

# **Lehrstuhl für Waldbau und Forsteinrichtung**

## **Untersuchungen zur waldbaulichen Behandlung von *Araucaria araucana* Wäldern in Südchile**

**Rodrigo Mujica**

Vollständiger Abdruck der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors

**rerum silvarum**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender : Prof. Dr. Dr. h.c. G. Wegener

Prüfer der Dissertation :

1. Prof. Dr. R. Mosandl
2. Prof. Dr. H. Pretzsch
3. Prof. Dr. A. Fischer

Die Dissertation wurde am 25.10.2000 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch das Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 07.02.2001 angenommen.

Dedicado a mis queridos padres INÉS y FERNANDO  
y a mi queridísima mujer BASTIENNE

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand am Lehrstuhl für Waldbau und Forsteinrichtung der Technischen Universität München im Rahmen des Projekts „*Araucaria araucana*“ der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Herrn Prof. Dr. R. Mosandl, der die Studie anleitete, gilt mein aufrichtiger Dank für das in mich gesetzte Vertrauen, sowie auch für seine zahlreichen Anregungen und wertvollen kritischen Kommentare bei der Durchsicht des Manuskripts.

Für die zur Verfügungstellung der in Chile wichtigsten Versuchsanlage zu waldbaulichen Studien an *A. araucana* und für die Überlassung der Originaldaten von 1982 möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. H. Schmidt herzlich bedanken.

Dem Initiator des Projekts „*Araucaria araucana*“, Herr Prof. Dr. Drs. h.c. P. Burschel verdanke ich die Möglichkeit diese Arbeit zu erstellen und darüber hinaus viele interessante Gespräche über die Problematik der naturnahen Bewirtschaftung chilenischer Wälder.

Ein besonders herzlicher Dank geht an meinem guten Freund Herrn Dr. H. Grosse. Ihm verdanke ich nicht nur den entscheidenden Anstoß für diese Arbeit, sondern auch die stetige Aufmunterung und die vielen guten Ratschläge in den Jahren der Durchführung der Studie. Die Unterstützung, die das Instituto Forestal (INFOR) mir für zwei Jahre gewährt hat, ist ihm ebenfalls zu verdanken.

Herrn Dr. L. Pancel von der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), die die finanzielle Unterstützung für die Realisierung dieser Arbeit gewährt hat, gilt ein besonders herzlicher Dank. Ebenfalls möchte ich mich bei Frau I. Valdés bedanken, die mit großer Hilfsbereitschaft und Freundlichkeit die verwaltungstechnische Abwicklung des Projektes durchgeführt hat.

Von entscheidender Bedeutung für die Fertigstellung dieser Arbeit war die große Hilfsbereitschaft und Geduld, die Herr Dr. M. Weber bei der sprachlichen Korrektur des Manuskripts auf einer sehr freundschaftlichen Weise aufbrachte. Mein aufrichtiger Dank gilt ihm außerdem für die zahlreichen inhaltlichen und stilistischen Verbesserungsvorschläge.

Besonderen Dank schulde ich Herrn MSc. H. El Kateb für seine engagierte und fundierte Beratung und Hilfe bei der statistischen Auswertung der Untersuchungen. Ohne seinen Beitrag, wäre die vorliegende Arbeit nicht dieselbe.

Ausdrücklich hervorzuheben ist die unermüdliche und freundliche Hilfsbereitschaft von Herrn Dr. Ch. Ammer bei den zahlreichen sprachlichen Verbesserungen der Arbeit und von Herrn Dr. Th. Knoke bei der soliden Beratung bezüglich des Themas Plenterwald. Ihnen beiden gilt auch mein Dank für die zahlreichen zwanglosen und sehr freundschaftlichen Gespräche, die für mich eine stetige Aufmunterung waren. An dieser Stelle möchte ich mich auch herzlich bei Herrn Prof. Dr. E. Kennel für die sehr wertvollen Hinweise bei der Vorratsberechnung bedanken.

Meinem zuverlässigen Freund Herr Dr. I. Quiroz verdanke ich zahlreiche Ratschläge, die für die Fertigstellung dieser Arbeit von großer Bedeutung waren, sowie auch für seine stetige Hilfsbereitschaft und große moralische Unterstützung.

Herrn Ch. Pérez, Herrn A. González, Herrn P. Albornoz, Frau S. Muñoz und Herrn E. Campos gilt ein sehr spezieller Dank für ihre Hilfe und Freundschaft bei der sehr anstrengenden Aufnahme der Daten, die in mancherlei Hinsicht die Grenzen des Zumutbaren überschritt.

Herrn B. Dominguez, Besitzer des Waldes in dem sich die Versuchsanlage befindet, und Herrn J. Flores, Verwalter des Fundos María Jesús, danke ich für die Erlaubnis die Flächen jederzeit betreten zu dürfen und die vielfältige Unterstützung bei den Außenaufnahmen.

Herrn A. Riedel schulde ich einen besonderen Dank für seine unermüdliche und freundschaftlichen Hilfsbereitschaft bei der Vermeidung des Zusammenbruches meines Rechners.

Weiterhin bedanke ich mich aufrichtig bei den Mitarbeitern des Lehrstuhls für Waldbau und Forsteinrichtung, Herrn Dr. B. Stimm, Frau K. Thoro, Frau B. Rast, Frau M. Bauer, Herrn S. Reimeier, Herrn B. Felbermeier, Herrn J. Onyekwelu und Herrn P. Hong, für die sehr freundliche und kollegiale Unterstützung in vielen Dingen. Das gute Arbeitsklima am Lehrstuhl wird mir unvergessen bleiben.

