzwertes werden solange Bäume vom unteren Ende (bei den kleinsten Bäumen beginnend) entfernt, bis dieser Grenzwert erreicht ist, bzw. bis keine Bäume bis 1.3 m vorhanden sind.

Danach kommt es noch zur zufallsbedingten Mortalität. Dazu wird eine, zwischen 0 und 1 gleichverteilte Zufallszahl, mit Gleichung 2.79 auf Seite 20, in eine Mortalitätsrate umgerechnet. Wenn sich z. B. eine Mortalitätsrate von 0.25 errechnet, wird jeder vierte Baum mit einer Höhe bis 1.3 m entfernt. Diese Zufallszahl kann ebenfalls für den gesamten Bestand, für jede Baumart des Bestandes, für jede Unterfläche oder für jede Baumart jeder Unterfläche erzeugt werden. Empfohlen wird, diese Mortalitätsrate für jede Baumart im Bestand zu erzeugen. Zu beachten ist, daß sich diese Mortalität auf *ein* Jahr bezieht.

5.1.2 Ankommen

Dazu werden folgende Daten benötigt:

- KONK nach Gleichung (2.74 auf Seite 17)
- BHD_{max} der modellierten Baumarten

- Humustyp (Mull, mullartiger Moder / moderartiger Mull, Moder)
- Seitenlicht (ja / nein)

Um zu diesen Daten zu gelangen, bedarf es einer Stichprobe im Bestand. Wachstumssimulatoren, welche auf Stichprobepunkten beruhen, können sofort diese Daten verwenden. Bei abstandsabhängigen Wachstumssimulatoren sollte die Probefläche in kleine Teile aufgeteilt werden und dann für diese die Verjüngungssituation geschätzt werden.

In Abbildung 5.1 ist solch eine Aufteilung dargestellt. Wie groß diese Teilflächen sind, bleibt der konkreten Implementierung überlassen. Jedoch sollten diese Flächen nicht zu klein und auch nicht zu groß sein. Empfohlen wird eine Fläche von $4 \times 4 \text{ m} = 16 \text{ m}^2$, auf welcher alle Bäume mit einem $BHD \leq 9 \text{ cm}$ aufgenommen werden. Auf dieser Fläche werden *alle* Bäume aufgenommen und nicht nur jene die über 1.3 m hoch sind. In der Mitte dieser Fläche wird eine Winkelzählprobe mit Zählfaktor $k = 4$ durchgeführt, wobei alle Bäume mit einem $BHD > 9 \text{ cm}$ aufgenommen werden. Die so aufgenommen Bäume repräsentieren eine gewisse Stammzahl je Hektar. Zu beachten ist jedoch, daß bei abstandsabhängigen Wachstumssimulatoren die verwendete Fläche in der Regel nicht auf freier Flur zu finden ist, sondern einen Ausschnitt eines Waldes darstellt. Die Bäume am Bestandesrand haben daher Konkurrenten, welche nicht mehr aufgenommen wurden. Diese Konkurrenten außerhalb der Bestandesfläche haben jedoch auch einen Einfluß auf die Verjüngung. Dieser Randeffekt wird in der Regel dadurch berücksichtigt, daß die repräsentierte Stammzahl, eines aufgenommenen Baumes, erhöht wird. Hier wurde die repräsentierte Stammzahl mit dem Verhältnis Kreisbogenlänge außerhalb, zu Kreisbogenlänge innerhalb der Fläche, berechnet (siehe Abbildung 5.2 und Abschnitt 2.4.4.2 auf Seite 31). Diese Vorgehensweise entspricht weitestgehend einem Vorschlag von Monserud und Ek (1974); Martin u. a. (1977).

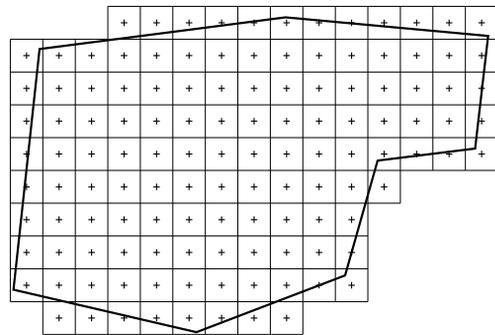


Abbildung 5.1: Beispielhafte Probeflächenaufteilung zur Verjüngungsprognose

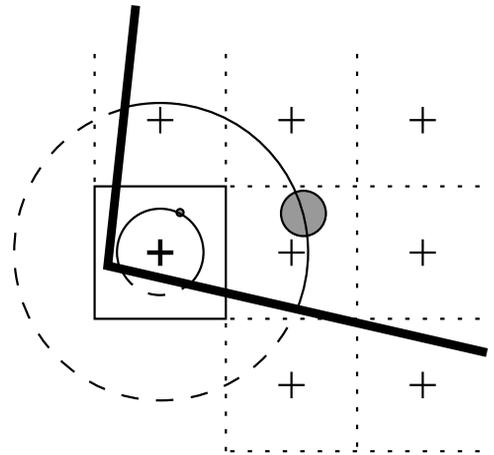


Abbildung 5.2: Gewichtung der Probebäume am Bestandesrand

Aus dieser Stichprobe kann nun das Konkurrenzmaß KONK, sowie die maximalen BHD's berechnet werden. Humustyp und Seitenlichteinfluß müssen vom Anwender aufgenommen und angegeben werden. Bei der Berechnung von KONK kann es jedoch beim Vorhandensein von anderen als den in Tabelle 4.1 auf Seite 53 angegebenen Baumarten, zu Schwierigkeiten kommen. Der einfachste Weg zur Umgehung dieses Problems ist jener der Gleichstellung der „neuen“ mit einer bereits angeführten Baumart. Weiters können auch Koeffizienten gutachtlich geschätzt werden oder auch mit entsprechenden Datensätzen neu bestimmt werden.

Damit kann nun die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein von Verjüngung, die Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Baumart in der Verjüngung und die Verjüngungsdichte für alle Bäume bestimmt werden. Um das Modell leichter um andere Baumarten erweitern zu können, wird für jede betrachtete Baumart, deren Wahrscheinlichkeit für das Auftreten in der Verjüngung berechnet und anschließend ebenfalls für jede Baumart, deren Stammzahl in der Verjüngung.

Wenn nun die Wahrscheinlichkeit berechnet wurde, wird diese mit einer zwischen 0 und 1 gleichverteilten Zufallszahl verglichen. Ist die Wahrscheinlichkeit höher als die Zufallszahl, kommt es in der Simulation auf diesem Punkt zu neuer Verjüngung. Diese Zufallszahl kann bei jeder Berechnung neu erzeugt werden oder nur einmal für die gesamte Fläche je Simulationsperiode oder für jede Baumart je Simulationsperiode. Empfohlen wird diese Zufallszahl je Bestand und Baumart zu erzeugen. Wenn die Entscheidung, daß es neue Verjüngung einer bestimmten Baumart gibt, gefallen ist, wird für diese die Stammzahl je m^2 berechnet und auf die Subprobenfläche hochgerechnet. Falls eine Anfangshöhe des Baumes benötigt wird, kann diese mit den typischen Werten für 1 bis 6 jährige Bäume dieser Baumart initialisiert werden. In der Regel dürfte eine Initialisierung mit $h = 10$ cm ausreichen.

Wenn es sich um einen abstandsabhängigen Wachstumssimulator handelt, muß noch die Baumposition der Verjüngung bestimmt werden. Dies geschieht mittels gleichverteilter Zufallszahlen. Diese Zufallszahlen müssen den Bereich der fixen Subfläche abdecken. Die somit erzeugten Koordinaten müssen noch auf die Fragestellung hin überprüft werden, ob dieser Baum:

- innerhalb der Probenfläche liegt,
- nicht in der Kreisfläche eines anderen Baumes liegt.

Falls er außerhalb liegt, wird dieser Baum einfach gelöscht. Falls er auf einem anderen Baum steht, müssen seine Koordinaten erneut erzeugt werden, dann aber innerhalb der Probenfläche liegen.

5.1.3 Verbiß

Bei Angabe eines Verbißprozentes einer Baumart ist die Verjüngungsanzahl mit den Koeffizienten in Tabelle 4.23 auf Seite 78 zu multiplizieren. Zwischenwerte werden durch Interpolation ermittelt. Der Einfluß des Verbisses auf den Höhenzuwachs wurde nicht untersucht, kann jedoch durch Setzen des Höhenzuwachses, bei einer dem Verbißprozent der Baumart entsprechenden Anzahl, auf $ih = 0$ berücksichtigt werden.

5.1.4 Höhenzuwachs

Dieses Modell ist nur für jene Wachstumssimulatoren gedacht, deren eigenes Höhenzuwachsmo-
dell bei Bäumen bis 1.3 m Höhe nicht anwendbar ist oder wenn dieses zu lange Rechenzeiten verursachen würde. Für dieses Modell werden folgende Daten benötigt:

- Potentieller Höhenzuwachs
- Oberbestandeskonkurrenz
- Konkurrenz innerhalb der Verjüngung
- Seitenlichteinfluß

Bei Verwendung des abstandsunabhängigen Höhenzuwachsmo-
dells wird bei abstandsabhängigen Wachstumssimulatoren das Aufteilen der Fläche in Teilflächen empfohlen. Der Seitenlichteinfluß wird dabei nach Gleichung 2.48 auf Seite 12 oder nach Gleichung 2.47 auf Seite 12 berechnet. Falls kein Seitenlichteinfluß vorhanden ist wird $SUMD = 0$ bzw. $EIL = 0$ gesetzt. Bei Wachstumssimulatoren, bei denen der Höhenzuwachs auf dem Potentialkonzept beruht, kann mit den dabei verwendeten Routinen das Potential bestimmt werden. Bei den anderen können Gleichung (2.52, 2.53 und 2.54) auf Seite 14 verwendet werden. Als Koeffizienten werden dann jene aus Tabelle 2.1 auf Seite 15 verwendet. Wie aus diesen Oberhöhenkurven der potentielle Höhenzuwachs ermittelt wird, ist in Abbildung 5.3 zu sehen.

Die Oberbestandeskonkurrenz kann nun abstandsabhängig oder abstandsunabhängig berechnet werden. Außerdem gibt es zwei Möglichkeiten der Berechnung der Konkurrenz innerhalb der Verjüngung. Welche Variante nun verwendet wird, ist abhängig von den vorhandenen Daten und dem spezifischen Anwendungsfall. Die Variante, welche in den meisten Fällen

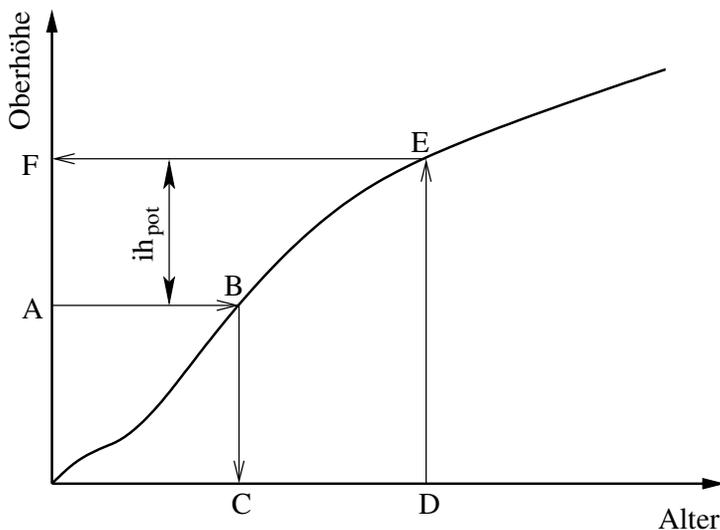


Abbildung 5.3: Bestimmung des potentiellen Höhenzuwachses

Zunächst wird über die Baumhöhe das ideale Baumalter bestimmt (ABC). Zu diesem Alter wird der Prognosezeitraum dazuaddiert (CD). Danach wird die neue Höhe bestimmt (DEF). Der potentielle Höhenzuwachs ergibt sich aus der Baumhöhendifferenz zwischen den Punkten A und F.

verwendet werden kann, ist jene mit CCF als Bestandesdichtemaß und der Anzahl der Bäume, welche größer als der untersuchte Baum und kleiner als 1.3 m sind. Wenn nun der fünfjährige Höhenzuwachs berechnet wurde, kann noch eine Zufallsstreuung dazuaddiert werden, welche der Standardabweichung bei der Parametrisierung entspricht. Dazu empfiehlt es sich keine Normalverteilung zu verwenden, da diese bekanntlich von $-\infty$ bis $+\infty$ reichen kann und dies im allgemeinen bei der weiteren Berechnung zu Problemen führt. Als Ausweg kann eine beidseitig abgeschnittene Normalverteilung verwendet werden, sodaß es zu keinen negativen Höhenzuwächsen kommen kann. Eine $N(0,1)$ normalverteilte Zufallszahl (Y_1 und Y_2) kann aus zwei im Einheitsintervall gleichverteilten Zufallszahlen (X_1 und X_2) mit Gleichung (5.1 und 5.2) nach Ross (1968) berechnet werden.

$$Y_1 = \sqrt{-2 \ln X_1} \cos(2\pi X_2) \quad (5.1)$$

$$Y_2 = \sqrt{-2 \ln X_1} \sin(2\pi X_2) \quad (5.2)$$

5.2 Koordinatengenerierung

Dazu sind folgende Punkte abarbeitbar:

1. Flächengröße festlegen
2. BHD und Baumart
 - Einlesen von Vollaufnahme
 - Erstellen durch BHD-Verteilungsform z. B. mittels Weibullfunktion und Baumartenanteilsangabe
3. Initialisierung von Baumkoordinaten
 - Gleichverteilte Zufallszahlen
 - Nach einer Seite gleichmäßig lockerer werdende Zufallszahlen
 - Systematische Koordinaten (z. B. 1×2 m Raster)
4. Horizontalstruktur durch Verschieben der Baumkoordinaten erzeugen
 - (a) Abstand zum nächsten Nachbarn bestimmen
 - (b) Kontrollieren, ob Abstand von Vorgabe abweicht
 - (c) Baum und dessen nächsten Nachbarn verschieben, sodaß Vorgabe besser erfüllt wird
5. Nachbarschaftsbeziehung zwischen den Baumarten durch Positionstausch erzeugen
 - (a) Anteil der gleichen Baumart der nächsten n Nachbarn für alle Bäume bestimmen
 - (b) Suchen, wo der Anteil bei anderer Baumart besser zur Vorgabe paßt, und diese beiden tauschen
6. Berechnung der Einzelbaumstandfläche nach Brown (Keine Berücksichtigung des BHD's)
7. Zuordnen der Standflächengröße zum BHD unter Berücksichtigung der Baumart
8. Berechnung der Einzelbaumstandfläche nach Faber (Berücksichtigung des BHD's)
9. Zuordnen der Standflächengröße zum BHD unter Berücksichtigung der Baumart
10. Verschieben der Baumkoordinate zu deren Standflächenschwerpunkt

Dabei müssen einzelne Punkte öfters wiederholt werden. Manche Punkte können auch übersprungen werden. Weitere Informationen zur Implementierung der Koordinatengenerierung können aus Kittenberger (2003) entnommen werden.

Kapitel 6

Diskussion

6.1 Bestehende Modelle

6.1.1 Konkurrenz

In MOSES wird die Konkurrenzberechnung gegenüber FOREST um einige Teilschritte vereinfacht. So wird keine Konkurrenzentspannung für kleine Bäume vorgenommen und eine Reaktion auf die Freistellung wird im Konkurrenzindex nicht berücksichtigt. Diese Vereinfachung führt bei kleinen Bäumen zu sehr hohen Konkurrenzindizes, was im Grunde nicht weiter stören muß, wenn in der Verwendung des Konkurrenzindex dennoch eine Möglichkeit für kleine Bäume besteht, um entsprechend große Höhenzuwächse zu realisieren. Die Reaktion auf Freistellung muß ebenfalls nicht unmittelbar im Konkurrenzindex erfolgen, sondern wird in MOSES durch Angabe der Konkurrenzindexänderung realisiert.

6.1.2 Potentielle Kronenradien

Bei der Berechnung der potentiellen Kronenradien wird in den angegebenen Arbeiten entweder ein linearer oder ein allometrischer Zusammenhang unterstellt. Dabei verwenden nur Krajicek u. a. (1961) und Ek (1974) Absolutglieder. Alle anderen zwingen den Kronenradius, bei einer Wuchsgröße von Null, ebenfalls durch Null. Wenn zur Kronenradiusberechnung der BHD verwendet wird, sollte diese Kurve nicht durch Null laufen, da Bäume mit einer Höhe unter 1.3 m auch einen Kronenradius besitzen. Wie groß dieser Kronenradius ist, läßt sich dann aber nicht mehr sagen. Daher scheint die Verwendung der Höhe zur Bestimmung des Kronenradiuses, zumindest wenn auch Bäume im Bereich von 1.3 m Höhe beachtet werden, besser. Aber auch beim Wechsel von BHD zu Höhe oder umgekehrt zur potentiellen Kronenradiusberechnung, sind beachtliche Unterschiede zu erwarten. Dies resultiert aus dem Umstand, daß Bäume auf Konkurrenz von der Seite mit einer Verringerung des Durchmesserzuwachses reagieren, der Höhenzuwachs reagiert jedoch kaum. Das heißt, daß der h/d -Wert mit Zunahme der Bestandesdichte ansteigt. Damit wird der Kronenradius bei Verwendung des BHD im Schnitt hinter jenem aus der Baumhöhe zurückbleiben. Es ist somit, bei Verwendung des BHD's, zur Berechnung einer Bestandeskonkurrenz (z. B. der CCF nach Krajicek u. a. (1961)), mit einer Abschwächung des Konkurrenzindex durch die kleineren BHD's zu rechnen. Daher ist es wesentlich, bei der Berechnung eines Konkurrenzindex aus der potentiellen Schirmfläche, deren Herleitung anzugeben.

Die Vorgehensweise, die potentiellen Kronendurchmesser durch Einsetzen eines berechneten Solitärdurchmessers, in Gleichungen, welche den Kronenradius eines Bestandesbaumes berechnen, zu bestimmen, liefert zwar größere Kronenradien als die direkte Verwendung des beobachteten BHD's. Ob der so bestimmte Kronenradius jedoch einem ohne Konkurrenz gewachsenen Baum mit gleichem BHD entspricht, ist zu bezweifeln. Dieser Zweifel ergibt sich schon bei der

Aufstellung der Regression zur Bestimmung des Kronenradiusses eines Baumes im Bestand. Dabei wurde die Konkurrenzsituation des Baumes nicht berücksichtigt. So hat ein gleichstarker Baum in einem dichten Bestand bestimmt einen kleineren Kronendurchmesser als einer in einem lockeren. Nach Kahn und Pretzsch (1997) wird beispielsweise der Kronendurchmesser mit $kd = e^{b_0 + b_1 \ln(bhd) + b_2 h + b_3 \ln \frac{h}{\overline{hd}}}$ berechnet. In dieser Form wird durch den h/d -Wert die Konkurrenzsituation des Baumes berücksichtigt. Zur Bestimmung eines potentiellen Kronendurchmessers aus Bäumen, welche nicht ohne Konkurrenz wachsen, scheint es besser, die Bestandesdichte neben BHD und/oder Höhe in das Modell eingehen zu lassen und dann zur Berechnung des Potentials einfach die Dichte gleich Null zu setzen, wie dies auch bei der Berechnung des Solitärdurchmessers erfolgte.

6.1.3 Höhenzuwachsmodelle

Bei den vorgestellten Höhenzuwachsmodellen basieren einige auf dem Potentialkonzept, andere nicht. Die Höhenzuwachsgleichung nach Moses, welches auf dem Potentialkonzept aufbaut, berücksichtigt das Kronenverhältnis, einen Konkurrenzindex und eine Konkurrenzindexänderung. Diesem Konzept ist es somit nicht möglich, kleine Bäume, welche nach der Konkurrenzberechnung einen hohen Konkurrenzindex haben, entsprechend zu berücksichtigen. Daher müssen, wenn deren Höhenzuwachspotentiale nicht entsprechend hoch sind und die Beobachtung, daß der Höhenzuwachs kleiner Bäume relativ unabhängig von der Konkurrenz erfolgt, zutrifft, deren Höhenzuwächse unter den Erwartungen zurückbleiben. Im Gegenzug wachsen dann aufgrund der Minimierung der Abweichungsquadrate die großen Bäume besser als deren Beobachtung, solange derartige Daten vorhanden sind und auch alle Bäume zur Parametrisierung verwendet werden.

Jene beiden Höhenzuwachsmodelle, welche nicht auf dem Potentialkonzept beruhen, verwenden neben anderer Eingangsgrößen den Durchmesserzuwachs. Das bedeutet aber in der Simulation, daß bei Abweichungen des Durchmesserzuwachses von der Beobachtung auch der Höhenzuwachs abweichen sollte. Bei der Parametrisierung gibt es in diesem Fall zwei Möglichkeiten der Durchmesserzuwachsbestimmung. Zum einen können die beobachteten Messungen verwendet werden, zum anderen können jene Ergebnisse, des zuvor erstellten Durchmesserzuwachsmodells, verwendet werden. Aufgrund der Anwendung in einem Wachstumssimulator scheint die Verwendung der Modellprognosen, welche auch in der Simulation zur Verfügung stehen, als die sinnvollere Variante.

Da es sich bei Höhenwachstumskurven in der Regel nicht um Gerade handelt, wird bei der linearen Interpolation oder Extrapolation auf eine vorgegebene Periodenlänge der Höhenzuwachs über oder unterschätzt (siehe Abbildung 6.1). Es ist daher besser eine bekannte Krümmung, wie sie z. B. eine Oberhöhenkurve hat, zur nichtlinearen Interpolation zu verwenden. Die Interpolation kann bei relativ kurzen Beobachtungszeiträumen linear erfolgen, bei längeren ist jedoch die Verwendung einer Kurve anzuraten.

6.1.4 Potentieller Durchmesserzuwachs

In Gleichung (2.22) auf Seite 8, zur Berechnung des Durchmesserzuwachspotentials, hat das berechnete Höhenzuwachspotential einen wesentlichen Einfluß. Bei alten Bäumen tendiert das Höhenzuwachspotential gegen Null. Damit muß auch das Durchmesserzuwachspotential gegen Null streben, was den Beobachtungen in der Natur nicht entspricht. Dasselbe Problem trifft aber auch die Gleichungen zur Berechnung des Solitärdurchmessers. Auch bei ihnen hat ein Solitär, welcher keinen Höhenzuwachs und damit keine Änderung der Höhe hat, auch keine Änderung im Durchmesser. Von den vorgestellten Gleichungen zur Berechnung der Solitärdurchmesser berücksichtigt nur Gleichung 2.23 auf Seite 8, daß Bäume mit einer Höhe unter 1.3 m keinen BHD haben.

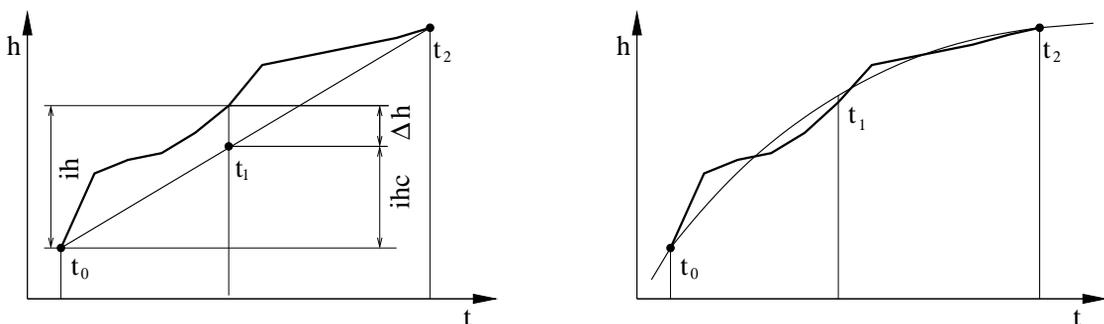


Abbildung 6.1: *Einfluß der Periodenlänge auf den Höhenzuwachs*

Hier wird versucht, die Baumhöhe zum Zeitpunkt t_1 aus den Messungen zum Zeitpunkt t_0 und t_2 zu bestimmen. In der linken Abbildung geschieht dies durch lineare Interpolation. i_h ist dabei der beobachtete Höhenzuwachs, i_{hc} jener der berechnet wird und Δh die Differenz zwischen Beobachtung und Berechnung. Rechts wird nicht linear interpoliert, sondern eine Kurve, deren Krümmung dem Oberhöhenwachstum in diesem Höhenbereich entspricht, zwischen den beiden Beobachtungen eingehängt.

6.1.5 Kronenansatzmodell

Der „Trick“, den Durchmesser um 0.1 zu erhöhen, den Ek (1974) bei der Parametrisierung seiner Kronenansatzgleichung anwendet, bewirkt, daß auch Bäume mit $d = 0$ nicht automatisch eine Kronenlänge von Null erhalten. Daher ist es empfehlenswert, diesen Gesichtspunkt auch bei den anderen Parametrisierungen zu beachten.

6.1.6 Mortalitätsmodell

In Gleichung 2.34 auf Seite 9 wird die beobachtete Mortalität einer Zeitspanne auf die jährliche Mortalitätsrate umgerechnet. Als problematisch könnte sich dabei die Verwendung des Durchmesserzuwachses, auch wenn dieser der durch das Modell prognostizierte ist, erweisen. So nimmt der Durchmesserzuwachs mit Zunahme der Wachstumsperiodenlänge zu. Außerdem wird bei einer Periodenlängenzunahme ein Abfallen der Zuwächse vor der Mortalität durch die Wachstumsjahre davor abgeschwächt.

6.1.7 Koordinatengenerierung

In Strugen (Pretzsch 1995) werden zufällige Koordinaten erzeugt und diese dann akzeptiert oder abgelehnt. Dies erfolgt mit Hilfe von vordefinierten Filtern, welche Wahrscheinlichkeiten für den jeweiligen Punkt berechnen. Mit dieser Methode können recht gut Nachbarschaftsbeziehungen zwischen unterschiedlichen Baumarten erzeugt werden. Als nachteilig zeigt sich aber der Umstand, daß derzeit nur von zwei Baumarten Koordinaten erzeugt werden können. Außerdem kann es bei dieser Methode vorkommen, daß Koordinaten immer abgelehnt werden und der Generierungsprozeß nie abgeschlossen werden kann. Außerdem ist es auch nicht sehr effizient, generierte Koordinaten bei Nichtakzeptanz zu verwerfen. Die Abfrage, ob ein bestimmter Mindestabstand zwischen zwei Nachbarbäumen eingehalten wird, hat den Effekt, daß der Clark&Evans-Index stets über 1 zu liegen kommen sollte. Tatsächlich vorgegeben kann dieser Strukturindex jedoch nicht werden. Bei der in Strugen verwendeten Methode, wie die Mischung zwischen zwei Baumarten erzeugt wird, wurde leider nicht berücksichtigt, daß dadurch in der Regel eine höhere Bestandesdichte im Bereich, wo beide Baumarten vorkommen, erzeugt wird, solange diese nicht durch den Mindestabstand zwischen zwei Bäumen abgepuffert wird. Dies ist auch in den Beispielen welche in Pretzsch (1995) gezeigt werden, durch den deutlich unter 1 liegen CL&EV-Index bei der Mischbaumart zu sehen. Mit Strugen werden demnach nur Zufallskoordinaten erzeugt, welche einen bestimmten Mindestabstand zueinander einhalten, wovon manche Bereiche der einen Baumart, andere der anderen Baumart zugeteilt werden. Damit läßt sich eine Segregation der Baumarten nachbilden, nicht jedoch eine horizontale Bestandesstruktur.

6.2 Verjüngung

6.2.1 Ankommen von Verjüngung

Die nach Schweiger und Sterba (1997); Schweiger (1997); Sterba u. a. (1997) beschriebenen Methoden, die Verjüngung in einem Wachstumssimulator zu beschreiben, erzeugt bei jeder Zuwachsperiode eine neue Verjüngung, ohne auf die bereits aus der letzten Periode noch vorhandenen Bäume einzugehen. Es müssen vielmehr alle Bäume, die aus der Vorperiode noch vorhanden sind, entfernt und durch die neue Prognose ersetzt werden. Weiters scheint es in diesem Modell nicht vorteilhaft, Information von Bäumen mit einem BHD unter 10.5 cm zu ignorieren. Da in diesem Modell alle Bäume bis zu einer Höhe von 1.3 m ergänzt werden, wird für diese, deren Höhe mit einer gleichverteilten Zufallszahl bestimmt und über diese zufällige Höhe die Verjüngungsdichte berechnet. Dadurch mag zwar die Verjüngungsdichte vernünftige Werte bei der entsprechenden Verjüngungshöhe annehmen, sie ist aber dennoch nur von der Zufallszahl, welche zur Bestimmung der Verjüngungshöhe verwendet wurde, abhängig. Die Verwendung einer gleichverteilten Zufallszahl, zur Bestimmung der Verjüngungshöhe, scheint deshalb nicht vorteilhaft, da aus den in dieser Arbeit verwendeten Daten hervorgeht, daß es wesentlich häufiger niedrige Verjüngung als hohe Verjüngung gibt. Für die Anwendung erscheint es daher effizienter, den hier vorgeschlagenen Weg zu beschreiben und immer nur die neu dazugekommene Verjüngung zu der bereits vorhandenen zu ergänzen. Da die ergänzte Verjüngung im Schnitt ein Alter hat, das der halben Zuwachsperiode entspricht, ist auch deren mittlere Höhe relativ gering und kann vereinfacht als ein fix vorgegebener Wert angenommen werden. Wenn nun diese fixe Höhe in Gleichung 2.51 auf Seite 13 eingesetzt wird, hat nur mehr die darin verwendete Zufallszahl einen Effekt auf die Stammzahl. Auch in dieser Arbeit wurde ein Modell entwickelt, welches nur aufgrund von Zufallszahlen die Stammzahl berechnet. Zusätzlich wurde noch ein Modell formuliert, welches aus einigen Bestandes- und Standortdaten die Verjüngungsdichte schätzt.

Die Modelle zur Prognose von Verjüngung basieren unter anderem auf dem Koeffizienten *Konk*. Bei der Bestimmung seiner Koeffizienten wurde jedoch nur die Trennbarkeit, für die Entscheidung, ob Verjüngung vorkommt oder nicht, optimiert. Es könnten auch für die anderen Modelle eigene Koeffizienten auf dieselbe Weise bestimmt werden. So könnten sich andere Koeffizienten für das Ankommen von Fichte und Buche, sowie für die Verjüngungsdichte einzelner Baumarten ergeben. Da der Konkurrenzindex auf ihren speziellen Bedarf optimiert wurde, mußte dies eine Verbesserung der einzelnen Modelle zur Folge haben.

Das Modell, zur Prognose der Wahrscheinlichkeit für neue Verjüngung, wurde mit drei unterschiedlichen Bestandesdichteweisern parametrisiert. Dabei ergaben sich für alle drei ähnliche Bestimmtheitsmaße. Daher mußte die Entscheidung, welcher verwendet wird, aufgrund der Eigenschaften, welche der Weiser zeigt, getroffen werden. Beim CCF können alle Bäume unter einer Höhe von 1.3 m nicht als Konkurrenten von der neu ankommenden Verjüngung berücksichtigt werden, was sich bei Fehlprognosen in sehr jungen Beständen auswirken muß. Dies war ja auch der Grund für die Entwicklung des Koeffizienten mCCF. Dieser verwendet jedoch, durch die BHD-Transformation, Kronenflächen von zu starken Bäumen. Dadurch kann es zu einer Verzerrung der tatsächlichen Bestandesdichtesituation kommen. Um dem auszuweichen, wurde das Modell *Konk* entwickelt, welches das speziell für diese Anwendung konzipierten Bestandesdichtemaß verwendet. Daher wurde dem Bestandesdichtemaß *Konk* in weiterer Folge der Vorzug gegeben.

Da die Modelle Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Verjüngung schätzen, muß in der Simulation aufgrund dieser Wahrscheinlichkeit eine Ja/Nein-Entscheidung getroffen werden. Dazu wurden einige Methoden vorgestellt und auch angewandt. Zu Problemen kann es bei der Vorgabe des Schwellenwertes \bar{x} oder n_{gleich} kommen. Als Extrem sei eine Baumart angenommen, welche auf nahezu allen Probeflächen vorkommt. Dadurch würde sich der Schwellenwert bei der Mittelwertsmethode auf 1, bei jener Methode, wo gleiche Anzahlen im Modell wie in der Beobachtung vorkommen, auf 0 verschieben. Im einen Fall kommt dann diese Baumart nie, im anderen immer vor. Dies spricht alles für die Verwendung der Methode der Entscheidung mit Hilfe einer gleichverteilten Zufallszahl. Dabei wird das Ergebnis der Modelle so verwendet, wie

es gedacht ist, nämlich als Wahrscheinlichkeit. Es kann folglich auch bei sehr geringen Wahrscheinlichkeiten zu Verjüngung kommen, aber eben nur in relativ wenigen Fällen, und genau das passiert auch bei dieser Methode. Als Nachteil sind die geringeren Trefferquoten zu erwähnen und die Tatsache, daß das Ergebnis vom Zufall abhängig ist. Wo als Antwort auf die Verjüngungssituation nicht nur Ja/Nein-Entscheidungen verwendet werden, ist der Ausgabe der Wahrscheinlichkeiten in jedem Fall Vorzug zu geben.

6.2.2 Höhenzuwachs der Verjüngung

In das vorgestellte Höhenzuwachsmo­dell geht neben der Konkurrenz auch der Seitenlichteinfluß ein. Ein Teil des Seitenlichteinflusses wird mit der Variable SUMD beschrieben. Bei der Berechnung von SUMD nach Gleichung 2.48 auf Seite 12 ist zu beachten, daß Abstände zum Bestandesrand von 0 m nicht berechenbar sind, da es dabei zu einer Division durch 0 kommt. Nach Golser (1997) werden daher drei Arten der Umgehung dieses Problems vorgeschlagen, wobei nur zwei davon tatsächlich dieses Problem zu lösen imstande sind:

- Verwendung nur solcher Bestandesrandentfernungen, welche größer sind als der Solitär­schirmflächenradius der Bestandesoberhöhe.
- Alle Bestandesrandentfernungen, welche näher als der Solitärschirmflächenradius der Oberhöhe sind, werden gleich diesem Solitärschirmflächenradius gesetzt.
- Alle Bestandesrandentfernungen werden so verwendet wie sie erhoben wurden. Bei Bestandesrandabständen von 0 wird $SUMD = \infty$ gesetzt.