	Seite
<b>1 Einführung und Fragestellung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Die Baumart <i>Araucaria araucana</i>.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Die natürlichen <i>Araucaria araucana</i> Wälder.....</b>	<b>4</b>
2.11 Die erdgeschichtliche Entwicklung.....	4
2.12 Das ökologische Areal.....	5
2.13 Die Waldgesellschaften.....	5
2.14 Die Standortsbedingungen.....	6
2.141 Das Klima.....	6
2.142 Die Böden.....	7
2.15 Die Dynamik der <i>A. araucana</i> Wälder.....	8
2.16 Die botanischen Charakteristika.....	10
<b>2.2 Die <i>Araucaria araucana</i> Wälder unter dem Einfluss des Menschen.....</b>	<b>13</b>
2.21 Die Zeit der Indianer.....	14
2.22 Die Kolonialzeit.....	14
2.23 Die Republikzeit.....	16
2.24 Die gegenwärtige Waldfläche.....	18
<b>3 Material und Methode.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Untersuchungsgebiet.....</b>	<b>22</b>
3.11 Lage.....	22
3.12 Klima.....	23
3.13 Böden.....	25
<b>3.2 Versuchsanlage.....</b>	<b>25</b>
3.21 Versuchskonzept.....	25
3.22 Versuchsflächen.....	26
<b>3.3 Datenaufnahme.....</b>	<b>33</b>
3.31 Baumschicht.....	33
3.32 Verjüngungsschicht.....	35
<b>3.4 Datenauswertung.....</b>	<b>37</b>
3.41 Analysen zur Struktur des Urwaldes.....	37
3.411 <i>Minimumareal jeder Versuchsfläche</i> .....	37
3.412 <i>Einheitlichkeit zwischen den Versuchsflächen</i> .....	38
4.412.1 Durchmesserstruktur.....	38
4.412.2 Horizontale Baumverteilungsmuster.....	39
3.42 Bohrspananalyse.....	40
3.43 Vorratsberechnung.....	41

3.44 Analyse von Einzelbaumparametern.....	42
3.441 Zusammenhänge.....	43
3.442 Baumklassen.....	43
3.443 Berechnung und Vergleich von Regressionsgleichungen.....	44
3.45 Horizontale Verteilungsmuster der Verjüngung.....	51
3.46 Einfluss von <i>Chusquea argentina</i> auf die Verjüngung.....	52
4 Ergebnisse.....	53
4.1 Analysen zur Struktur des Urwaldes.....	53
4.11 Minimumareal jeder Versuchsfläche.....	53
4.12 Einheitlichkeit zwischen den Versuchsflächen.....	54
4.121 Durchmesserstruktur.....	55
4.122 Horizontale Baumverteilungsmuster.....	56
4.2 Auswirkungen der waldbaulichen Behandlungen.....	58
4.21 Baumschicht.....	58
4.211 Analyse auf Bestandesebene.....	58
4.211.1 Stammzahl.....	59
4.211.2 Grundfläche.....	63
4.211.3 Höhe.....	67
4.211.4 Vorrat.....	70
4.211.5 Kronengrundrissform.....	74
4.211.6 Verhältnis weiblicher und männlicher <i>A. araucana</i> Bäume.....	75
4.211.7 Stammqualität.....	78
4.212 Analyse von Einzelbaumparametern.....	82
4.212.1 Höhenkurven.....	84
4.212.2 Schlankheitsgrad.....	90
4.212.3 Kronenbreite.....	92
4.212.4 Kronenlänge.....	94
4.212.5 Kronenindexe.....	97
4.212.6 BHD-Zuwachs.....	101
4.212.61 Vollkluppung.....	102
4.212.62 Bohrspananalyse.....	103
4.22 Verjüngungsschicht.....	112
4.221 Besiedelbare Fläche.....	112
4.222 Dichte.....	113
4.223 Horizontale Verteilungsmuster.....	116
4.224 Vitalität.....	117
4.225 Sprossbasisdurchmesser.....	119
4.226 Einfluss von <i>Chusquea argentina</i> auf die Verjüngung.....	120

<b>5 Diskussion</b> .....	125
<b>5.1 Kritische Würdigung der Methodik</b> .....	125
<b>5.2 Die Struktur und das Wuchsverhalten von <i>A.araucana-N.pumilio</i> Urwaldbeständen</b> .....	130
<b>5.3 Auswirkungen von waldbaulichen Maßnahmen auf die Struktur und das Wuchsverhalten von <i>A.araucana-N.pumilio</i> Urwaldbeständen</b> .....	142
<b>5.4 Die Verjüngungsdynamik von <i>A.araucana-N.pumilio</i> Urwaldbeständen</b> .....	151
<b>5.5 Auswirkung von waldbaulichen Maßnahmen auf die Verjüngungsdynamik von <i>A.araucana-N.pumilio</i> Urwaldbeständen</b> .....	156
<b>5.6 Zusammenfassende Interpretation der Ergebnisse und Empfehlungen</b> .....	160
<b>6 Zusammenfassung</b> .....	166
<b>7 Literaturverzeichnis</b> .....	168
<b>8 Anhang</b> .....	179