Das Problem bei den ersten beiden Punkten ist, daß es bei Mischbeständen eine Oberhöhe je Baumart gibt, bzw. kann für manche Baumarten keine Oberhöhe bestimmt werden, und somit gibt es auch unterschiedliche Bestandesrandabstände, welche nicht in der Berechnung von SUMD verwendet werden. In Golser (1997) wird jener Ansatz, welcher alle Distanzen, die kleiner sind als der Solitärschirmflächenradius der Oberhöhe, wegläßt, als bester empfohlen. Diese Vorgehensweise ist aber nur unter Verwendung eines abstandsabhängigen Dichtemaßes für den Oberbestand sinnvoll. Da es sich beim CCF um ein abstands­unabhängiges Dichtemaß handelt, kann eine Mindestentfernung, ab welcher sich ein Bestandesrandeffekt schon im Bestandesdichtemaß niederschlägt, nicht festgelegt werden. Die Angabe des CCF bezieht sich ja nur auf den Bestand, in welchem die Probefläche liegt. Wenn nun – wie in dieser Arbeit – eine einzelne Winkelzählprobe zur Bestimmung des CCF's verwendet wird, und diese an einem Bestandesrand liegt, gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten der CCF Berechnung. Zum Einen kann die WZP so durchgeführt werden als ob es keinen Bestandesrand gäbe. Dadurch sinkt der CCF mit Näherrücken des Bestandesrandes. Zu beachten ist jedoch, daß dieses Absinken des CCF's nicht unabhängig von der Zählbreite der Winkelzählprobe erfolgt. Das gleiche gilt auch für Aufnahmen von fixen Probekreisen. Dabei hat die Probekreisgröße einen Einfluß darauf, ab wann ein Bestandesrand eine Auswirkung auf die Stichprobe hat. Zum anderen kann die Probefläche geteilt und nur der Bereich aufgenommen werden, welcher innerhalb des Bestandes liegt. Dadurch verkleinert sich zwar die Probefläche, was in der Regel zu größeren Streuungen der Aufnahme führt, der Bestandesrand als solcher hat aber auf das Ergebnis der Aufnahme keinen Einfluß. Er verringert also die Bestandesdichte nicht.

Wenn die Bestandeskonkurrenz durch einen vorhandenen Bestandesrand, durch die Aufnahme bedingt, automatisch abfällt, könnte, falls der Seitenlichteffekt dadurch ausreichend beschrieben wird, eine gesonderte Berücksichtigung des Bestandesrandes entfallen. Falls nur der Effekt eines Bestandesrandes betrachtet werden soll, muß die Bestandeskonkurrenz so berechnet werden, daß sich der Randeinfluß nicht in diesem Konkurrenzindex widerspiegelt. Dennoch ist es nicht unerheblich, wie der Bereich exakt an der Bestandesgrenze behandelt wird. Zum einen muß beschrieben werden, was man unter einem Bestandesrand versteht. Dies kann jene Linie sein, welche noch durch Kronen überschirmt ist oder auch jene, die sich durch die Verbindung der letzten Stämme ergeben würde. Selbst bei genauer Aufnahmebeschreibung läßt sich bei der

Aufnahme nicht exakt der Bestandesrand bestimmen. Wenn er aber festgelegt ist, unterscheidet sich in der Regel die Bestandessituation bei einem Punkt exakt auf der Grenze kaum von einem der 1 m innerhalb oder außerhalb des Bestandes liegt. Ein Konkurrenzindex, der dies auf einfache Weise berücksichtigt, ist die Beschreibung der Bestandeskonkurrenz ohne gesonderte Randberücksichtigung¹ und eine Angabe, wie weit der Punkt von Rand entfernt² liegt, falls die so ermittelte Bestandeskonkurrenz den Randeffect nicht ausreichend beschreiben kann. Zusätzlich können auch noch weitere Angaben, die das Seitenlicht beschreiben, erhoben und ausgewertet werden.

Bei den Ergebnissen des Höhenzuwachsmo­dells fällt auf, daß die Kiefer wenig auf die Konkurrenz von Verjüngung reagiert. Dies könnte daher rühren, daß sich eine Konkurrenz der Verjüngung untereinander kaum ergibt (Niedere RCI-Werte, siehe Tabelle 3.4 auf Seite 46). Das geringe Reagieren der Kiefer auf den Seitenlichteinfluß dürfte auf den Umstand zurückzuführen sein, daß sich Kiefer nur in lockeren Kiefernbeständen verjüngt, wo ohnedies viel Licht vorhanden ist.

Die Vereinfachung der Konkurrenzberechnung innerhalb der Verjüngung durch Angabe der Anzahl an höheren Bäumen, hat den Vorteil ihrer leichten Berechenbarkeit. Nachteilig kann sich jedoch die Nichtbeachtung der Baumart und deren Höhe auswirken. So hätte ein Baum, der nur 1 cm größer ist, denselben Effekt wie einer der 1 m höher ist. Dasselbe gilt auch für die Baumart. Dabei kann nicht ohne weiteres einer Tanne und einer Kiefer der gleiche Einfluß auf den Höhenzuwachs einer kleineren Pflanze unterstellt werden. Abgesehen davon hätte natürlich auch der Abstand der Pflanze einen Einfluß. Um diesen zu berücksichtigen, müßten von allen Bäumen der Verjüngung auch deren Koordinaten bekannt sein. Dies ist jedoch in keinem der zur Verfügung stehenden Datensätze der Fall gewesen.

6.2.3 Verbiß

Die Bestimmung der Verjüngungsstammzahl, welche sich ohne Verbißdruck im Mittel einstellen würde, ist mittels Umrechnungstabelle ermöglicht worden. Dies hat den Vorteil, daß der Forstmann sofort vor Ort im Wald die Stammzahl bestimmen kann, welche sich ohne Verbiß einstellen würde. Er muß dazu lediglich die vorhandene Stammzahl und deren Verbißprozent bestimmen. Es ist damit nun jede Stammzahl bestimmbar, welche sich bei einem anderen Verbißprozent einstellen würde. Somit liegt eine einfache Entscheidungshilfe, für die zur Sicherung der Verjüngung notwendigen Maßnahmen, vor. Diese Tabelle wurde durch Beobachtungen von Stammzahlen, welche sich bei einem bestimmten Verbißprozent einstellen, erstellt. Dabei wurde unterstellt, daß sich die beobachteten Stammzahlabnahmen aufgrund von dem beobachteten Verbißprozent einstellen. Eine andere Interpretation dieser Beobachtung könnte jedoch auch behaupten, daß ein konstanter Wilddruck herrscht der stets gleich viele Pflanzen verbeißt. Auf Flächen mit weniger Verjüngung stellt sich dann ein hohes, auf jenen mit dichter Verjüngung ein geringes Verbißprozent ein.

Bei den Darstellungen des Verbißprozent sind beträchtliche Unterschiede in verschiedenen Klassen zu beobachten. So lassen sich die Unterschiede bei verschiedenen Vegetationstypen durch mehrere Gründe erklären. Es kann das Nahrungsangebot durch andere krautige Vegetation hoch genug sein, daß das Wild nicht ausschließlich auf die Baumverjüngung angewiesen ist. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, daß das Wild durch die Vegetation am Zugang zur Verjüngung gehindert wird. Die Unterschiede bei den einzelnen Standortseinheiten könnten eine unterschiedliche Vegetationszusammensetzung, aber auch eine andere Wilddichte sein.

Bei der Darstellung des Verbißprozent und des Baumartenanteils (Abbildung 4.19 auf Seite 83) ist der Anstieg bei 100% Fichten- oder auch Buchenanteil dadurch zu erklären, daß auf solchen Flächen sonst keine andere Auswahl vorhanden ist und daher auf die Fichte bzw. Buche zurückgegriffen werden muß. Der Rückgang des Verbisses bei den geringeren Baumartenan-

¹So wird z. B. eine WZP am Bestandesrand genauso aufgenommen wie im Bestand.

²Mit positiven Werten innerhalb und negativen außerhalb des Bestandes um eine Information, ob der Punkt außerhalb oder innerhalb liegt, zu haben.

teilen von Tanne und Buche dürfte in der damit verbundenen geringeren Dichte und dadurch erhöhten Suchaufwand für das Wild begründet liegen.

Warum das Verbißprozent bei hohem Schutz größer wird, könnte daher kommen, daß diese Flächen erst nach einer stärkeren Verbißbelastung geschützt wurden, oder daß es nur auf stark gefährdeten Flächen umfangreiche Schutzmaßnahmen gibt.

6.3 Koordinatengenerierung – Bestandesstruktur

Die Generierung von Beständen ist für die Anwendung von abstandsabhängigen Wachstumsmodellen unerlässlich, solange nicht die Baumkoordinaten des zu untersuchenden Bestandes bekannt sind. Bei der Koordinatengenerierung kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, daß die somit erzeugten Baumkoordinaten denen in der Realität entsprechen. Dies ist auch nicht nötig, solange die Konkurrenzsituation der generierten Bäume jener in der Natur entspricht. Die Überlegenheit des Ansatzes von abstandsabhängigen gegenüber abstandsunabhängigen Modellen besteht in deren räumlich expliziten Behandlungsmöglichkeit. Damit lassen sich Plenter- und Randstrukturen untersuchen, was in abstandsunabhängigen Systemen nicht möglich ist, da dort der Bestand als homogen angesehen werden muß, solange dieser nicht auch explizit die Bestandesstruktur verarbeiten kann. Selbst wenn abstandsunabhängige Modelle die Bestandesstruktur berücksichtigen würden, wäre es für den Anwender weniger anschaulich zu jedem Eingriff auch die dadurch verursachte Änderung an der Bestandesstruktur angeben zu müssen. Die Entnahme einzelner Bäume, deren Position und Nachbarschaftsbeziehung bekannt ist (z. B. durch Auswählen am Bildschirm), entspricht in etwa auch der gewohnten Auszeige im Wald.

Die Angabe einer Kennzahl zur Beschreibung der Bestandesstruktur wird üblicherweise als ausreichend angesehen. Dies mag vielleicht für eher einheitlich strukturierte Wälder gelten, wo großflächig eine ähnliche Struktur vorherrscht, nicht jedoch für stark strukturierte und inhomogene Wälder. In diesen Wäldern würde selbst die Angabe der Streuung oder auch Verteilung einer Strukturkennzahl wenig Abhilfe schaffen, solange kein räumlicher Bezug angegeben wird. In Abbildung 6.2 ist ein Bestand dargestellt, dessen Struktur stark variiert. Links ist eine Verjüngungszelle und rechts ist eine reihenförmige Verteilung zu erkennen. Die Angabe eines Wertes zur Beschreibung der Bestandesstruktur würde nicht ausreichen, obwohl es sich bei diesem Bestand noch um einen Reinbestand handelt. In Abbildung 6.3 ist zu sehen, daß die Cl&Ev-Index Verteilung, bei Einzelbaumbetrachtung, bei verschiedenen Beständen, durchaus unterschiedlich sein kann. So unterscheidet sich der in Reihen bepflanzte Hauersteig von den restlichen Flächen beträchtlich. Auch die separate Betrachtung einzelner Baumarten bringt eine gewisse Veränderung der Verteilung. Bemerkenswert ist die Veränderung der Verteilung auch auf der Probefläche Hirschlacke zwischen den Jahren 1977 und 1997.

Bei der Angabe des Abstands zu den nächsten Nachbarn ist nur durch Betrachten des errechneten Wertes nicht klar, um welche Verteilung es sich handelt. In Abbildung 6.4 sind sechs unterschiedliche Strukturen dargestellt, obwohl sich bei jeder ein Cl&Ev-Index von 1 errechnet. Dies zeigt, daß die alleinige Berücksichtigung des nächsten Nachbarn in manchen Fällen für eine Beschreibung der Bestandesstruktur zu wenig sein kann. Andererseits kann der Aufwand, um die Bestandesstruktur hinreichend beschreiben zu können, für eine betriebsweite Bestandsgenerierung zu zeit- und arbeitsintensiv werden. Außerdem wird bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt, daß die Baumkoordinaten nicht nur in einer Ebene liegen können. Die Berücksichtigung der Geländehöhe wurde in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Dies scheint derzeit auch nicht nötig, da der Wachstumssimulator Moses, für den die Koordinatengenerierung konzipiert ist, ebenfalls die Geländehöhe nicht beachtet.

Dasselbe wie bei der räumlichen Struktur gilt auch bei der Baumartenzusammensetzung und bei der Durchmesserdifferenzierung. Auch hier kann der Bezug auf einen Nachbarn zu wenig Information enthalten. Auch die Angabe, wie stark die Standfläche um ihre Erwartung streut, muß nicht ausreichend sein. So kann ein Bestand nach einer Richtung hin lockerer werden, wodurch seine Standfläche je Grundfläche ansteigt. In diesem Fall müßte eine Angabe über die Bestandesdichteverteilung gemacht werden, bzw. gibt die Standfläche selbst einen Hinweis auf die Bestandesdichte im Bereich des Baumes. So mag der Zusammenhang zwischen der Kreisfläche eines

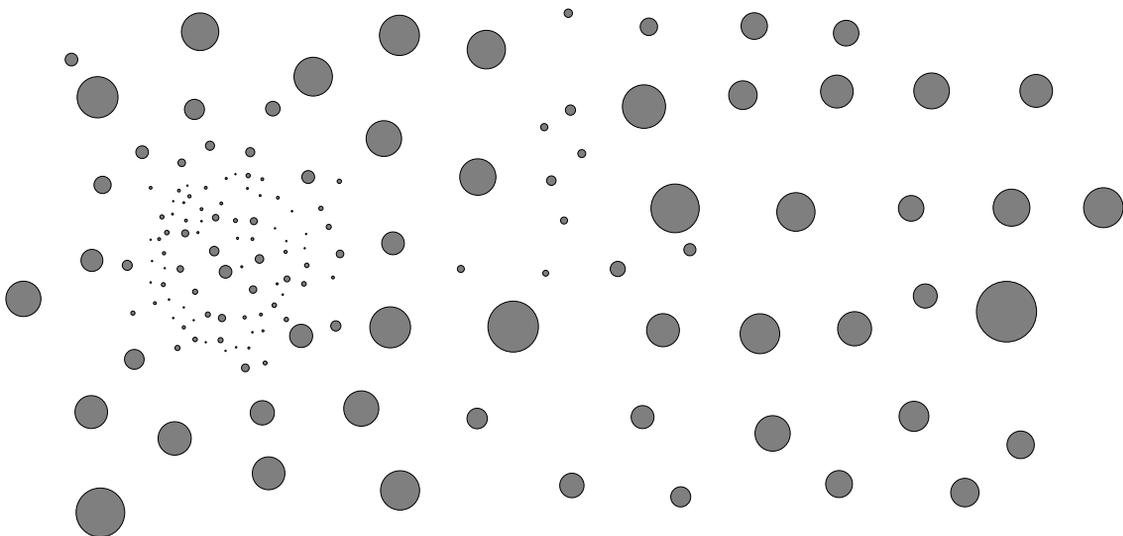


Abbildung 6.2: Nicht homogene Bestandesstruktur

Baumes und dessen Standfläche zunächst als trivial erscheinen, wenn zur Standflächenberechnung der BHD des Baumes verwendet wird. Dies ist jedoch nicht so, da die Standfläche bei dieser Berechnungsart zusätzlich von den Abständen der Bäume zueinander und deren Wuchsgröße abhängt. So würde ein starker Baum, der relativ eng von anderen starken Bäumen umgeben ist, eine kleine Standfläche erhalten, ein kleiner Baum, dessen Nachbarn weit entfernt stehen und obendrein auch noch relativ klein sind, bekommt hingegen eine große Standfläche. Um jedoch die Standfläche berechnen zu können sind wiederum die Baumkoordinaten erforderlich.

Die Beschreibung der BHD-Verteilung eines Bestandes mittels eines Kennwertes ist recht komfortabel und mag in vielen Fällen auch ausreichen. Das gesamte Spektrum an möglichen BHD-Verteilungen kann so jedoch nicht abgedeckt werden. Um das Ganze flexibler zu gestalten, könnten mehrere Funktionen, welche die BHD-Verteilung beschreiben, übereinander gelegt werden oder eine Häufigkeitsverteilung angegeben werden. Dabei scheint die Angabe einer Häufigkeitsverteilung am flexibelsten und auch praktikabelsten zu sein.

Erst durch Ausschalten des durch die Bestandesdichte und Bestandesstruktur bedingten Abstandes zwischen zwei Bäumen in Gleichung (2.97) und (4.3) konnte untersucht werden, ob der BHD einen Einfluß auf den Abstand zwischen zwei Bäumen hat. Wenn dieser Einfluß nicht ausgeschaltet wird, ist es nahezu unmöglich, keinen Einfluß des BHD's auf den Baumabstand zu beobachten, da in der Regel dicke Bäume in alten Wäldern stehen und in diesen die Stammzahl geringer ist als in jungen und dadurch der Abstand zwischen den Bäumen anwächst. Wie die Ergebnisse zeigen, ist – selbst nach ausschalten dieser Einflüsse – in einigen Fällen ein Einfluß auf den Abstand zwischen zwei Bäumen durch deren BHD gegeben. Es konnte ein Zunehmen des Abstandes mit Zunahme des BHD's beobachtet werden.

Zusammenfassend stellt sich die Frage ob es überhaupt sinnvoll ist, die Koordinaten eines realen Bestandes so gut wie möglich nachzubilden, da die Erhebung von aussagekräftigen, bestandesstrukturbeschreibenden Kennzahlen den Aufwand der koordinativen Aufnahme eines Bestandes erreichen kann. In der Regel dürfte es in den meisten Anwendungen genügen, ein nicht so genau der Realität entsprechendes Bestandesbild zu erzeugen, welches auf Schätzungen und Annahmen beruht. Wesentlich für die Wachstumssimulation ist in diesem Fall, daß räumliche Behandlungsvarianten berücksichtigt werden können. So können bei vorhandenen Baumkoordinaten die Effekte eines Saumschlages in einem abstandsabhängigen Wachstumssimulator studiert werden. In einem abstandsunabhängigen Wachstumssimulator, ohne Baumkoordinaten, ist dieses nicht so ohne weiteres möglich, da eine saumweise Entnahme auf einer Seite des Bestandes in der Regel nicht möglich ist, sondern nur eine einheitliche Behandlung des Gesamtbestandes gestattet ist.