<u>Verzeichnis der Abbildungen</u>	Seite
<u>Abb. 1:</u> Verbreitungsgebiet der <i>A.araucana</i> Wälder in Chile, nach dem Projekt „Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile“	19
<u>Abb. 2:</u> Lage der Versuchsflächen und Klimatypen im chilenischen Verbreitungsareal von <i>A.araucana</i>	23
<u>Abb. 3:</u> Gesamtgrundfläche der Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung vor und nach der Anlage der Behandlungen.	28
<u>Abb. 4:</u> Lage der neun Versuchsflächen im „Fundo María Jesús“	29
<u>Abb. 5:</u> Unterteilung der 1 Hektar großen Versuchsfläche in 16 je 625 m <sup>2</sup> große Teilparzellen	33
<u>Abb. 6:</u> Darstellung von neun zufällig ausgewählten Teilparzellen in denen jeweils 25 Verjüngungsstichproben systematisch angelegt wurden	33
<u>Abb. 7:</u> Verteilung der 25 je 2,25 m <sup>2</sup> großen Verjüngungsstichproben in einer ausgewählten Teilparzelle	34
<u>Abb. 8:</u> Anordnung der Flächen innerhalb jeder Versuchsfläche für die Durchmesserstrukturanalysen. Die Anordnung des Verfahrens 1 diente zur Bestimmung des Minimumareals bei jeder Versuchsfläche und das Verfahren 2 diente zur Analyse der Einheitlichkeit der Versuchsflächen	36
<u>Abb. 9:</u> Durchschnittliche Stammzahlverteilung auf Durchmesserklassen der neun Versuchsflächen vor der Anlage der Behandlungen	57
<u>Abb. 10:</u> Kurven des durchschnittlichen Morisita Indexes für die BHD-Klassen 10-50 cm, 50-100 cm und 100-200 cm für <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i>	59
<u>Abb. 11:</u> Stammzahlverteilungen auf Durchmesserklassen in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung, nach der Behandlung 1982 und im Jahr 1998	62
<u>Abb. 12:</u> Stammzahlveränderung von <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> zwischen 1982 (nach der Anlage der Behandlung) und 1998 nach BHD-Klassen	63
<u>Abb. 13:</u> Grundflächenverteilungen auf Durchmesserklassen in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung, nach der Behandlung 1982 und im Jahr 1998	66
<u>Abb. 14:</u> Grundflächenveränderung von <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> zwischen 1982 (nach der Anlage der Behandlung) und 1998 nach BHD-Klassen	67
<u>Abb. 15:</u> Stammanzahlverteilungen auf Höhenklassen in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung	69
<u>Abb. 16:</u> Grundflächenverteilungen auf Höhenklassen in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung	70
<u>Abb. 17:</u> Vorratverteilungen auf Durchmesserklassen in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung, nach der Behandlung 1982 und im Jahr 1998	73
<u>Abb. 18:</u> Vorratveränderung von <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> zwischen 1982 (nach der Anlage der Behandlung) und 1998 nach BHD-Klassen	74
<u>Abb. 19:</u> Grundrissform der Kronen von den <i>A.araucana</i> - und <i>N.pumilio</i> Bäumen in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung	76
<u>Abb. 20:</u> Anzahl fruktifizierender <i>A.araucana</i> Bäume in den verschiedenen Höhenklassen (links) und Anteil der fruktifizierenden <i>A.araucana</i> Bäumen an der Gesamtstammzahl in den verschiedenen Höhenklassen (rechts)	78

<u>Abb. 21:</u>	Anteilverteilung auf Durchmesserklassen der <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> Bäume nach ihrer Stammqualität in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung	82
<u>Abb. 22 :</u>	Streudiagramme für den Zusammenhang zwischen Höhe und BHD bei <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i>	85
<u>Abb. 23 :</u>	Graphische Darstellung der studentisierten Residuen in Abhängigkeit von den geschätzten Höhenwerten und von dem BHD, für den Zusammenhang Höhe:BHD von <i>A.araucana</i>	86
<u>Abb. 24 :</u>	Regressionsgleichungen des Zusammenhangs Höhe:BHD von <i>A.araucana</i> für die neun untersuchten Straten, mit dem zugehörigen Streudiagramm der Einzelbaumwerten nach Eliminierung der Ausreißer	87
<u>Abb. 25 :</u>	Höhenkurven von <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlung	90
<u>Abb. 26 :</u>	Regressionsgleichungen des Zusammenhangs h/d-Wert:BHD von <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlungsvariante	93
<u>Abb. 27 :</u>	Regressionsgleichungen der Zusammenhänge Kronenbreite:BHD und Kronenbreite:Höhe von <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlungsvariante	94
<u>Abb. 28 :</u>	Regressionsgleichungen der Zusammenhänge Kronenlänge:BHD und Kronenlänge:Höhe von <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlungsvariante	97
<u>Abb. 29 :</u>	Regressionsgleichungen der Zusammenhänge Bekronungsgrad:BHD und Spreitungsgrad:BHD von <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlungsvariante	100
<u>Abb. 30 :</u>	Regressionsgleichungen der Zusammenhänge Plumpteitsgrad:BHD von <i>A.araucana</i> und Ausladungsverhältnis:BHD von <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlungsvariante	102
<u>Abb. 31:</u>	Regressionsgleichungen des Zusammenhangs BHD-Zuwachs:Ausgangs-BHD von <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlungsvariante	103
<u>Abb. 32:</u>	Graphische Darstellungen der jährlichen BHD-Zuwächse der Teilkollektive von <i>A.araucana</i> für die Periode 1962-1997	106
<u>Abb. 33:</u>	Graphische Darstellungen der jährlichen BHD-Zuwächse der Teilkollektive von <i>N.pumilio</i> für die Periode 1962-1997	107
<u>Abb. 34:</u>	Graphische Darstellungen der jährlichen BHD-Zuwachs Trendabweichungen (in %) der Teilkollektive von <i>A.araucana</i> zwischen den Kontrollflächen und den Flächen mit Eingriffen für die Periode 1983-1997	110
<u>Abb. 35:</u>	Graphische Darstellungen der jährlichen BHD-Zuwachs Trendabweichungen (in %) der Teilkollektive von <i>N.pumilio</i> zwischen den Kontrollflächen und den Flächen mit Eingriffen für die Periode 1983-1997	111
<u>Abb. 36:</u>	Anzahl der <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> Verjüngung pro Hektar auf den neun Versuchsflächen	115
<u>Abb. 37:</u>	Jungwuchsverteilung auf Höhenklassen von <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> bei den drei Behandlungsvarianten	116
<u>Abb. 38:</u>	Durchschnittliche Klumpungsindexe der Verjüngungshöhenklassen für <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i>	118

<u>Abb. 39:</u>	Anteile der Vitalität der <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> Verjüngungspflanzen auf den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung	119
<u>Abb. 40:</u>	Anteilverteilung auf Höhenklassen des <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> Jungwuchses nach Ihrer Vitalität auf den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung	120
<u>Abb. 41:</u>	Regressionsgleichungen für den Zusammenhang Sprossbasisdurchmesser:Höhe für <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i>	121
<u>Abb. 42:</u>	Bedeckungsgrad von der Bodenvegetationsart <i>Ch.argentina</i> auf den neun Versuchsflächen	122
<u>Abb. 43:</u>	Anteile der <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> Verjüngungspflanzenzahl nach der Entwicklungsbeziehung mit <i>Ch.argentina</i> für die drei Behandlungsvarianten	123
<u>Abb. 44:</u>	Anordnung der Verjüngungsstichproben nach ihren vorhandenen Pflanzenzahlen von <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> und den Bedeckungsgrade von <i>Ch.argentina</i>	124

Verzeichnis der Tabellen

Seite

<u>Tab. 1:</u>	Fläche und Flächenanteil der verschiedenen <i>A.araucana</i> Waldgesellschaften	20
<u>Tab. 2:</u>	Flächen in denen die verschiedenen Begleitbaumarten von <i>A.araucana</i> als Beimischung in den in den <i>A.araucana</i> Wäldern vorkommen	21
<u>Tab. 3:</u>	Durchschnittswerte der monatlichen Messungen für Temperatur, Niederschlag und relative Feuchtigkeit des Gebietes in den die Versuchsflächen angelegt wurden, gemessen an der meteorologischen Station von Troyo	24
<u>Tab. 4:</u>	Klimadaten der Sommerstation in Los Chenques	25
<u>Tab. 5:</u>	Versuchskonzept des Projekts „Estudio de la Regeneración del Tipo Forestal <i>Araucaria araucana</i> “	26
<u>Tab. 6:</u>	Grundfläche der Versuchsflächen vor und nach der Anlage der Behandlungen	27
<u>Tab. 7:</u>	Höhenlagen und Hangneigungen der Versuchsflächen	52
<u>Tab. 8:</u>	Anzahl von Teilparzellen pro Exposition bei jeder Versuchsfläche	53
<u>Tab. 9:</u>	Mächtigkeit (in cm) der verschiedenen Horizonte des Bodens der Versuchsflächen	53
<u>Tab. 10:</u>	Beschreibung der Eigenschaften der verschiedenen Profile des Bodens der Versuchsflächen	54
<u>Tab. 11:</u>	Kombinationstabelle von Gesundheits- und Schaftformmerkmale für die Bestimmung der Qualität der Baumstämmen von <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i>	31
<u>Tab. 12:</u>	Verwendete Quadratflächengrößen für die Berechnung des Verteilungsindex, mit den entsprechenden Seitenlängen sowie die sich ergebende Anzahl der Quadrate pro Versuchsfläche	37
<u>Tab. 13:</u>	Codierungen von Z1 - Z8 für <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i>	44
<u>Tab. 14:</u>	Die zu überprüfenden Hypothesen entsprechend der Codierungen der nominalskalierten Merkmale Z1-Z8 für <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i>	44
<u>Tab. 15:</u>	Regressionsgleichungen für <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> für das Ausgangsmodell	45
<u>Tab. 16:</u>	Regressionsgleichungen für <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> bei Parallelität der entsprechenden neun Funktionen	47
<u>Tab. 17:</u>	Regressionsgleichungen für <i>A.araucana</i> und <i>N.pumilio</i> bei Gleichheit der Achsenabschnitte und keiner Parallelität der entsprechenden neun Funktionen	48