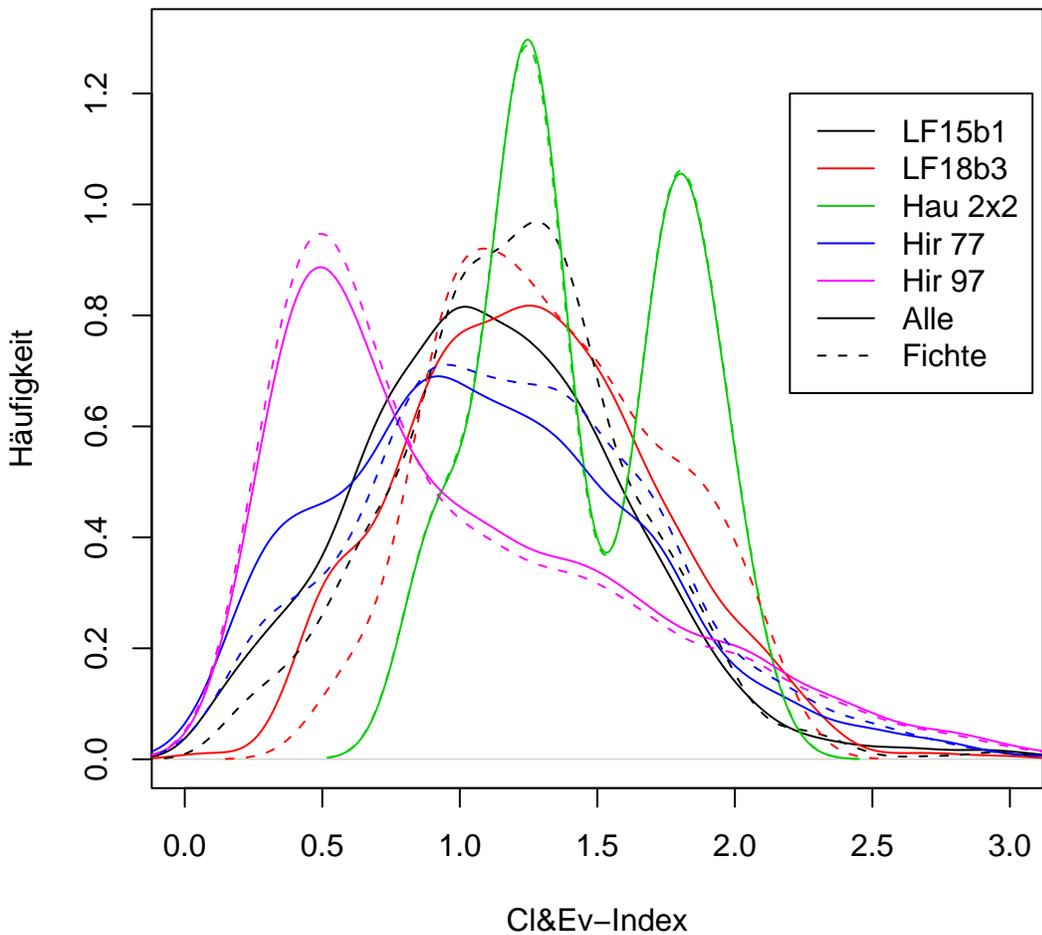


Abbildung 6.3: Verteilung der Cl&Ev-Index bei Einzelbaumbetrachtung

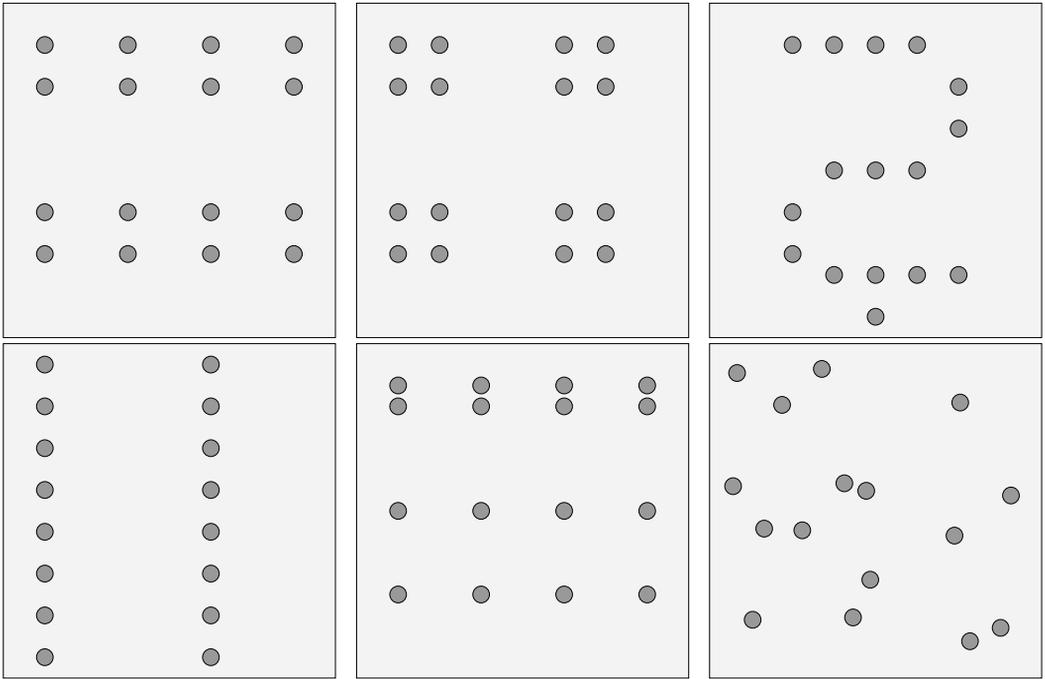


Abbildung 6.4: Aussagekraft des Strukturindex nach Clark und Evans (1954)

Alle dargestellten Flächen haben einen Strukturindex $R = 1$ nach Gleichung (2.82), obwohl deren Struktur doch recht unterschiedlich ist.

6.4 Bestandesrand

Von den untersuchten Methoden schneidet jene, welche mit dem Flächenanteil der Probefläche, der außerhalb der Aufnahme­fläche liegt, gewichtet, am besten ab, solange der Abstand der Konkurrenten nicht verwendet wird. Für eine abstandsabhängige Verwendung müßte der mittlere Abstand der Kreisfläche außerhalb der aufgenommenen Fläche berechnet werden. Der abstandsabhängige Index müßte dann mit den Baumabmessungen des hochgerechneten Baumes, mit dessen Gewichtungsfaktor und dem mittleren Abstand der Fläche außerhalb, berechnet werden.

Bei Verwendung des Baumabstandes ist die Gewichtung mit der Kreisbogenlänge zu empfehlen, da diese relativ einfach zu berechnen ist und als einzige von den verglichenen Methoden akzeptable Werte lieferte. Die Methode Spiegelung um Baum ist der Methode mit der Kreisbogenlängengewichtung sehr ähnlich, mit dem Unterschied, daß die Spiegelung um den Baum nur ganzzahlige Werte annehmen kann und Randgewichtungen über 2 nicht möglich sind. Das heißt, ein Nachbar wirkt als Konkurrent entweder so wie er ist oder seine Konkurrenzwirkung wird verdoppelt.

Die Methode Spiegelung um die Aufnahme­grenze und Verschiebung können nur bei rechteckigen Probeflächen angewandt werden. Diese Bedingung wird jedoch bei Probeflächen kaum erfüllt, daher müssen für diese Methode die Flächen auf Rechtecksform verkleinert werden. Bei der Spiegelung um die Aufnahme­grenze zeigt sich, daß ein Baum nahe der Aufnahme­grenze durch das Spiegeln selbst sein nächster Nachbar wird. Beim Verschieben wird völlig außer acht gelassen, das eine Bestandesstruktur an der einen Aufnahme­grenze nicht auch an der anderen bestehen muß. Beide Verfahren konnten nicht überzeugen.

Bei den Verfahren Kreisbogen­gewichtung und Spiegelung um den Baum können zu kleine Flächen nicht richtig hochgerechnet werden, da diese Verfahren einen Baum innerhalb der Fläche dahingehend untersuchen, ob im selben Abstand auch einer außerhalb der Fläche sein könnte. Wenn nun dieser Konkurrent in einer Entfernung liegt, dessen Radius um die gesamte Aufnahme­fläche reicht, wird dieser Konkurrent nicht erfaßt. Zusätzlich funktioniert die Spiegelung um

einen Baum auch nur bei Vorhandensein einer geraden Kante korrekt. Beispielsweise müßte für einen Baum, welcher genau in einer Ecke einer rechteckigen Probefläche liegt, dessen Konkurrenten im Schnitt auch dreimal außerhalb der Probefläche vorkommen. Durch das Spiegeln um den Baum kann jedoch nur ein Konkurrent außerhalb erzeugt werden.

Generell gilt, daß eine rechnerische Randberücksichtigung nur dann sinnvoll ist, wenn die Bestandesstruktur außerhalb der aufgenommenen Fläche annähernd jener in der aufgenommenen Fläche entspricht. Daher ist es bei Aufnahmen, deren Aufnahmegrenze gleichzeitig eine Bestandesgrenze darstellen, *nicht* zulässig die Bestandesstruktur von innerhalb auf außerhalb der Fläche zu transformieren. Hier ist es am besten alle Randbäume bei der weiteren Auswertung nicht zu verwenden.

Konsequenzen für die Probeflächenanlage

- Möglichst gutes Verhältnis von Aufnahme­fläche zu Grenzenlänge (Optimum ist Kreis)
- Möglichst große Flächen (bei kleinen Flächen gibt es nur Bäume mit Randeinfluß)
- Probeflächen wenn möglich durch ähnliche Waldstrukturen begrenzen (dadurch ist es möglich die Strukturen innerhalb der Aufnahme­fläche auch nach außen umzulegen) oder die Aufnahmegrenze entlang einer Nichtwaldfläche zu legen
- Probeflächen in homogenen Flächen anlegen³

6.5 Regression

Von den vorgestellten Methoden wollen alle einen Zusammenhang zwischen Regressand und Regressoren möglichst gut wiedergeben. Dabei hat die lineare Regression die geringste Flexibilität. Sie kann jedoch durch Verwendung mehrerer voneinander abgeleiteter Regressoren auch komplexe Zusammenhänge wiedergeben. Nachteilig kann sich dabei der hohe Aufwand an der Suche geeigneter Regressoren auswirken. Oft wird daher einfach ein Set von Transformationen verwendet und dann einfach jene verwendet, welche signifikant eingingen. Vorteilhaft an der linearen Regression ist deren allgemeine Bekanntheit und einfache Implementierbarkeit. Die Logitmodelle sind den linearen Regressionen in deren Verhalten äußerst ähnlich mit dem Unterschied, daß sie nur Ergebnisse in einem definierten Wertebereich (üblicherweise 0–1) zurückliefern. Genauso wie bei der linearen Regression können auch hier mehrere voneinander abgeleitete Regressoren verwendet werden, was einen ähnlichen Effekt wie bei der linearen Regression hat.

Bei der nichtlinearen Regression sind praktisch alle funktionalen Zusammenhänge darstellbar. Die Schwierigkeit liegt jedoch in der Formulierung der nichtlinearen Gleichung. Die Bestimmung dieses Gleichungssystems beruht in der Regel auf Annahmen, wie der Zusammenhang zwischen Regressand und Regressor sein kann. Diese Annahme wird mit Hilfe von Beobachtungen und Lehrmeinungen getroffen. Problematisch ist auch der Umstand, daß nichtlineare Regressionen in der Regel iterativ bestimmt werden und bei ungünstiger Startvariablenwahl in lokalen Minimas ihre Lösung finden.

Neuronale Netze und lokale Regressionen haben den Vorteil, daß sie den funktionalen Zusammenhang zwischen Regressand und Regressoren selbständig aus den beobachteten Daten bestimmen. Dabei muß jedoch darauf geachtet werden, daß nur der funktionale Zusammenhang nachgebildet wird und nicht auch der Restfehler. Nachteilig wirkt sich bei beiden Methoden der größere Bedarf an Daten aus. Dies ist dadurch bedingt, daß ja die Methode selbständig den funktionalen Zusammenhang herausfinden soll und daher auch mehr Daten benötigt als eine Methode, der die Funktion vorgegeben wird. Vorteilhaft ist jedoch die hohe Flexibilität der beiden Methoden. Da bei der lokalen Regression nur innerhalb des aufgenommenen Datenbereiches

³Dieser Punkt ist bei der Untersuchung von ungleichaltrigen, strukturierten Mischbeständen nicht erfüllbar.

Ergebnisse berechenbar sind, eignet sich diese Methode sehr gut zum Ergänzen von fehlenden Werten, nicht jedoch in Modellen, wo es gelegentlich zu Extrapolationen kommen kann.

Bei der Erstellung eines Entscheidungsbaumes wird ebenfalls kein Funktionstyp vorgegeben. Er ist somit auch äußerst flexibel einsetzbar. Da es sich dabei jedoch stets um Ja/Nein-Entscheidungen handelt ist er sinnvoll nur für Klassifikationsentscheidungen einsetzbar. Vorteilhaft ist die leichte Verständlichkeit der Ergebnisse eines Entscheidungsbaumes und deren Anwendbarkeit auch ohne Rechenhilfe. Es müssen lediglich einige Fragen wie z. B.: „ist der BHD größer als x “ beantwortet werden, um zum Ergebnis zu gelangen.

Anhang A

Anhang

A.1 Verjüngungsaufnahme auf WZP-Punkt

In diesem Abschnitt ist die Anweisung für die Verjüngungsaufnahme auf Probepunkten wiedergegeben, wie sie für die Aufnahme im Lehrforst erarbeitet wurde.

Einrichtung der Verjüngungsstreifen

- Ausrichtung nach Falllinie bzw. nach Richtungsangabe von letzter Aufnahme
- Zentrum ist Inventurpunkt
- Streifenlänge ist 1+4 m vom Zentrum aus. Erster Meter (Zentrumsbereich) wird hangparallel gemessen, die 4 m Aufnahmeflächenlänge bzw. die 1 m Aufnahmeflächenbreite werden als horizontale Längen erhoben (jeder Aufnahmestreifen hat damit eine Fläche von 4 m²). (Die Streifen entlang der Schichtelinie sind somit immer 4 m lang, die in Richtung der Falllinie, sind in der Regel länger als 4 m.)
- Zentrumsbereich (erster Meter) wird nicht erhoben
- Probestreifennummern: 1...unten, 2-4 um 90° gedreht bzw. in der Ebene 1...N, 2...O, 3...S, 4...W

In Abbildung A.1 ist eine Skizze der Aufnahmefläche.

WZP

Diese ist wie gehabt durchzuführen¹, in den freien Zeilen der Flächenmerkmale ist jedoch eine Schätzung des **maximalen** BHD's jeder Baumart im Umkreis von 20 m einzutragen.

Alte Aufnahmedaten

Diese sind auf Richtigkeit zu kontrollieren bzw. zu ergänzen.

Nr.: WZP-Nummer

Exposition: Hangexposition (Hangabwärts) in (alt)**Grad**, ist die Richtung von Streifen 1

St2: Richtung von Streifen 2

¹Zählfaktor $k = 4$ Kluppschwelle = 6 cm. Gemessen wird BHD und Höhe sowie Baumart. Angesprochen wird die Soziologie, Schaftmängel, Schäden und die Kronenverlichtung.

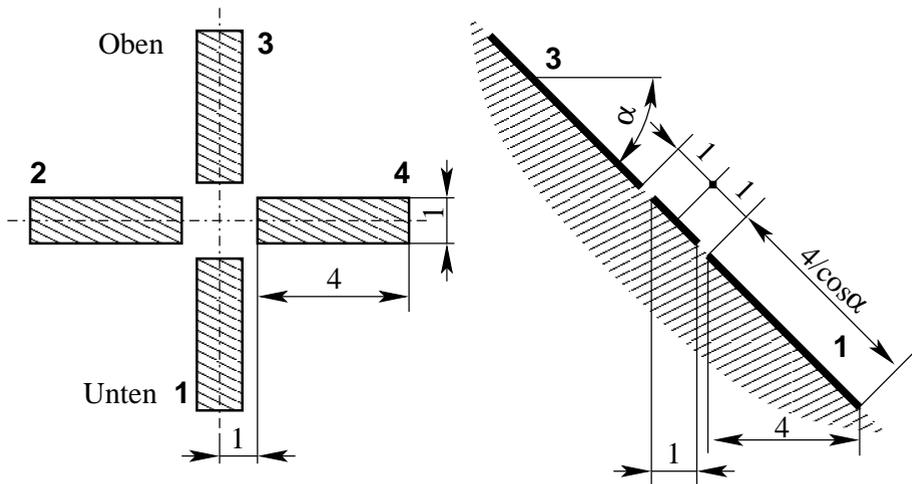


Abbildung A.1: Aufnahmedesign

St3: Richtung von Streifen 3

St4: Richtung von Streifen 4

Neigung: Hangneigung in (alt)Grad

Strl: Streifenlänge in **m**. Diese ist die Streifenlänge der beiden Streifen in Fallrichtung ($=4/\cos(\text{Neigung})$). Die Streifen entlang der Schichtenlinie sind 4 m lang.