<u>Tab. 18:</u>	2 * 2 Kontingenztabelle für die Berechnung des $\chi^2$ - Testes, bei der Bestimmung des Einflusses von <i>Ch. argentina</i> auf die <i>A. araucana</i> und <i>N. pumilio</i> Verjüngung	50
<u>Tab. 19:</u>	Prozentanteil der Vergleiche, für die sich beim Test auf Unterschiede der Durchmesserstruktur von verschiedenen großen Flächen <i>innerhalb</i> jeder Versuchsfläche, unterschiedliche Signifikanzniveaus ergaben	55
<u>Tab. 20:</u>	Prozentanteil der Vergleiche, für die sich beim Test auf Unterschiede der Durchmesserstruktur von verschiedenen großen Flächen <i>zwischen</i> den neun Versuchsflächen, unterschiedliche Signifikanzniveaus ergaben	56
<u>Tab. 21:</u>	Prozentanteil der Vergleiche, für die sich beim Test auf Unterschiede der horizontalen Baumverteilungsindizes zwischen den neun Versuchsflächen, unterschiedliche Signifikanzniveaus ergaben	58
<u>Tab. 22:</u>	Stammzahlveränderung von <i>A. araucana</i> und <i>N. pumilio</i> auf den Versuchsflächen	60
<u>Tab. 23:</u>	Grundflächenveränderung von <i>A. araucana</i> und <i>N. pumilio</i> auf den Versuchsflächen	64
<u>Tab. 24:</u>	Grundflächenmittelstammdurchmesser in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung, nach der Anlage der Behandlung (1982) und in 1998	65
<u>Tab. 25:</u>	Vorratveränderung von <i>A. araucana</i> und <i>N. pumilio</i> auf den Versuchsflächen	71
<u>Tab. 26:</u>	Anteil männlicher, weiblicher und einhäusiger Bäume getrennt nach Behandlungsvariante	77
<u>Tab. 27:</u>	Anzahl und Anteile der <i>A. araucana</i> und <i>N. pumilio</i> Stämme nach ihren Gesundheits- und Schaftformzuständen in den Kontrollflächen und denen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung	80
<u>Tab. 28:</u>	Anzahl und Anteile der <i>A. araucana</i> und <i>N. pumilio</i> Bäume nach ihrer Stammqualität als Güteklasse in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung	81
<u>Tab. 29:</u>	Die ausgewählten Transformationen für die untersuchten waldbaulichen Zusammenhänge	84
<u>Tab. 30:</u>	Statistische Ergebnisse des Regressionsmodells für den Zusammenhang Höhe:BHD für <i>A. araucana</i> und <i>N. pumilio</i>	88
<u>Tab. 31:</u>	Achsenabschnitt ( $b_0$ ) und Koeffizienten ( $b_1$ , $b_2$ ) der Regressionsgleichungen des Zusammenhangs Höhe:BHD für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlung für <i>A. araucana</i> und <i>N. pumilio</i>	89
<u>Tab. 32:</u>	Anzahl ausgewerteter <i>A. araucana</i> und <i>N. pumilio</i> Bohrspäne, die nach den BHD-Zuwächsen statistisch einheitliche Teilkollektive bilden. Die Teilkollektive in jeder Behandlung entsprechen den Kronenfreiheitsklassen pro Höhenschicht	105
<u>Tab. 33:</u>	Durchschnittliche BHD-Jahreszuwächse der Teilkollektive von <i>A. araucana</i> und <i>N. pumilio</i> für die Periode 1983-1997 (nach der Anlage der Behandlung)	108
<u>Tab. 34:</u>	Durchschnittliche BHD-Zuwachs Trendabweichungen (in %) der Teilkollektive von <i>A. araucana</i> und <i>N. pumilio</i> zwischen den Kontrollflächen und den Flächen mit Eingriffen für die Periode 1983-1997 (nach der Anlage der Behandlung)	112
<u>Tab. 35:</u>	Nicht für Verjüngung und Bodenvegetation besiedelbare Flächenanteile auf den einzelnen Versuchsflächen	114
<u>Tab. 36:</u>	Resultate der Analysen zur Beziehung zwischen der <i>A. araucana</i> und <i>N. pumilio</i> Verjüngung mit der Bodenvegetationsart <i>Ch. argentina</i>	124

## 1 Einführung und Fragestellung

Das Schicksal der chilenischen Urwälder<sup>1</sup> hat sich in der Vergangenheit nicht von dem der übrigen Urwälder dieser Welt unterschieden: sie wurden zum Zweck der Landgewinnung für Ackerbau und Viehzucht gerodet oder zum Zweck der Holzgewinnung exploitiert. Im Unterschied zu Mitteleuropa, wo die Urwälder nahezu völlig verschwunden sind, gibt es in Chile jedoch aufgrund des erst späten Einsetzens der landwirtschaftlichen Nutzung immer noch unberührte Waldflächen.

Heutzutage sind in Chile noch 13.443.316 Hektar Naturwald<sup>2</sup> vorhanden (CONAF-CONAMA, 1997), wovon jedoch ein großer Teil wegen andauernder Ausplünderungen degradiert ist. Der genaue Zustand ist jedoch unbekannt. Von der noch vorhandenen Naturwaldfläche sind 29 % in Nationalparks geschützt (CONAF-CONAMA, 1997), der Rest befindet sich im Privatbesitz. Großflächige Rodungen oder Ausbeutungen dieser Wälder sind heute ausgeschlossen, denn der chilenische Staat verlangt von den Waldbesitzern eine „nachhaltige Bewirtschaftung“ ihrer Wälder. Nicht bewirtschaftet werden allerdings Wälder, die von einer der wertvollsten chilenischen Baumarten dominiert sind: *Araucaria araucana* (Mol.) K.Koch unterliegt einem absoluten Holzeinschlagsverbot. Anlass für diese drastische Maßnahme ist die völlig irrationale Nutzung, die diese Wälder in den letzten 120 Jahren erfahren haben. Seit Ende des 19. Jahrhunderts wurden die *A. araucana* Wälder gerodet und ausgebeutet. Infolge dieser menschlichen Einflussnahme ist ein großer Teil dieser ehemaligen Urwaldflächen heute mit degradierten, von Exploitation und Feuer gezeichneten Beständen bestockt. 1976 wurde deswegen diese Baumart durch ein Holzeinschlagsverbot unter gesetzlichen Schutz gestellt (D.S. Nr.29). Im Jahr 1987 wurde jedoch eine „geregelte Nutzung“ unter staatlicher Forstaufsicht wieder ermöglicht (D.S. Nr.141). Das Ziel dieser Regelung war, die Naturwälder, darunter die *A. araucana* Wälder, mit finanzieller Unterstützung des Staates nachhaltig zu bewirtschaften. Da aber damals wie heute ein eklatanter Mangel an Grundlagenwissen herrschte und deshalb auch keine klaren Konzepte zur Bewirtschaftung von *A. araucana* Wälder existierten, hat die chilenische Regierung am 3. April 1990 *A. araucana* erneut durch ein absolutes Holzeinschlagsverbot unter Schutz gestellt<sup>3</sup> und zum Naturdenkmal erklärt (D.S. Nr.43).

Die verbliebenen *A. araucana* Wälder Chiles bedecken heute ca. 253.715 Hektar. Davon befinden sich 122.679 Hektar (48,4 %) in Nationalparks (CONAF-CONAMA, 1997). Das bedeutet, dass auch ohne die Existenz des Holzeinschlagsverbotes, die Hälfte der *A. araucana* Waldfläche für immer erhalten bleiben würde. Die gegenwärtige Rechtslage sichert zwar diese Baumart auf der gesamten Waldfläche, aber dieser vollständige Schutz bringt auch negative Auswirkungen mit sich:

---

<sup>1</sup> In der vorliegenden Arbeit wird die Bezeichnung „Urwald“ verwendet, wenn es um natürliche und ungestörte Wälder geht, die bisher von Menschen nicht beeinflusst sind.

<sup>2</sup> Eine eindeutige Abgrenzung zum Begriff „Naturwald“ ist in der Literatur nicht zu finden. Naturwald und Urwald werden häufig synonym benutzt. In dieser Arbeit wird jedoch die Bezeichnung Naturwald verwendet, wenn es sich um Wälder handelt, die noch die natürlichen Baumarten enthalten, menschliche Einflüsse aber stattgefunden haben.

<sup>3</sup> Die chilenische Forstbehörde, CONAF, kann zu Forschungszwecken während des Holzeinschlagsverbots eine Ausnahmegenehmigung erteilen.

- Die Baumart *A.araucana* findet kaum Interesse in der forstlichen Forschung. Aufgrund der fehlenden Nutzungsmöglichkeiten, wird keine Notwendigkeit zur Entwicklung waldbaulicher Konzepte gesehen.
- Den *A.araucana* Wäldern wird eine zunehmende Geringschätzung entgegengebracht. Die Waldbesitzer erachten Wälder aus denen sie keinen monetären Nutzen ziehen können, als wertlos. Das bedeutet, dass sie in diesen Wäldern auch nicht investieren, so werden beispielsweise keine Zäune mehr gebaut, um die Verjüngung der Bestände vor Tieren zu schützen. Ganz im Gegenteil, die Besitzer betreiben gezielt in den *A.araucana* Wäldern Waldweide, um so wenigstens einen minimalen Nutzen davon zu ziehen.
- Die Entwertung von *A.araucana* hat auch dazu geführt, dass heute niemand mehr diese Baumart pflanzt, selbst dort nicht, wo sie die ideale Bestockung darstellen würde.
- Für die Waldbesitzer ist das Holzeinschlagsverbot mit erheblichen Einkommenseinbußen verbunden. Dringend benötigte Investitionsmittel für die Waldwirtschaft (Pflegetmaßnahmen, Wegebau) stehen somit nicht zur Verfügung.

Aufgrund der vorstehend genannten negativen Auswirkungen der Unterschutzstellung von *A.araucana* wird die zunehmend lauter werdende Forderung der Waldbesitzer nach Aufhebung des Holzeinschlagsverbotes oder einer Entschädigung verständlicher. In dieser Situation wäre das Zulassen einer nachhaltigen Nutzung der *A.araucana* Wälder die vernünftigste Lösung. Damit könnte einerseits die Wertschätzung und andererseits der Schutz von *A.araucana* gewährleistet werden. Dies scheidet jedoch unter anderem daran, dass es bislang kein wissenschaftlich abgesichertes Behandlungskonzept für eine nachhaltige Bewirtschaftung dieser Wälder gibt. Angesichts der Tatsache, dass das Einschlagsverbot demnächst wieder aufgehoben werden könnte, besteht hier dringender Handlungsbedarf. Nun kann das zu entwickelnde Behandlungskonzept allerdings nicht theoretisch hergeleitet werden, sondern muss auf soliden ertragskundlichen Analysen von *A.araucana* Beständen aufbauen. Dies setzt Versuchsflächen-aufnahmen von *A.araucana* Beständen mit unterschiedlichen Bewirtschaftungsregimen voraus. Für die verschiedenen Waldsituationen sollte das Wuchsverhalten des Altbestandes, die Verjüngungsdynamik und die Reaktion beider Prozesse auf verschiedene Eingriffe bekannt sein.

Es ist deshalb als ausgesprochener Glücksfall anzusehen, dass bereits in den Jahren 1981-1982 von Prof. Dr. H. Schmidt Araukarierversuchsflächen mit unterschiedlichen waldbaulichen Eingriffen in der IX. Region Chiles angelegt wurden. Diese Versuchsflächen, die die wichtigsten Grundlagen zur Forschung von *A.araucana* in Chile darstellen, standen für die vorliegende Arbeit zur Verfügung.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> An dieser Stelle sei Prof. Dr. H. Schmidt nochmals für die zur Verfügungstellung des Versuches und die Überlassung der Originaldaten von 1982 gedankt.

Auf diesen einzigartigen permanenten Versuchsflächen sollten im Rahmen der vorliegenden Studie durch Aufnahmen in den Jahren 1998 und 1999 folgende, für die **Förderung und Erhaltung von *A.araucana*** grundlegende Fragen beantwortet werden:

- *Wie ist die Struktur und das Wuchsverhalten von *A.araucana-N.pumilio* Urwaldbeständen?*
- *Wie beeinflussen waldbauliche Maßnahmen die Struktur und das Wuchsverhalten von *A.araucana-N.pumilio* Urwaldbeständen?*
- *Wie ist die Verjüngungsdynamik von *A.araucana-N.pumilio* Urwaldbeständen?*
- *Wie beeinflussen waldbauliche Maßnahmen die Verjüngungsdynamik von *A.araucana-N.pumilio* Urwaldbeständen?*

## 2 Die Baumart *Araucaria araucana*

In diesem Kapitel wird zuerst auf Charakteristika, Kennzeichen und Merkmale der Baumart *A. araucana* in Wäldern eingegangen, die sich von Natur aus entwickelt haben. Im zweiten Teil des Kapitels wird dann die Entwicklung von *A. araucana* Wäldern unter dem Einfluss des Menschen beschrieben.