Relief: 1...Oberhang, 2...Mittelhang, 3...Unterhang, 4...Grabeneinhang, 5...Talboden, 6...Ebene, 7...Mulde

Wasserhaushalt: 1...Trocken, 2...Mäßig frisch, 3...Frisch, 4...Sehr frisch, 5...Feucht

Bodentyp: Siehe auch ÖFI-Handbuch

- 01..Rohböden und Ranker
- 02..Braunerde und Hangkolluvien auf ärmerem Kristallin
- 03..Braunerden und Kolluvien auf basenreichem Kristallin und kalkbeeinflusste Braunerde
- 04..Semipodsol auf Kristallin
- 05..Klimabedingter Podsol
- 06..Substratbedingter Podsol
- 07..Substratbedingter Podsol, Variante mit erhöhter Wasserzufuhr
- 08..Leichte Braunerde und podsolige Braunerde auf Lockersedimenten
- 09..Bindige Braunerde und Parabraunerde auf Moränen
- 10..Braunerde und Parabraunerde auf Löß
- 11..Pseudogley auf Flysch, Werfener Schichten, Fleckenmergel und anderem tonhaltigem, festem Grundgestein.
- 12..Pseudogley auf Löß
- 13..Pseudogley auf sonstigen Lockersedimenten
- 14..Hangpseudogley und Hanggley
- 15..Alte Verwitterungsdecken
- 16..Tschernosem
- 17..Rendsina und Rohböden auf Kalk
- 18.. "Mischböden" aus Rendsina und Terra fusca

- 19..Terra fusca und Kalksteinlehm allgemein
- 20..Grundwassergley
- 21..Schwemmböden und Bachauböden
- 22..Fluß- und Stromauböden
- 23..Anmoor
- 24..Niedermoor
- 25..Hochmoor
- 26..Kunstaböden

Gründigkeit: 1...0-30 cm seichtgründig, 2...>30 cm mittel- und tiefgründig, 3... Sonstige

Humustyp: 0... keine Humusform ansprechbar od. nicht vorhanden, 1...Mull, 2... moderartiger Mull / mullartiger Moder, 3... Moder, 4... Rohhumus, 5... hydromorpher Humus, 6... Torf

L: L-Horizont in cm

F: F-Horizont in cm

H: H-Horizont in cm

Ah: Ah-Horizont (Humoser Mineralboden) in cm

Vegetationstyp: Siehe auch ÖFI-Kopien

- 01..Schattenkräutertypen
 - 01.0..unbestimmter Schattenkräutertyp
 - 01.1..Waldmeister-Sanikel-Typ
 - 01.2..Üppiger Unterhangtyp mit Feuchtezeigern
 - 01.3..Neunblatt-Zahnwurz-Bingelkraut-Typ
- 02..Mäßig frischer Kräutertyp
 - 02.0..Unbestimmter mäßig frischer Kräutertyp
 - 02.1..Bingelkraut - (Maiglöckchen - Zykamen) Typ
 - 02.2..Primel - Leberblümchen
 - 02.3..Habichtskraut - Wachtelweizen
 - 02.4..Kalklichtkräutertyp
- 03..Wärmeliebender Kräutertyp
 - 03.0..wird nicht weiter differenziert
- 04..Sauerkleetypen
 - 04.0..Unbestimmter Sauerkleetyp
 - 04.1..Sauerklee-Schattenblümchen-Typ
 - 04.2..Sauerklee-Farn-Typ
 - 04.3..Sauerklee-Schaumkraut-Typ
 - 04.4..Sauerklee-Rundbl.Labkraut-Typ
 - 04.5..Sauerklee-Alpenbrandlattich-Typ
 - 04.6..Sauerklee-Heidelbeer-Typ
 - 04.7..kräuterreicher Sauerklee-Typ
- 05..Üppiger AHD
 - 05.0..Unbestimmter üppiger AHD
- 06..Niederer AHD
 - 06.0..Unbestimmter niederer AHD
 - 06.1..Adlerfarn-Heidelbeer-Typ
- 07..Moostypen
 - 07.0..Unbestimmter Moostyp
- 08..Drahtschmielentyp
 - 08.0..Unbestimmter Drahtschmielentyp
- 09..Heidelbeer-Preiselbeer-Trockentyp

- 09.0..Unbestimmter HPT-Typ
- 10..Callunatyp (Besenheidentyp)
 - 10.0 Unbestimmter Callunatyp
- 11..Torfmoos-Heidelbeer-Typ (THD)
 - 11.0..Unbestimmter THD
 - 11.1..Torfmoos-Typ
- 12..Vergrasung
 - 12.0..Unbestimmte Vergrasung (Mischvergrasung)
 - 12.1..Drahtschmielenvergrasung
 - 12.2..Wolf-Reitgrasvergrasung
 - 12.3..Wald-Reitgrasvergrasung
 - 12.4..Seegrasvergrasung
 - 12.5..Weißseggenvergrasung
 - 12.6..Bunt-Reitgrasvergrasung
 - 12.7..Wimpernseggenvergrasung
 - 12.8..Andere Vergrasung
- 13..Verhagerung
 - 13.0..Weißliche Hainsimse-Typ
- 14..Alpine Zwergsträucher
 - 14.0..Unbestimmte subalpine Zwergsträucher
 - 14.1..Alpenrosen-Typ
 - 14.2..Heidelbeere-Rauschbeere-Typ
 - 14.3..trockener Zwergstauchtyp
 - 14.4..Gemsheide, Polsterpflanzen, Flechten-Typ
- 15..Erika Typ (Schneeheidentyp)
 - 15.0..Unbestimmter Erika-Typ
- 16..Weidetypen
 - 16.0..Unbestimmter Weidotyp
 - 16.1..Bürstlingsrasen
 - 16.2..Lärchenwiesen
 - 16.3..Weide mit Hochstauden, Grünerlen, "Nitratplatschen"
 - 16.4..Wiesen (wenn kein Nichtwald)
- (17..Vegetationstypen auf Extremstandorten werden nicht mehr angesprochen)
- 18..Naßstellen
 - 18.0..Unbestimmte Naßstellen
- 19..Hochstauden
 - 19.0..Unbestimmte Hochstauden
 - 19.1..Pestwurz-Typ
 - 19.2..Alpendost-Typ
 - 19.3..Schlagflora
 - 19.4..Springkraut-Typ
 - 19.5.. "Schlag"-bzw. Nitratflora im Bestand

Standortstyp: Siehe auch Standortsschlüssel Lehrforst

- I. Geologischer Untergrund: Silikat
 - A. Standorte auf stark geneigten Hängen (über 21°)
 - 1. Podsolige Braunerde bis Semipodsol auf stark geneigten Hängen und Hangschultern
 - 1a. Variante auf Braunlehm
 - 2. Podsolige Braunerden bis oligotrophe Braunerden auf stark geneigten Hängen

Drahtschmiele 1, 1a, 2	Rundblättriges Labkraut 2
Fuchsgreiskraut 2	Wald-Haarmützenmoos 1a
Heidelbeere 1	Waldhabichtskraut 2
Klaumenmoos 1	Weißliche Hainsimse 1, 1a, 2
Kleinmoose und flechten 1a	Weißmoos 1
Mauerlattich 1a	

- B. Standorte auf mäßig geneigten Hängen und Rücken (10°-20°)
3. Semipodsol auf mäßig geneigten Hängen und Rücken
 4. Podsolige Braunerde auf mäßig geneigten Hängen und Rücken
 - 4a. Variante auf Braunlehm
 5. Oligotrophe bis mesotrophe Braunerden auf mäßig geneigten Hängen
 - 5a. Variante mit Parabraunerden bis Braunerden auf Braunlehm
 6. Pseudovergleyte Braunerde auf mäßig geneigten Braunerden
 - 6a. Variante mit pseudovergleyten Parabraunerden bis Braunerden auf Braunlehm
 - 6b. Variante mit starkem Braunlehmeinfluß
 7. Pseudogley auf mäßig geneigten Hängen
 - 7a. Variante auf Braunlehm

Bingelkraut 6, +6a, 7	Riesensegge 7
Christophskraut 6b	Rundblättriges Labkraut 3, 4, 6, 7
Drahtschmiele 3, 4, 5	Sanikel 6
Einbeere 6	Sauerklee 3, 4, 5, 6, 7
Farne 7, +7a	Schattenblümchen 3, 6
Frauenfarn 6, +6a	Springkraut (kleines-) 6, +6a, 6b
Fuchsgreiskraut 3, 4, +4a, 5, 6, 7	Waldmeister 5, 6, 6b, 7
Geflecktes Lungenkraut 7	Waldschwingel 4
Goldnessel 5a, 6b	Waldschwingel 5, 6, 7
Haingreiskraut 5	Waldsegge 5, 6
Hainrispengras 5	Wasserdost 4a, 6a
Heidelbeere 3	Weißliche Hainsimse 3, 4, 5, 6
Hohlzahn stechender 6b	Wimpersegge 5, +5a, 6, 7, +7a
Kleb-labkraut 7	Zahnwurz (neunb.) 6, +6a, 6b, 7
Mauerlattich 3, 6, 7	Zwiebelzahnwurz 5a, 6, +6a, 6b, 7
Pestwurz 7	

C. Schwachgeneigte bis ebene Lagen (unter 10°)

8. Podsolige Braunerde auf schwachgeneigten bis ebenen Lagen
9. Braunerden auf schwachgeneigten bis ebenen Lagen
 - 9a. Variante mit Parabraunerden bis Braunerden auf Braunlehm
10. Pseudogley auf schwachgeneigten bis ebenen Lagen

Bingelkraut 9	Sauerklee 8, 9a, 10
Brombeere 10	Schattenblümchen 8, 10
Drahtschmiele 8	Springkraut (kleines-) 10
Einbeere 9	Vielblütige Weißwurz 9, 10
Erdbeere (Wald-) 9a	Waldmeister 9, 10
Fuchsgreiskraut 8, 9, 10	Waldschwingel 9, -9a, 10
Heidelbeere 8	Waldsegge 9a
Himbeere 10	Weißliche Hainsimse 8, 9, 10
Kriechender Günsel 10	Wimpernsegge 9, +9a
Mauerlattich 8, 10	Zwiebelzahnwurz 9, 10
Neunblättrige Zahnwurz 9, 10	Zyklame 9
Rundblättriges Labkraut 8, 9	

D. Grabenstandorte und Quellmulden

11. Breitere Talgräben mit schwachem Gefälle und Schwemmböden oder Gley
12. Gräben mit steilen Einhängen und Braunerden bis Hangpseudogleyen
13. Gräben und Quellmulden mit Gley oder Stagnogley

Bingelkraut 12	Rundblättriges Labkraut 12
Brennnessel 11, 12	Sauerklee 11, 13
Frauenfarn 12	Springkraut (großes-) 13
Geflecktes Lungenkraut 11	Springkraut (kleines-) 13
Hasenlattich 12	Sternmiere (Wald-) 11
Klee-Schaumkraut 11	Waldblaukraut 12
Mondviole 11	Waldmeister 11
Männerfarn 12	Waldschwingel 11, 12, 13
Pestwurz 11, 12, 13	Waldziest 13
Riesensegge 13	

II. Geologischer Untergrund: Dolomit

14. Mittelgründige Rendsina auf stark geneigten Hängen und Rücken
15. Sehr flachgründige Rendsina bis flachgründige Rendsina auf stark geneigten Hängen und Rücken
16. Flachgründige Rendsina auf Kuppen und flach geneigten Rücken
17. Tiefgründige Rendsina mit +- Braunlehmeinfluß auf stark geneigten Hängen
18. Karbonatischer Braunlehm in mäßig geneigten Gräben und auf mäßig geneigten Hängen

Bingelkraut 17, 18	Türkenbundlilie 18
Erdsegge 15	Waldgerste 16
Frühlingsplatterbse 17, 18	Waldhabichtskraut 17
Gamander 15, 16	Waldblaukraut 17
Glockenblume pfirsichbl. 14	Waldmeister 14, 17
Haingreiskraut 17	Waldvögelein weißes 18
Haselwurz 18	Weißsegge 15
Kalkblaugras 14, 15, 16	Wolfsmilch mandelbl. 14, 16
Maiglöckchen 14, 17	Wucherblume ebenstr. 16
Perlgras nickend 16, 18	Zyklame 14
Seidelbast duftender 15	

Zählen der Verjüngung (Formular: Anzahl(B))

Dabei werden alle Bäume auf den Aufnahmestreifen mit einer Höhe bis 130 cm aufgenommen. Unterschieden wird nach Baumart, Naturverjüngung/Pflanzung/Stockausschlag, Höhenklasse und Verbiß des Terminaltriebes im letzten Jahr. Sämlinge werden nicht erhoben. Bei Stockausschlägen werden nicht alle Ausschläge je Stock gezählt, sondern nur die Stöcke mit Ausschlag. Zwiesel zählen als ein Baum. Wenn auf einem Aufnahmestreifen keine Verjüngung vorhanden ist wird in die Felder: Baumart und Anzahl, eine 0 geschrieben. Ist in keinem der vier Streifen Verjüngung vorhanden, ist in die Felder Probestreifen, Baumart und Anzahl eine 0 zu schreiben. Wird ein Streifen nicht aufgenommen, ist in die Spalte Anzahl -1 einzutragen. Aufgenommen werden alle **Bäume und Sträucher**.

Nr: Wzp-Nummer

Str: Streifennummer

Baumart: Als Fi, Bu, Ta, ... bezeichnen. Es gibt *keine* Klasse: Sonstiges.

Hk: Höhenklasse

20 Höhe bis 20 cm

50 Höhe bis 50 cm

100 Höhe bis 100 cm

130 Höhe bis 130 cm

>130 Einwuchs (nur Höhenzuwächse messen) war vor 5 Jahren max. 1.3 m und ist bei Aufnahme höher als 1.3 m

Ne: Neu in den letzten 5 Jahren (Alter = 1-6 Jahre) wenn nicht neu, wird 0 eingetragen.

Vb: Verbiß des Terminaltriebes im *letzten* Jahr: 0...nein, 1...ja

SG: 1...Natürliche Verjüngung, 2...Gepflanzt, 3...Stockausschlag

Anzahl: Pflanzen dieser Höhenklasse auf dem Verjüngungsstreifen. Wenn dieser Streifen nicht aufgenommen wird, ist hier -1 einzutragen.

Hö: Länge des Repräsentanten

Von den Bäumen auf den Aufnahmestreifen sind je Baumart, Höhenklasse und Verjüngungsart (Natur-, Kunstverjüngung oder Stockausschlag) *mindestens* ein Baum zufällig (der nächste zum Mittelpunkt) auszuwählen. Zusätzlich sind noch sogenannte Einwüchse (das sind Bäume die zum Aufnahmezeitpunkt höher als 130 cm sind aber vor 5 Jahren kleiner als 130 cm waren) aufzunehmen. Falls der Baum verbissen oder wipfeldürr ist bzw. Blattverfärbungen, Zwiesel oder andere Auffälligkeiten aufweist, ist dies bei den Anmerkungen einzutragen.

h1: Höhenzuwachs im letzten Jahr in **cm**

Höhenzuwachs der letzten 5 Jahre. Wenn Baum jünger als 5 Jahre ist, muß beim entsprechenden Höhenzuwachs die Baumhöhe stehen. Wenn nicht alle 5 Zuwachsjahre zu sehen sind, ist nur bis zur letzten eindeutig sichtbaren Jahrringmarke zu messen.

i2: Höhenzuwachs in den letzten 2 Jahren in **cm**

i3: Höhenzuwachs in den letzten 3 Jahren in **cm**

i4: Höhenzuwachs in den letzten 4 Jahren in **cm**

i5: Höhenzuwachs in den letzten 5 Jahren in **cm**

So: Soziologie (bezieht sich nur auf die Verjüngung selbst)

1 Vorherrschend

3 Mitherrschend

5 Unterdrückt

2 Herrschend

4 Beherrschend

Kk: Krautkonkurrenz

0 Nudum

1 Keine

2 Konkurriert

3 Überwachsen

Standort

Humusstörung: Angabe des Flächenanteils dessen Humusaufbau durch Tiere oder Maschinen gestört ist. Angabe in 1/10. Als Humusstörung wird eine Durchmischung bzw. Entfernung der Auflage bis zum Mineralboden betrachtet. Ansprachefläche sind die 4 Verjüngungsstreifen.

Letzter Eingriff: Angabe, wann der letzte Eingriff im Bestand war

1-5...Jahre, 6...letzter Eingriff vor mehr als 5 Jahren.

Verj.hemmung: Verjüngungshemmung/Verjüngungsverhinderung (Wenn mehrere Gründe Zahlen addieren)

0...keine Hemmung, 1...Es gibt keine Verjüngung 2...Dunkelheit, 4...Gras, 8...Trockenheit, 16...Schlagabraum/Schlagvegetation, 32...Wilddruck, 64...keine Samenbäume, 128...Schnee

D.h. wenn Verjüngung da ist, diese aber durch oben angeführte Gründe zu wenig dicht ist, wird dies durch Zusammenzählen der Zahlen angegeben. Wenn keine Verjüngung da ist, *muß* zusätzlich zu der Feststellung, daß keine vorhanden ist, auch der Grund angegeben werden (in dieser Spalte kann also nur dann eine 1 stehen wenn keine Verjüngung vorkommt und keiner der angeführten Gründe zutrifft - der Grund der Verjüngungshemmung wird dann unter Anm. notiert).

Verj.Schutz: Verjüngungsschutz 0...keiner, 1...Bestandesschutz (Zaun, ...) , 2...Einzelschutz (Streichen, ...)