### 2.1 Die natürlichen *Araucaria araucana* Wälder

In diesem Kapitel wird als erstes auf die erdgeschichtliche Entwicklung dieser Baumart hingewiesen (s. Kap. 2.11), um das gegenwärtige ökologische Areal besser einschätzen zu können (s. Kap. 2.12). Danach werden die Waldgesellschaften und die standörtlichen Eigenschaften dieses Areals beschrieben (s. Kap. 2.13 und 2.14), um das Verständnis der Dynamik dieser Wälder zu erleichtern (s. Kap. 2.15). Den Abschluss dieses Kapitels bildet eine botanische Charakterisierung von *A. araucana* (s. Kap. 2.16)

#### 2.11 Die erdgeschichtliche Entwicklung

Über Millionen von Jahren haben sich Araukarienwälder natürlich entwickelt. Die Familie der *Araucariaceae* war vom Trias bis ins Tertiär (vor 245 bis 65 Millionen Jahren) weltweit verbreitet, u.a. in Europa und auf Grönland (STRASBURGER *et al.*, 1991). In der Jurazeit (vor 205 bis 130 Millionen Jahren) besiedelten Araukarienwälder weite Gebiete in Südamerika. Durch die Entstehung der Anden, am Ende der Kreidezeit bis zum Tertiär (vor 130 bis 65 Millionen Jahren), wurde das Areal dieser Wälder geteilt und so entwickelten sich danach die beiden heutzutage existierenden Baumarten: *Araucaria angustifolia* im südlichen Bergland Brasiliens und *Araucaria araucana* in den hohen Lagen der chilenisch-argentinischen Anden und in der chilenischen Küstenkordillere (SEITZ, 1983; GOLTE, 1993).

Für die Erklärung des gegenwärtigen Areals von *A. araucana* gibt es drei Theorien:

- Das Areal von *A. araucana* ist ein konkurrenzarmer Zufluchtsraum einer alten Reliktkoniferenart, d.h. dass diese Baumart durch konkurrenzfähigere Laubbaumarten auf das gegenwärtige Restareal eingeeengt wurde. Das physiologische Areal hat eine deutlich weitere Amplitude als die ökologische Verbreitung (vgl. SCHMITHÜSEN, 1960, 1978; SEITZ, 1983). Anhänger dieser Theorie sind der Meinung, dass *A. araucana* sich in einer natürlichen Endphase ihrer Entwicklung befindet und sie deshalb prädestiniert ist auszusterben.
- Das Areal von *A. araucana* ist ein Resultat ihrer Verdrängung von konkurrenzfähigeren Laubbaumarten auf abiotisch stressreiche Standorte. Allerdings handelt es sich nicht um ein lebendes Fossil das am verschwinden ist; auf den gegenwärtigen Standorten kann sie sich gut entwickeln und sich mittels entwickelter Ausbreitungs-, Reproduktions- und Beharrungsstrategien gegen die Laubbaumarten durchsetzen. Das physiologische Areal hat jedoch eine weitere Amplitude als die gegenwärtige ökologische Verbreitung (vgl. VEBLEN, 1982; BURNS, 1991, 1993; DONOSO, 1993; FINCKH und PAULSCH, 1995; FINCKH, 1996).

- Das Areal von *A. araucana* befindet sich in den hohen Lagen, nicht weil konkurrenzfähigere Laubbaumarten sie verdrängt hätten, sondern weil aufgrund der Klimaentwicklung die für sie geeigneten physikalisch-chemischen Wachstumsparameter des Bodens nur noch dort gegeben seien. Das physiologische Areal entspricht vollkommen der ökologischen Verbreitung (GOLTE, 1978, 1993).

## 2.12 Das ökologische Areal

Das ökologische Areal von *A. araucana* erstreckt sich in den Anden von 37°20' südl.Br. ab dem Vulkan Antuco in Chile bis 40°03' südl.Br. am Lago Lolog in Argentinien. In der chilenischen Andenkordillere stocken größere Bestände bereits am Quetrupillán, also auf etwa 39°35' südl.Br. (vgl. Abb. 1, S. 23) und kommen von 900-1.800 m ü.NN vor, mit Schwerpunkt zwischen 1.300 und 1.600 m (MONTALDO, 1974; GOLTE, 1978, 1993; SCHMIDT, 1977; VELEN, 1982; DONOSO, 1993). An seiner Ostgrenze am argentinischen Steppenrand reicht das *A. araucana* Gebiet bis auf 600 m. ü.NN herab (HUECK, 1966). In der chilenischen Küstenkordillere gibt es ein kleineres Vorkommen, das sich in zwei voneinander isolierte Gebiete aufteilt. Das größere liegt im Parque Nacional Nahuelbuta, zwischen 37°40' und 37°50' südl.Br. von 1.000 bis 1.400 m ü.NN, und das kleinere Gebiet befindet sich bei 38°30' südl.Br. um 600 m ü.NN. (vgl. Abb. 1, S. 23) (MONTALDO, 1974; GOLTE, 1978, 1993; VELEN, 1982; DONOSO, 1981, 1993).

## 2.13 Die Waldgesellschaften

Die *A. araucana* Wälder sind ein Teil der chilenischen temperierten Regenwälder.<sup>5</sup> Nach pflanzensoziologischen Studien gehören die *A. araucana* Wälder zur *Nothofagetea pumilonis-antarcticae* Klasse, die auch als andin-subantarktische Sommerwälder und Nadelwälder bezeichnet werden. In dieser Klasse bildet der *A. araucana* Wald eine eigene Waldgesellschaft das *Carici-Araucarietum* (OBERDORFER, 1960).