Verj.Verteilung: Verjüngungsverteilung

0...keine, 1...gleichmäßig, 2...geklumpt, 3...stark geklumpt

Hier wird die Verteilung der Verjüngung auf der Fläche hinsichtlich ihrer Homogenität beurteilt. *Nicht* anzusprechen ist hier eine eventuelle Höhenstrukturierung, sondern ausschließlich das Vorhandensein von Verjüngung.

Oberhöhe: Bestandesoberhöhe, welche zur Ansprache des Bestandesrandes verwendet wurde, in **m**.

Ein Bestandesrand ist nur anzusprechen, wenn dieser näher als die doppelte Oberhöhe liegt. Dabei ist nicht nur die Oberhöhe des Bestandes, in dem der Probepunkt liegt, heranzuziehen, sondern auch die Oberhöhe des Bestandes, der den Randeinfluß erzeugt (z. B. Befindet sich der Probepunkt auf einer Freifläche in Bestandesrandnähe, so ist die Oberhöhe des angrenzenden Bestandes zu verwenden). Auf Freiflächen ist eine negative Entfernung zum Bestandesrand anzugeben. Wenn kein Bestandesrand vorhanden ist, ist dies mit der Exposition -1 zu vermerken.

Richt: Richtung zum Bestandesrand in (alt)**Grad** bzw. -1 wenn kein Bestandesrand

Dist: Entfernung zum Bestandesrand in **m**

Wu: Direktes Seitenlicht unterer Winkel in **Grad**

Wo: Direktes Seitenlicht oberer Winkel in **Grad**

Kahlschlag/Lichtung/Str./Schn.: Entsteht die Bestandesrandwirkung durch: 0...Kahlschlag, 1...Lichtung, 2...Straße, 3...Schneise

Zeitraum seit Entstehen: Zeitraum seit Entstehen des Seitenlichteinflusses – in **Jahre**

Aufnahme von Bäume unter der WZP-Kluppschwelle und einer Höhe über 1.3 m

Hier werden alle **Bäume und Sträucher**, welche auf der Verjüngungsfläche stehen und einen BHD < 6 cm haben, aufgenommen. Der BHD wird in cm angegeben.

Ba Baumart (als Fi, Bu, Ta, ...)

BHD BHD in cm

Material

- Vegetationstypenschlüssel
- Standortstypenschlüssel vom Lehrforst
- Bodentypenschlüssel von ÖFI
- 5 m Schnur mit 1 m Markierung und 5 m Markierung. Mit Schlaufe und Nagel zum spannen.
- Schaufel
- Alte Aufnahmedaten
- Maßband
- Kompaß
- Fluchtstangen
- π -Bänder (alte Form, die bei 0 beginnt)
- Neigungsmesser
- Schreibsachen
- Lehrforstkarte mit WZP-Punkten
- Aufnahmeformulare
- Längenkorrekturtabelle für Hangneigung

Aufnahmeblatt A

Einzelbaum-Repräsentant

Nr	Str	Ba	Hk	Ne	Vb	SG	Anzahl	Hö	h1	h2	h3	h4	h5	So	Kk	Anm.

Aufnahmeblatt B

Nr	Str	Ba	BHD												

Aufnahmeblatt C

Nr	Hs	letz	VH	VS	VV	OH	Richt	Dist	Wu	Wo	Ks/Li	Zeit	Anm.

Aufnahmeblatt D

Nr.	Exp	St2	St3	St4	Neig	Strl	Reli	H2O	BT	Gr	HT	L	F	H	Ah	VT	Sto
5	13	103	193	283	18.00	4.21	3	3	2	2	2	1	2	0	10	1.2	5
10	0	90	180	270	17.10	4.19	2	4	14	2	2	3	1	1	3	19.4	7
15	263	353	83	173	12.60	4.10	1	2	2	1	3	1	1	1	2	13	5
20																	
25	211	301	31	121	15.30	4.15	2	2	2	2	3	3	1	3	6	13	5
30	350	80	170	260	11.00	4.07	2	3	2	2	3	2	1	2	15		6

A.2 Aufnahme von Fixflächen

In diesem Abschnitt ist das Aufnahmeformular wiedergegeben, welches zur Aufnahme der Verjüngung auf fixen Probestellen verwendet wurde.

Flächenbeschreibung

Gesamtfläche: Wird in der Regel durch vier Eckpunkte begrenzt, quadratisch und nach N ausgerichtet. Kluppschwelle 10 cm.

Kernzone: Hat in der Regel dieselbe Form und Ausrichtung der Gesamtfläche und liegt in der Mitte der Gesamtfläche. Die Mindestgröße von 15 × 15 m sollte nicht unterschritten werden. Keine Kluppschwelle.

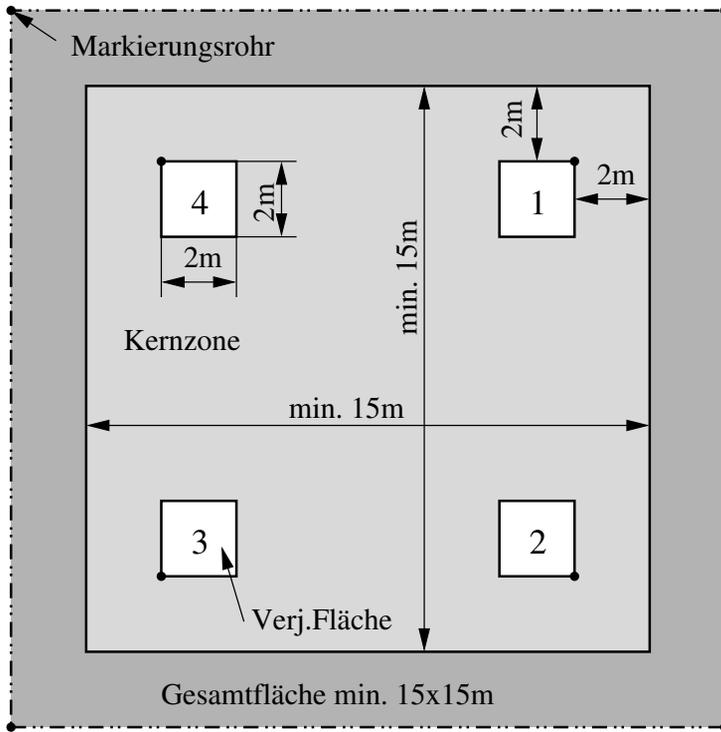


Abbildung A.2: Aufnahmedesign der fixen Aufnahmefläche

Verjüngungsfläche: Hat eine Größe von $2 \times 2\text{m}$. Die Grenze der Verjüngungsfläche liegt 2m vom Rand der Kernzone entfernt. Auf dieser Fläche werden alle Bäume (außer Sämlinge) aufgenommen.

Aufnahmebeschreibung

Altbestand

Davon wird auf den Flächen Gesamtfläche bzw. Kernzone aufgenommen:

- Aufnahmejahr
- Baumnummer
- Position
- Baumart (keine Gruppen bilden)
- Schäden (Wipfelbruch, ...)
- BHD, Höhe, Kronenansatz

Verjüngung

Davon wird auf den Verjüngungsflächen aufgenommen:

- Aufnahmejahr
- Verjüngungsflächennummer

- Baumart (keine Gruppen bilden)
- Höhenklasse (20, 50, 100, 130 cm, neu in den letzten 5 Jahren)
- Verbissen im letzten Jahr
- Höhenzuwächse der letzten 5 Jahre von Repräsentant und dessen Konkurrenzsituation (Vegetation und Soziologie)
- Vegetation nach Braun–Blanquet
- Seitenlichteinfluß

Flächennummer:
Verjüngungsfläche:

Aufgenommen von:
Datum:

Bodenvegetationsaufnahme (Schicht, Artname, Dominanz):

Anzahl der Individuen

Fläche

Einzelbaum-Repräsentant

Ba	Hk	Vb	St	Ge	Anzahl	Höhe cm	(Alter) Jahre	Höhe cm	H _{z5} cm	Soz.	Krautk.	Anm.

Mittlere Verjüngungshöhe [cm]:
Abstand zum Bestandesrand

Exp	Dist[m]	Winkel unten[°]	Winkel oben[°]	Kahlschlag/Lichtung	Zeitraum
N					
NO					
O					
SO					
S					
SW					
W					
NW					

Bodenvegetationsaufnahme: Dabei wird der Pflanzename (auch Bäume!) nach Schichten (Baum², Strauch, Kraut, Moos, ...) und deren Mengenanteil nach Braun-Blanquet³ angesprochen.

Anzahl der Individuen – Ba: Baumart (alle Baumarten ansprechen – Noch keine Baumartencodes)

Hk: Höhenklasse

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1 Sämling (hier nicht erhoben) | 5 Höhe bis 100 cm |
| 2 Neu in den letzten 5 Jahren | 6 Höhe bis 130 cm |
| 3 Höhe bis 20 cm | 7 Einwuchs (nur Höhenzuwächse messen) |
| 4 Höhe bis 50 cm | |

Vb: Verbissen im *letzten* Jahr: 0...nein, 1...ja

St: Stockausschlag: 0...nein, 1...ja

Ge: Gepflanzt: 0...nein, 1...ja

Anzahl: Pflanzen auf der Verjüngungsfläche

Höhe: Mittlere Verjüngungshöhe

Alter: Alter der *neuen* Verjüngung (1 bis 5 Jahre)

Höhe: Länge des Repräsentanten

H5: Höhenzuwachs der letzten 5 Jahre

Soz.: Soziologie (bezieht sich nur auf die Verjüngung selbst)

- | | | |
|-----------------|-----------------|---------------|
| 1 Vorherrschend | 3 Mitherrschend | 5 Unterdrückt |
| 2 Herrschend | 4 Beherrschend | |

Krautk.: Krautkonkurrenz

- | | | | |
|---------|---------|---------------|---------------|
| 0 Nudum | 1 Keine | 2 Konkurriert | 3 Überwachsen |
|---------|---------|---------------|---------------|

Mittlere Verjüngungshöhe: Geschätzt für die gesamte Verjüngung

Abstand zum Bestandesrand – Exp: Exposition. Ist in den ersten 8 Zeilen vorgegeben. In Zeile 9 wird die Richtung zum nächsten Bestandesrand in (alt)Grad eingetragen.

Dist: Abstand zum Bestandesrand in Meter.

Winkel unten: Unterer Öffnungswinkel des direkten Seitenlichtes

Winkel oben: Oberer Öffnungswinkel des direkten Seitenlichtes

Kahlschlag/Lichtung: Kommt der Seitenlichteinfluß von einem Kahlschlag(0) oder einer Lichtung(1)

Zeitraum: Zeitraum seitdem der Seitenlichteinfluß herrscht

²Baumschicht ist deshalb nötig, weil in der näheren Umgebung Baumarten vorkommen können, welche sich verjüngen aber nicht auf der Probestfläche liegen.

³r... äußerst spärlich mit sehr geringem Deckungswert
+... spärlich mit sehr geringem Deckungswert

1... reichlich, aber mit geringem Deckungswert; weniger als $\frac{1}{20}$ der Aufnahme­fläche
2... sehr zahlreich, mindestens $\frac{1}{20}$ der Aufnahme­fläche deckend
3... $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ der Aufnahme­fläche deckend, Individuenzahl beliebig
4... $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ der Aufnahme­fläche deckend, Individuenzahl beliebig
5... mehr als $\frac{3}{4}$ der Aufnahme­fläche deckend, Individuenzahl beliebig

A.3 C-Programm zur rechnerischen Randgewichtung

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <math.h>
4
5 const double pi=3.14159265358979323846;
6
7 typedef struct { double x; double y;} point;
8 typedef struct { double x; double y; double r;} circle ;
9
10 static double dist(point a , point b);
11 static double calcos(double a, double b, double c);
12 static int geradenschnitt(double x0,double y0,double x1,double y1,
13                          double x2,double y2,double x3,double y3);
14 static int plr(double x0,double y0,double x1,double y1,double x2,double y2);
15 static int komp(const void *a, const void *b);
16 static double rgewr(circle kreis , point min, point max);
17 static double rgewc(circle baum, circle prfl );
18 static double rgewp(circle baum, point *ek, int ekn);
19
20 int main(void) {
21
22 /*Baumkoordinaten*/
23 point baum0 = {10., 10.}; /*Koordinaten von Baum 0*/
24 point baum1 = { 1.,  1.}; /*Koordinaten von Baum 1*/
25
26 /*Kreis*/
27 circle fixerProbekreis  = {0., 0., 15.};
28
29 /*Rechtecksaussengrenzen*/
30 point rechteckMin = { 0.,  0.}; /*X-Min, Y-Min*/
31 point rechteckMax = {20., 20.}; /*X-Max, Y-Max*/
32
33 /*Polygongrenzen*/
34 point polygon [] = {{ 0.,  0.}, /*X, Y*/
35                    {20.,  0.}, /*X, Y*/
36                    {20., 20.}, /*X, Y*/
37                    { 0., 20.}, /*X, Y*/
38                    { 0., 0.}}; /*X, Y*/
39 int polygonSize = 5; /*Anzahl der Polygonecken*/
40
41 double weight; /*Variable fuer die Randgewichtung*/
42
43 /*Anwendung der Rechtecksranggewichtung*/
44 weight = rgewr((circle){baum0.x, baum0.y, dist(baum0, baum1)},
45              rechteckMin, rechteckMax);
46 printf ("Rechteckgewichtung:_%lf\n", weight);
47
48 /*Anwendung der Kreisrandgewichtung*/
49 weight = rgewc((circle){baum0.x, baum0.y, dist(baum0, baum1)},
50              fixerProbekreis);
51 printf ("Kreisgewichtung:_%lf\n", weight);

```

```

52
53  /*Anwendung der Polygonrandgewichtung*/
54  weight = rgewp((circle){baum0.x, baum0.y, dist(baum0, baum1)},
55                polygon, polygonSize);
56  printf("Polyongewichtung:_%lf\n", weight);
57 }
58
59 static double dist(point a, point b) {
60  /*Berechne den Abstand zwischen Punkt a und b*/
61  return(sqrt((a.x - b.x)*(a.x - b.x) + (a.y - b.y)*(a.y - b.y)));
62 }
63
64 static double calcos(double a, double b, double c)
65 {
66  /*Berechnet Winkel "Gamma" mit Cosinussatz
67   *ACHTUNG keine Ueberpruefung ob die 3 Seiten wirklich ein Dreieck ergeben!
68   *Zurueckgegeben wird der Winkel zwischen den Seiten a und b in rad
69   */
70  return (acos(((a*a)+(b*b)-(c*c)) / (2*a*b)));
71 }
72
73 static int geradenschnitt(double x0,double y0,double x1,double y1,
74                          double x2,double y2,double x3,double y3)
75 {
76  /*geraden Schneiden sich      1
77   *geraden Schneiden sich nicht 0
78   *Quelle: R. Sedgewick: Algorithmen in C*/
79
80  return ((plr(x0,y0, x1,y1, x2,y2) *
81          plr(x0,y0, x1,y1, x3,y3)) <=0)
82         && ((plr(x2,y2, x3,y3, x0,y0) *
83            plr(x2,y2, x3,y3, x1,y1)) <=0);
84 }
85
86 static int plr(double x0,double y0,double x1,double y1,double x2,double y2)
87 {
88  /* Funktion zur Bestimmung der Lage von drei Punkten          */
89  /* Rueckgabewerte:                                             */
90  /* Punkt2 liegt rechts von Strecke P0, P1; ccw = -1          */
91  /* Punkt2 liegt links von Strecke P0, P1; ccw = +1           */
92  /* Punkt2 liegt auf Strecke zwischen P0, P1; ccw = 0         */
93  /* Punkte kollinear, Punkt0 liegt zwischen P2, P1; ccw = -1  */
94  /* Punkte kollinear, Punkt1 liegt zwischen P0, P2; ccw = 1   */
95  /* Quelle: R. Sedgewick: Algorithmen in C)                    */
96
97  double dx1, dx2, dy1, dy2;
98
99  dx1 = x1 - x0;
100  dy1 = y1 - y0;
101
102  dx2 = x2 - x0;
103  dy2 = y2 - y0;
104
105  if (dx1*dy2 > dy1*dx2) return +1;

```

```

106  if ( dx1*dy2 < dy1*dx2) return -1;
107  if (( dx1*dx2 < 0 ) || (dy1*dy2 < 0 )) return -1;
108  if (( dx1*dx1+dy1*dy1) < (dx2*dx2+dy2*dy2)) return +1;
109
110  return 0;
111 }
112
113 static int komp(const void *a, const void *b)
114 {
115     /*Vergleichsfunktion fuer qsort in Funktion zur Gerwichtung der
116     Randbaeme bei einem Polygon*/
117
118     double x,y;
119
120     x = *(double *)a;
121     y = *(double *)b;
122     if(x > y) return (1);
123     else if(x < y) return (-1);
124     return (0);
125 }
126
127 static double rgewr(circle kreis , point min, point max) {
128     /*Randgewichtung bei einem Rechteck
129     kreis .. Angabe von Koordinaten des Baumes und Kreisradius (=Abstand
130     zum Nachbarn)
131     min .. x/y-Koordinate links unten
132     max .. x/y-Koordinate rechts oben*/
133
134     int i,j;
135     double dist [6]; /*Abstaende zum Rand*/
136     double swinkel = 0.; /*Winkelsumme des Kreisbogens der draussen liegt*/
137     double w; /*Laenge des berechneten Teilssegments des Kreises*/
138     double wmax; /*Groester erlaubter Winkel*/
139
140     if(kreis.r == 0.) { return (1.);} /*Abstand zum Nachbar = 0*/
141
142     dist [0] = kreis.x - min.x; /*Abstaende zum Bestandesrand berechnen*/
143     dist [1] = kreis.y - min.y;
144     dist [2] = max.x - kreis.x;
145     dist [3] = max.y - kreis.y;
146     dist [4] = dist [0];
147     dist [5] = dist [1];
148     for(i = 1; i < 5; ++i) { /*Abstaende zum Bestandesrand durchgehen*/
149         if(dist [i] < kreis.r ) { /*Rand liegt naeher als Nachbarbaum*/
150             w = acos(dist [i] / kreis.r ); /*Kreisbogenlaenge/2 die ausserhalb liegt*/
151             for(j = -1; j <= 1; j += 2) {
152                 /*Ueberpruefen wie lang das Kreissegment maximal sein darf*/
153                 if(dist [i+j] == 0. && dist [i ] == 0.) { swinkel += pi/4.;}
154                 else {
155                     wmax = atan2(dist [i+j], dist [i ]);
156                     if(wmax > w) {swinkel += w;}
157                     else {swinkel += wmax;}
158                 }
159             }

```

```

160     }
161 }
162 /*Kreis geht ganz um das Rechteck – sollte nicht vorkommen!*/
163 if (swinkel >= 2*pi) {return (1);}
164 return(2*pi / (2*pi – swinkel));
165 }
166
167 static double rgewc(circle baum, circle prfl)
168 {
169     /*Gewichtet die Randbaeume einer Kreisprobeflaeche
170     baum...Koordinaten des Baumes und Abstand zum Nachbarn
171     prfl ... Koordinaten der Probeflaeche und deren Probeflaechenradius
172     */
173     double abstand; /*Abstand Baum Probekrieszentrum*/
174     double gewicht; /*Randgewichtungsfaktor*/
175
176     abstand = dist((point){baum.x, baum.y}, (point){prfl.x, prfl.y});
177     if ((baum.r + abstand) > prfl.r && abstand <= prfl.r &&
178         (baum.r – abstand) < prfl.r) {
179         gewicht = pi / calcos(abstand, baum.r, prfl.r);
180     } else {gewicht = 1.;}
181     return(gewicht);
182 }
183
184 static double rgewp(circle baum, point *ek, int ekn)
185 {
186     /*Gewichtung von Randbaeumen in einem Polygon
187     ACHTUNG es duerfen keine Baeume asserhalb des Polygons stehen!
188     baum...Koordinaten des Baumes und Abstand zum Nachbarn
189     *ek ... Array der Polygoneckpunkten eines geschlossenen Polygons
190     ekn ... Anzahl der Poygoneckpunkte
191     */
192     int i, j;
193     int schnit; /*Anzahl der Schnittpunkte einer Gearden vom Kreis bis zum pkt*/
194     double v1=0, v2=0, v3=0, v4=0, v5=0, v6=0, v7=0, v8=0;
195     double dist; /*Abstand zwischen Probepunkt und Konkurrent*/
196     double diste1; /*Abstand Probepunkt und Eckpunkt*/
197     double diste2; /*Abstand Probepunkt und Eckpunkt+1*/
198     double distee; /*Abstand zwischen Eckpunkt und Eckpunkt+1*/
199     double gamma, gamma1, gamma2, gammas;
200     double winkel[2*ekn];
201     int nwinkel; /*Anzahl Schnittpunkte des Kreises mit dem Polygon*/
202     int infin; /*ist Anstieg unendlich*/
203     double gewicht; /*Randgewichtungsfaktor*/
204
205     if (ekn < 3) {return (1.);} /*2–Ecken ergeben noch keine Flaech*/
206     nwinkel = 0;
207     dist = baum.r; /*Abstands zwischen Punkt und Konkurrent*/
208     if (dist <= 0) {return (1.);} /*kein Abstand –> geh zum naechsten Konkurrenten*/
209     v1 = baum.x – ek->x; v2 = baum.y – ek->y; v1 *= v1; v2 *= v2;
210     diste2 = sqrt(v1 + v2); /*Berechnung des Abstands Baum–Ecke*/
211     for(j=1; j<ekn; ++j) { /*alle Eckpunkte durchgehen und alle innerhalb suchen*/
212         diste1 = diste2;
213         v1 = baum.x – (ek+j)->x; v2 = baum.y – (ek+j)->y; v1 *= v1; v2 *= v2;

```

```

214 diste2 = sqrt(v1 + v2); /*Berechnung des Abstands Baum-Ecke*/
215 v1 = (ek+j-1)->x - (ek+j)->x; v2 = (ek+j-1)->y - (ek+j)->y;
216 v1 *= v1; v2 *= v2;
217 distee = sqrt(v1 + v2); /*Berechnung des Abstands Ecke1-Ecke2*/
218 /*Haben die Polygonpunkte einen Abstand zueinander?*/
219 if (distee == 0 || (diste1 == 0 && diste2 == 0)) { continue;}
220 /*Ist ein Punkt drin und einer draussen?*/
221 if ((diste1 < dist || diste2 < dist) && (diste1 >= dist || diste2 >= dist)) {
222   if (diste1 == 0 || diste2 == 0) { /*wenn Baum auf Eck-Pkt liegt*/
223     if (diste1 == 0) { gamma = atan2((ek+j)->y - baum.y, (ek+j)->x - baum.x);}
224     else { gamma = atan2((ek+j-1)->y - baum.y, (ek+j-1)->x - baum.x);}
225     if (gamma < 0) {gamma += 2*pi;}
226   } else { /*Baum liegt nicht auf Eckpunkt*/
227     v1=atan2((ek+j-1)->y - baum.y, (ek+j-1)->x - baum.x);/*Richtung Ecke1*/
228     v2 = atan2((ek+j)->y - baum.y, (ek+j)->x - baum.x); /*Richtung Ecke2*/
229     if (v1 < 0) { v1 += 2*pi;}
230     if (v2 < 0) { v2 += 2*pi;}
231     if (diste1 < dist) { /*Pkt1 ligt im Einflussk. Pkt2 liegt aussen*/
232       v3 = calcos(diste1, distee, diste2);
233       v4 = asin((diste1 / dist) * sin(v3));
234       /*Winkel zwischne Geraden Probepunkt-Eckpunkt1 und Kreisschnittp*/
235       v3 = pi - v3 - v4;
236       /*Bestimme Richtungswinkel des Schnittpunktes*/
237       if (v1 < v2) { v4 = v1 + v3;}
238       else { v4 = v1 - v3;}
239       if (v1 < v2 && (v1 + pi) < v2) { v4 = v1 - v3;}
240       else if (v2 < v1 && (v2 + pi) < v1) { v4 = v1 + v3;}
241     } else { /*Punkt2 ist drinnen Punkt1 draussen*/
242       v3 = calcos(diste2, distee, diste1);
243       v4 = asin((diste2 / dist) * sin(v3));
244       v3 = pi - v3 - v4;
245       if (v1 < v2) { v4 = v2 - v3;}
246       else { v4 = v2 + v3;}
247       if (v1 < v2 && (v1 + pi) < v2) { v4 = v2 + v3;}
248       else if (v2 < v1 && (v2 + pi) < v1) { v4 = v2 - v3;}
249     }
250     gamma = v4;
251     if (gamma < 0) {gamma += 2*pi;}
252     if (gamma > 2*pi) {gamma -= 2*pi;}
253   }
254   /*Schnittpunkt-Winkel in Array abspeichern*/
255   winkel[nwinkel] = gamma; ++nwinkel;
256 }
257 else if (diste1 >= dist && diste2 >= dist) { /*Beide Pkt draussen*/
258   v1 = diste1 + diste2 + distee; v1 /= 2;
259   v2 = sqrt(v1 * (v1 - diste1) * (v1 - diste2) * (v1 - distee)); /*Flaeche*/
260   v2 /= distee / 2; /*Dreieckshoehe*/
261   v3 = calcos(diste1, distee, diste2);
262   v4 = calcos(diste2, distee, diste1);
263   if (v2 < dist && v3 < (pi/2) && v4 < (pi/2)) { /*Schneidet Linie?*/
264     /*Halber Winkel des Dreiecks im Einflussradius*/
265     gamma1 = acos(v2 / dist);
266     gamma2 = acos(v2 / diste1); /*Winkel des Dreiecks Punkt Ecke1*/
267     v1=atan2((ek+j-1)->y - baum.y, (ek+j-1)->x - baum.x);/*Richtung Ecke1*/

```

```

268     v2 = atan2((ek+j)->y - baum.y, (ek+j)->x - baum.x); /*Richtung Ecke2*/
269     if(v1 < 0) { v1 += 2*pi;}
270     if(v2 < 0) { v2 += 2*pi;}
271     if((v1 < v2 && (pi + v1) > v2) || (v1 > v2 && (v1 - pi) > v2)) {
272         v1 += gamma2;}
273     else if((v2 < v1 && (pi + v2) > v1) || (v2 > v1 && (v2 - pi) > v1)) {
274         v1 -= gamma2;}
275     gamma2 = v1 + gamma1; /*Richtungswinkel des ersten und des*/
276     gamma1 = v1 - gamma1; /*zweiten Schnittpunktes von Kreis/Linie*/
277     if(gamma1 < 0) {gamma1 += 2*pi;}
278     if(gamma1 > 2*pi) {gamma1 -= 2*pi;}
279     if(gamma2 < 0) {gamma2 += 2*pi;}
280     if(gamma2 > 2*pi) {gamma2 -= 2*pi;}
281     /*Schnittpunkt-Winkel in Array abspeichern*/
282     winkel[nwinkel] = gamma1; nwinkel++;
283     winkel[nwinkel] = gamma2; nwinkel++;
284 }
285 }
286 }
287 /*Geade Anzahl von Schnittpunkten und auch mehr als 1 Schnittpunkt?*/
288 if(nwinkel > 1 && (nwinkel % 2) == 0) {
289     /*Sortiere die Schnittwinkel*/
290     qsort(winkel, (size_t) nwinkel, sizeof(double), komp);
291     /*Schau ob Abschnitt zwischen Winkel0 und Winkel1 in der Flaechen ist*/
292     v1 = (winkel[1] - winkel[0]) / 2. + winkel[0];
293     v7 = cos(v1) * dist + baum.x; /*X-Koordinate des Punktes zwischen w0 und w1*/
294     v8 = sin(v1) * dist + baum.y; /*Y-Koordinate*/
295     schnit = 0;
296     for(j = 1; j < ekn; ++j) {
297         schnit += geradenschnitt(baum.x, baum.y, v7, v8, (ek+j-1)->x,
298                                 (ek+j-1)->y, (ek+j)->x, (ek+j)->y);
299     }
300     gammas = 0; /*Summe der Winkel innerhalb der Aufnahmeplaechen*/
301     for(j = 0; j < nwinkel; j += 2) {
302         gammas += winkel[j+1] - winkel[j];
303     }
304     if((schnit % 2) == 1) { /*ungeade Zahl -> Segment draussen*/
305         gammas = 2*pi - gammas;
306     }
307     gewicht = pi*2 / gammas;
308 }
309 return(gewicht);
310 }

```

Literaturverzeichnis

- Beers 1966** BEERS, Thomas W.: The Direct Correction for Boundary-line Slope over In Horizontal Point Sampling. In: *Research Progress Report 224* (1966), S. 8
- Bella 1971** BELLA, Imre E.: A New Competition Model for Individual Trees. In: *Forest Sciences* 17 (1971), Nr. 3, S. 364 – 372
- Böheim 2003** BÖHEIM, Wolfgang C.: *Gleichungen und Koeffizienten zum Moses 3.0.* 2003
- Biber 1999** BIBER, Peter: Ein Verfahren zum Ausgleich von Randeffekten bei der Berechnung von Konkurrenzindizes. In: *Jahrestagung – Volpriehausen 19 - 21 Mai* Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten – Sektion Ertragskunde (Veranst.), 1999, S. 189–202
- Bitterlich 1980** BITTERLICH, Walter: Gewichtung von Relaskop-Probestämmen am Waldrand. In: *Allgemeine Forstzeitung* (1980), S. 343–344
- Bokalo 2001** BOKALO, Mike: *The role of forest growth in habitat quality dynamics. Predicting future roe deer habitat using logistic and logarithmic regression..* Bd. 17. Österreichische Gesellschaft für Waldökosystemforschung und experimentelle Baumforschung an der Universität für Bodenkultur Wien, 2001
- Clark und Evans 1954** CLARK, Philip J. ; EVANS, Francis C.: Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. In: *Ecology* 35 (1954), Nr. 4
- Cleveland u. a. 1992a** CLEVELAND, William S. ; GROSSE, Eric ; SHYU, Ming-Jen: Local regression models. In: CHAMBERS, John M. (Hrsg.) ; HASTIE, Trevor J. (Hrsg.): *Statistical Models in S.* Chapman & Hall, 1992
- Cleveland u. a. 1992b** CLEVELAND, William S. ; GROSSE, Eric ; SHYU, Ming-Jen: *A Package of C and Fortran Routine for Fitting Local Regression Models*, 1992. – URL <http://www.netlib.org/a/>
- Degenhardt und Pommerening 1999** DEGENHARDT, Annett ; POMMERENING, Arne: Simulative Erzeugung von Bestandesstrukturen auf der Grundlage von Probekreisdaten. In: *12. Tagung und Herbstkolloquium der Internationalen Biometrischen Gesellschaft Deutsche Region* Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten – Sektion Forstliche Biometrie und Informatik (Veranst.), Sloboda, 1999
- Dralle 1997** DRALLE, Kim: *Locating Trees by digital Image Processing of Aerial Photos*, Danish Fores and Landscape Reseach Institute, Hørsholm, Dissertation, 1997
- Eckmüllner u. a. 1996** ECKMÜLLNER, Otto ; ERBER, Josef ; KATZENSTEINER, Klaus ; KOCH, Gerfried ; LANG, Cristian ; REIMOSER, Friedrich: Naturraum-Stichprobeninventur im Nationalpark Kalkalpen / Amt der Oö. Landesregierung Nationalparkplanung im Verein Nationalpark Kalkalpen. 1996. – Forschungsbericht
- Ek 1974** EK, Alan R.: Dimensional relationships of forest and open grown trees in Wisconsin / University of Wisconsin, School of Natural Resources. 1974. – Forestry Research Notes

- Faber 1981** FABER, P. J.: Die Standflächenschätzung über den Distanzfaktor. In: SOEST Deutscher Verband forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde (Veranst.), 1981, S. 87–91
- Filla 1981** FILLA, Karl: *Die Parametrisierung von Einzelstammwachstumsmodellen über die bei Forstinventuren erhobenen Daten*, Universität für Bodenkultur, Dissertation, 1981
- Forstliche Bundesversuchsanstalt 1994** FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT: *Instruktion für die Feldarbeit der Österreichischen Waldinventur 1992-1996*. 1, 1994
- Gasch 1985** GASCH, Josef: *Standortserkundung und Standortskartierung mit allgemeiner Waldbauplanung im Lehrforst Ofenbach der Universität für Bodenkultur*, Universität für Bodenkultur, Diplomarbeit, 1985
- Gerold 1988** GEROLD, Dorothea: Beschreibung der Durchmesserstruktur und ihre Entwicklung mit Hilfe der Weibullverteilung. In: *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden* 37 (1988), Nr. 6, S. 221–224
- Golser 1997** GOLSER, Michael: *Modellierung der Naturverjüngungsentwicklung in Mischbeständen*. Wien, Universität für Bodenkultur, Dissertation, 1997
- Golser und Hasenauer 1997** GOLSER, Michael ; HASENAUER, Hubert: Predicting juvenile tree height growth in uneven-aged mixed species stands in Austria. In: *Forest Ecology and Management* (1997), S. 133–146
- Hartung u. a. 1991** HARTUNG, Joachim ; ELPELT, Bärbel ; KLÖSENER, Karl-Heinz: *Statistik - Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik*. 8. R. Oldenbourg Verlag München Wien, 1991
- Hasenauer 1994a** HASENAUER, Hubert: *Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien*. Bd. 8: *Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände*. Österreichische Gesellschaft für Waldökosystemforschung und experimentelle Baumforschung, 1994
- Hasenauer 1994b** HASENAUER, Hubert: Zur Modellierung der Kronenlängenveränderung in verschieden dichten Fichtenbeständen. In: *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 165 (1994), Nr. 5-6, S. 88–93
- Hasenauer 1997** HASENAUER, Hubert: Dimensional relationships of open-grown trees in Austria. In: *Forest ecology and Management* (1997)
- Hasenauer 1999** HASENAUER, Hubert: Höhenzuwachsmodelle für die wichtigsten Baumarten Österreichs. In: *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 118 (1999), S. 14–23
- Hasenauer und Kindermann 2002** HASENAUER, Hubert ; KINDERMANN, Georg E.: Methods for assessing regeneration establishment and height growth in uneven-ages mixed species stand. In: *Forestry* 75 (2002), Nr. 4, S. 385–394
- Hasenauer u. a. 2000** HASENAUER, Hubert ; KINDERMANN, Georg E. ; MERKL, Dieter: Zur Schätzung der Verjüngung in Mischbeständen mit Hilfe Neuronaler Netze. In: *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 119 (2000), S. 350–366
- Hasenauer u. a. 1994** HASENAUER, Hubert ; STAMPFER, Erwin ; ROHRMOSER, Christian ; STERBA, Hubert: Solitärdimensionen der wichtigsten Baumarten Österreichs. In: *Österreichische Forstzeitung* 105 (1994), Nr. 3, S. 28–29
- Ihaka und Gentleman 1996** IHAKA, Ross ; GENTLEMAN, Robert: R: A Language for Data Analysis and Graphics. In: *Journal of Computational and Graphical Statistics* 5 (1996), Nr. 3, S. 299–314. – URL <http://www.R-project.org/>

- Kahn und Pretzsch 1997** KAHN, Markus ; PRETZSCH, Hans: Das Wachstumsmodell SILVA - Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. In: *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 168 (1997), Nr. 6-7, S. 115–123
- Kennel 1972** KENNEL, Reinhard: *Forschungsberichte: Die Buchendurchforstungsversuche in Bayern von 1810-1910 mit dem Modell einer Strukturtragstafel für die Buche*. Forstliche Forschungsanstalt München - Institut für Ertragskunde, 1972
- Kindermann 1998** KINDERMANN, Georg E.: *Die Flächenanteile der Baumarten*, Universität für Bodenkultur, Diplomarbeit, 1998
- Kindermann u. a. 2002** KINDERMANN, Georg E. ; HASENAUER, Hubert ; GASCH, Josef: Ankommen und Wachstum von Naturverjüngung in Mischbeständen. In: *Centralblatt für das gesamte Forstwesen* 119 (2002), Nr. 2, S. 159–186
- Kittenberger 2003** KITTENBERGER, Alexander: *Generierung von Baumverteilungsmustern*, Technische Universität Wien, Diplomarbeit, 2003
- Kobe u. a. 1995** KOBE, Richard K. ; PACALA, Stephen W. ; SILANDER, John A. ; CANHAM, Charles D.: Juvenil tree survivorship as a component of shade tolerance. In: *Ecological Applications, Ecological Society of America* (1995), S. 517–532
- Kotar 1995** KOTAR, Marijan: Bestimmung des Verteilungsmusters von Bäumen im Wald. In: *6. Tagung – Freising, 8 - 10 September 1993* Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten – Sektion Forstliche Biometrie und Informatik (Veranst.), Dieter Quednau, 1995, S. 119–140
- Krajicek u. a. 1961** KRAJICEK, John E. ; BRINKMAN, Kenneth A. ; GRINGRICH, Samuel F.: Crown Competition – A Measurement of Density. In: *Forest Science* 7 (1961), Nr. 1, S. 35 – 42
- Leak 1970** LEAK, William B.: Successional change in northern hardwoods predicted by birth and death simulation. In: *Ecology* (1970), S. 794–801
- Maguire und Hahn 1990** MAGUIRE, Douglas A. ; HAHN, David W.: Constructing models for direct prediction of 5-year crown recession in southwestern Oregon Douglas-fir. In: *Canadian Journal of Forest Research* 20 (1990), Nr. 7, S. 1044–1052
- Marschall 1992** MARSCHALL, Julius: *Hilfstafeln für die Forsteinrichtung*. Österreichischer Agrarverlag, 1992
- Marschall und Sterba 1975** MARSCHALL, Julius ; STERBA, Hubert: Die Erstellung der neuen Kiefernnertragstafel Litschau. In: *Allgemeine Forstzeitung* 86 (1975), S. 331–332
- Martin u. a. 1977** MARTIN, G.L. ; EK, A.R. ; MONSERUD, Robert A.: Control of plot edge bias in forest stand growth simulation models. In: *Canadian Journal of Forest Research* (1977), S. 100–105
- Mazzorana 2000** MAZZORANA, Bruno: *La „Zielstärkennutzung“ sull'abete rosso in Austria*, Università degli studi di Padova, Diplomarbeit, 2000
- McGaughey 1997** MCGAUGHEY, Robert J.: *Stand Visualization System*. USDA Forest Service (Veranst.), 1997
- Monserud 1976** MONSERUD, Robert A.: Simulation of Forest Tree Mortality. In: *Forest Science* 22 (1976), Nr. 3, S. 438–444
- Monserud und Ek 1977** MONSERUD, Robert A. ; EK, Alan R.: Predicting of Understory Free Height Growth in Northern Hardwood Stands. In: *Forest Science* 23 (1977), Nr. 3, S. 391–400
- Monserud und Ek 1974** MONSERUD, Robert A. ; EK, Alan R.: Plot Edge Bias in Forest Stand Growth Simulation Models. In: *Canadian Journal of Forest Research* (1974), S. 419–423

- Monserud 1975** MONSERUD, Robert A.: *Methodology for simulating Wisconsin northern hardwood stand dynamics*, University of Wisconsin-Madison, Dissertation, 1975
- Moser 1995** MOSER, Martin: *Programmbeschreibung: MOSES-Version 2.0 - Distanzabhängiger Bestandeswachstumssimulator für Mischbestände*. Institut für Waldwachstumsforschung (BOKU - Wien) (Veranst.), 1995
- Nagel 1994** NAGEL, Jürgen: Ein Einzelbaumwachstumsmodell für Roteichenbestände. In: *Forst und Holz* 49 (1994), Nr. 3, S. 69–75
- Okabe u. a. 2000** OKABE, Atsuyuki ; BOOTS, Barry ; SUGIHARA, Kokichi ; CHIU, Sung N.: *Spatial tessellations: Concepts and applications of Voronoi diagrams*. 2nd. NYC : Wiley, 2000 (Probability and Statistics). – 671 S
- Pommerening 2000** POMMERENING, Arne: Neue Methoden zur räumlichen Reproduktion von Waldbeständen und ihre Beurteilung für forstliche Inventuren und deren Fortschreibung. In: *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 171 (2000), Nr. 9-10, S. 164–170
- Pongruber 2003** PONGRUBER, Manfred W.: *Abschätzen des Ankommens von Naturverjüngung - Konkurrenzindizes im Vergleich*, Universität für Bodenkultur, Diplomarbeit, 2003
- Posch 2003** POSCH, Bernhard: Jungwuchs-, Verbiss- und Schälmonitoring. In: *Österreichische Forstzeitung* 114 (2003), 1, Nr. 1, S. 16–17
- Pretzsch 1995** PRETZSCH, Hans: Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen. In: *6. Tagung – Freising, 8 - 10 September 1993* Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten – Sektion Forstliche Biometrie und Informatik (Veranst.), Dieter Quednau, 1995, S. 26–58
- Pretzsch 1997** PRETZSCH, Hans: Analysis and modelling spatial stand structures. Methodological considerations based on mixed beech-larch stands in Lower Saxony. In: *Forrest ecology and Management* 97 (1997), S. 237–253
- Putzhuber 2004** PUTZHUBER, Friedrich: *Lichtverhältnisse und Konkurrenzindizes in ungleichaltrigen Mischwäldern*, Universität für Bodenkultur, Dissertation, 2004
- Radtke und Burkhard 1998** RADTKE, Philip J. ; BURKHARD, Harold E.: A comparison of methods for edge-bias compension. In: *Canadian Journal of Forest Research* (1998), S. 942–945
- Römisch 1996** RÖMISCH, Klaus: Durchmesserwachstum und ebene Bestandesstruktur am Beispiel der Kiefernversuchsfläche Markersbach. In: *8. Tagung Tharandt/Grillenburg, 25.-28. September 1995* Deutscher Verband forstlicher Forschungsanstalten - Sektion forstliche Biometrie und Informatik (Veranst.), Gottfried Hempel, 1996, S. 84–103
- Ross 1968** ROSS, P.: *Zufallsgeneratoren*. In: *Nicht-numerische Informationsverarbeitung*, Rul Gunzenhäuser, 1968
- Schieler 1997** SCHIELER, Karl: *Methode der Zuwachsberechnung der Österreichischen Waldinventur*, Universität für Bodenkultur Wien, Dissertation, 1997
- Schmid-Haas 1982** SCHMID-HAAS, Paul: Sampling at the Forest Edge. In: RANNEY, Bo (Hrsg.): *Statistics in Theory and Practice, Essays in Honour of Bertil Matern*. Swedish University of Agricultural Sciences, 1982, S. 263–276
- Schweiger 1997** SCHWEIGER, Johanna: *Modellgleichungen für die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von Naturverjüngungen aus den Daten der Österreichischen Waldinventur*, Universität für Bodenkultur Wien, Dissertation, 1997
- Schweiger und Sterba 1997** SCHWEIGER, Johanna ; STERBA, Hubert: A model describing natural regeneration recruitment of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Austria. In: *Forest ecology and Management* 97 (1997), S. 107–118

- SDino 1996** SDINO, Ralph E.: *Der Crown Competition Factor und andere Bestandesdichtemaße im Vergleich*, Universität für Bodenkultur, Diplomarbeit, 1996
- Short III und Burkhart 1992** SHORT III, E. A. ; BURKHART, Harold E.: Predicting Crown-Height Increment for Thinned and Unthinned Loblolly Pine Plantations. In: *Forest Science* 38 (1992), Nr. 3, S. 594–610
- Stampfer 1995** STAMPFER, Erwin: *Solitärdimensionen Österreichischer Baumarten*, Universität für Bodenkultur, Diplomarbeit, 1995
- Sterba 1976** STERBA, Hubert: Die Funktionsschemata der vier Fichtenertragstafeln. In: *Centralblatt für das gesammte Forstwesen* 93 (1976), 6, Nr. 2, S. 102–112
- Sterba 1981** STERBA, Hubert: Natürlicher Bestockungsgrad und Reinekes SDI. In: *Centralblatt für das gesammte Forstwesen* 98 (1981), Nr. 2, S. 101–116
- Sterba 1985** STERBA, Hubert: Durchforstung am Bildschirm / Institut für Waldwachstumsforschung. 1985. – Abschlussbericht zum Projekt Nr. 4257 des Fondes zur Foerderung der Wiss. Forschung
- Sterba 1999** STERBA, Hubert: 20 Jahre Zielstärkennutzung in der „Hirschlacke“, Stift Schlägl. In: *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 9 (1999), Nr. 170, S. 170–175
- Sterba u. a. 1997** STERBA, Hubert ; GOLSER, Michael ; SCHWEIGER, Johanna ; HASENAUER, Hubert: Modelle für das Ankommen und das Wachstum der Naturverjüngung. In: *Centralblatt für das gesammte Forstwesen* 114 (1997), Nr. 1, S. 11–33
- Tarp-Johansen 2001** TARP-JOHANSEN, Mads J.: *Locating Individual Trees in Even-aged Oak Stands by Digital Image Processing of Aerial Photographs*, Royal Veterinary and Agricultural University Copenhagen, Department of Mathematics and Physics, Dissertation, 2001
- Venables und Ripley 1999** VENABLES, William N. ; RIPLEY, Brian D.: *Modern Applied Statistics with S-Plus. Third Edition*. Springer, 1999. – URL <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS3/>. – ISBN 0-387-98825-4
- Walch 2001** WALCH, Stefan: *Standflächeneffizienz und Schirmflächeneffizienz von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand*, Universität für Bodenkultur, Diplomarbeit, 2001
- Wenk u. a. 1990** WENK, Günter ; ANTANAITIS, Vaidotas ; ŠMELKO, Štefan: *Waldertragslehre*. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 1990
- Yoda u. a. 1963** YODA, Kyoji ; KIRA, Tatuio ; OGAWA, Husato ; HOZUMI, Kazuo: Self-thinning in Overcrowded Pure Stands under Cultivated and Natural Conditions. In: *Journal of Biology, Osaka City University* (1963), S. 107–129
- Zell 1994** ZELL, Andreas: *Simulation neuronaler Netze*. Addison Wesley Longman, 1994
- Zell u. a. 1998** ZELL, Andreas ; MAMIER, Günter ; VOGT, Michael ; MACHA, Niels ; HÜBNER, Ralf ; DÖRING, Sven ; HERRMAN, Kai-Uwe ; SOYEZ, Tobias ; SCHMALZL, Michael ; SOMMER, Tilman ; HATZIGEORGIU, Artemis ; POSSELT, Ditmar ; SCHREINER, Tobias ; KETT, Bernwald ; CLEMENTE, Gianfranco ; WIELAND, Jens ; GATTER, Jürgen: *SNNS - Stuttgart Neural Network Simulator - User Manual*. 4.2. -: University of Stuttgart - University of Tübingen (Veranst.), 1998. – URL <http://www-ra.informatik.uni-tuebingen.de/SNNS/>

Sachregister

- Ankommen von Verjüngung, 11, 18, 53–71, 104–106, 112–113
- Aufnahmeanweisung, 121–133
Fixflächen, 129–133
WZP, 121–129
- Bestandesrand, 4, 28–32, 97–102, 118–119, 134–139
Anwendungsdesign, 31–32
Aussparen eines fixen Randbereiches, 31
Generierung von Baumkoordinaten, 31
Gewichtung der Randbäume, 30–31, 97–102
Gewichtung mit dem Verhältnis der Kreisbogenlängen, 31, 97–102, 118–119
Implementierung, 134–139
Gewichtung mit der außerhalb liegenden Fläche, 30, 97–102, 118
Keine Berücksichtigung, 29, 97–102
Konsequenzen für die Probeflächenanlage, 119
Randbäume nicht auswerten, 31
Spiegelung der Probefläche, 29, 97–102, 118
Spiegelung entlang der Aufnahmegrenze, 29, 97–102, 118
Spiegelung entlang der ersten Baumreihe, 29
Spiegelung um den untersuchten Baum, 29, 97–102, 118–119
Verschieben der Probefläche, 29–30, 97–102, 118
- BHD-Verteilung, *siehe* Strukturkennzahlen, BHD-Verteilung
- CCF, 16–17, 112
- ci, 3–4
- Clark&Evans-Index, *siehe* Strukturkennzahlen, Abstand zum nächsten Nachbarn
- Daten, 37–52
Ankommen, 37–40
Hirschlacke, 39
Lehrforst, 38–39
Nationalpark Kalkalpen, 39
- Bestandesrand, 52
- Höhenzuwachs, 40–47
Kammer, 47
Lehrforst, 46–47
Litschau, 47
- Koordinatengenerierung, 48–50
Strukturindex, *siehe* Daten, Koordinatengenerierung
Verbiß, 47–48
Verjüngung, 37–48
- Durchmesserzuwachs, 7
Potential, 7–8, 110
- EIL, *siehe* Höhenzuwachs, Verjüngung
- Entscheidungsbaum, 35, 120
- Höhenzuwachs
Altbestand, 5–6, 110
Potential, 6–7
Verjüngung, 10–11, 19–20, 71–74, 106–107, 113–114
- konk, 17, 53, 112
- Konkurrenzberechnung
Altbestand, 3–4, 109
Verjüngung, 16–17, 112
- Koordinatengenerierung, 21–28, 108, 111, 115–116
Beispiele, 90–97
Hauersteig, 90–92
Lehrforst, 95
Neuerzeugung, 95–97
Operatnachbildung, 97
Bestehende Modelle, 14–16
Strukturzerzeugung, 27–28
- Koordinatenrekonstruktion, *siehe* Koordinatengenerierung, Beispiele, Hauersteig
- Kronenansatzmodell, 8, 111
- Kronenradien, 5, 109–110
- Mortalität

- Altbestand, 8–9, 111
 Verjüngung, 11, 20, 104
 Moses, 3–10
 Neuronales Netz, 33–35, 119–120
 Oberhöhenkurven, 13–14
 OCI, *siehe* Höhenzuwachs, Verjüngung
 potentielle Kronenradien, *siehe* Kronenradien
 potentieller Durchmesserzuwachs, *siehe* Durchmesserzuwachs, Potential
 potentieller Höhenzuwachs, *siehe* Höhenzuwachs, Potential
 RCI, *siehe* Höhenzuwachs, Verjüngung
 Regression, 32–36, 119–120
 Entscheidungsbaum, *siehe* Entscheidungsbaum
 Linear, 33, 119
 Linearisiert, 33, 119
 Logit, 33, 119
 Lokal, 36
 Neuronales Netz, *siehe* Neuronales Netz
 Nicht linear, 33, 119
 Schneebruch, 9–10
 Segregation, *siehe* Strukturkennzahlen, Baumartengruppierung
 Stammzahl der Verjüngung, 11–13, 18, 56, 69–71
 Standfläche, *siehe* Strukturkennzahlen, Standfläche
 Strugen, 14–16, 111
 Strukturgenerierung, *siehe* Koordinatengenerierung
 Strukturkennzahlen, 21–24, 80–90, 115–116
 Abstand zum nächst stärksten Nachbarn, 22, 26, 84–87, 116
 Abstand zum nächsten Nachbarn, 21–22, 26, 80–87, 115–116
 Baumartengruppierung, 23, 27, 87, 115–116
 BHD-Verteilung, 24, 27, 90, 116
 Durchmesserdifferenzierung, 23, 27, 88
 Segregation, *siehe* Strukturkennzahlen, Baumartengruppierung
 Standfläche, 23–24, 27, 89
 SUMD, *siehe* Höhenzuwachs, Verjüngung
 Überlebensfunktion, 9
 Verbiß, 11, 20–21, 74–80, 106, 114–115
 Baumart, 74–77
 Baumartenanteil, 80
 Betrieb, 77
 Höhenlage, 77
 Schutz, 80
 Stammzahlabnahme, 76–77
 Standortstyp, 80
 Vegetationstyp, 77–80
 Verjüngung, 16–21, 53–80, 104–107, 112–115
 Ankommen, *siehe* Ankommen von Verjüngung
 Aufnahme, *siehe* Aufnahmeanweisung
 Bestandeskoeffizienten, 16–17
 Bestehende Modelle, 10–14
 Dichte, *siehe* Stammzahl der Verjüngung
 Höhe, 11–13
 Höhenzuwachs, *siehe* Höhenzuwachs, Verjüngung
 Implementierung, 104–107
 Mortalität, *siehe* Mortalität, Verjüngung
 Stammzahl, *siehe* Stammzahl der Verjüngung
 Standortskoeffizienten, 17
 Verbiß, *siehe* Verbiß
 Wahrscheinlichkeit für V., *siehe* Ankommen von Verjüngung
 Weibullverteilung, *siehe* Strukturkennzahlen, BHD-Verteilung