*A. araucana* ist hauptsächlich mit verschiedenen *Nothofagus spp.* vergesellschaftet. In den niedrigsten Lagen der Anden und Küstenkordillere mischt sie sich mit *Nothofagus obliqua* (Roble), *Nothofagus alpina* (Raulí) und *Nothofagus dombeyi* (Coigue) und in den höchsten und kältesten Lagen mit *Nothofagus pumilio* (Lenga) und *Nothofagus antarctica* (Nirre). Zu diesen *Nothofagus spp.*, die buchenähnlich sind, treten zwei weitere Laubbaumarten hinzu: *Weinmannia trichosperma* (Tineo) und *Laurelia philippiana* (Tepa) (MONTALDO, 1951, 1974; SCHMIDT, 1977; GOLTE, 1978, 1993; VELEN und SCHLEGEL, 1982; RODRIGUEZ *et al.*, 1983; BASCUR *et al.*, 1987; DONOSO, 1993).

In der Küstenkordillere bildet *A. araucana* hauptsächlich zusammen mit *N. dombeyi* lichte Waldbestände, deren Dichte mit der Höhe und steigenden Niederschlägen zunimmt. In den niedrigsten Lagen dieser Gebirge mischt sie sich auch mit anderen typischen Baumarten die zum „Bosque Siempreverde“ gehören, wie *Saxegothaea conspicua* (Mañío) und *Eucryphia cordifolia* (Ulmo) und in feuchten Lagen mit *Drimys winteri* (Canelo) (DONOSO *et al.*, 1984). An der

---

<sup>5</sup> Temperierter Regenwald kommt nur in wenigen Regionen der Erde vor und die größte Ausdehnung dieser speziellen Waldgesellschaft befindet sich in Chile (WECK, 1957).

Westseite der Anden differenzieren sich die mit der *A. araucana* vergesellschafteten *Nothofagus*-Arten nach der Meereshöhe. Bis zu einer Höhe von 1.250 m herrschen mit *A. araucana* vor allem *N. obliqua* und *N. alpina* vor. *N. dombeyi* bestimmt dann das Waldbild der Zone zwischen 1.250 und 1.400 m ü.NN und in den höher liegenden Beständen wird zunehmend *N. pumilio* dominant. Auf Sonderstandorten, wie im Bereich der Baumgrenze und in Frostsenken, wird *A. araucana* von *N. antarctica* begleitet (GOLTE, 1978, 1993; GAJARDO, 1980; VEBLEN und SCHLEGEL, 1982; DONOSO, 1993). An der Ostseite der Anden, zwischen 1.100 und 1.600 m ü.NN, vergesellschaftet sich *A. araucana* auch mit *Austrocedrus chilensis* (Ciprés de la Cordillera) (BURNS, 1991, 1993).

## 2.14 Die Standortsbedingungen

### 2.141 Das Klima

Der gesamte chilenische Naturwald zählt zu den Wäldern der gemäßigten Zone (BURSCHEL und HUSS, 1997), denn die Klimamerkmale unter denen sich diese Wälder entwickeln, sind im Vergleich zu den anderen Klimatypen nicht extrem. WECK (1957) rechnet die Wälder Chiles dem temperierten Regenwald zu, der sich nur in Regionen mit verhältnismäßig warmen Sommern und milden Wintern, langer Vegetationszeit, langen warmen Tagen und kurzen kühlen Nächten sowie mit ganzjährig reichlichem Regenfall ausbildet (vgl. GOLTE, 1978, 1993).

Dennoch variieren die Klimabedingungen im Verbreitungsgebiet der *A. araucana* Wälder in einem weiten Rahmen. So unterscheiden sich z.B. Temperaturverhältnisse sowie Frostgefährdung im Küstengebirge stark von denen in den Anden. Das Klima im Küstengebirge und den niedrigeren Lagen der Andenkordillere wird als mediterran oder warmgemäßigt bezeichnet, während man es in den Anden als kühlgemäßigt bezeichnen kann. Außerdem ist in der Andenkordillere eine klimatische Höhenstufung gegeben, was dann in den hohen Lagen zu einem Frostklima führt. Im Gegensatz zu den chilenischen Verhältnissen, wird das Klima der *A. araucana* Wälder in Argentinien als kaltes Steppenklimate bezeichnet (DELMASTRO und DONOSO, 1980; BURNS 1991, 1993).

Nachfolgend werden die wichtigsten Standortscharakteristika im chilenischen Verbreitungsgebiet etwas detaillierter dargestellt.

#### Niederschlag

Die Niederschlagsmenge nimmt von Norden nach Süden und mit steigender Meereshöhe stetig zu, sinkt allerdings im Regenschatten der Anden, also im Osten, deutlich ab (MONTALDO, 1974; PERALTA, 1980). Der jährliche Niederschlag in der Küstenkordillere variiert zwischen 1.500 und 3.000 mm und an der Westseite der Anden zwischen 2.000 und 4.500 mm (DONOSO, 1981). Nach Osten hin sinkt der Niederschlag bis auf Werte zwischen 1.600 und 1.900 mm in Lonquimay (PERALTA, 1980), 1.200 mm am Westufer des Lago Moquehue in Argentinien und 600 mm am östlichen Teil des Lago Aluminé (BURSCHEL *et al.*, 1976; HUECK, 1966, 1978). Der Jahresgang der Niederschläge ist im Küstengebirge und am Fuß der Anden einigermaßen gleichmäßig, nach Osten und Norden hin wird er dagegen von zunehmendem Mangel in den Sommermonaten gekennzeichnet (MONTALDO, 1974). In den höher gelegenen Teilen des

Verbreitungsgebietes nimmt der Schnee den Platz als wichtigster Niederschlagsspender ein (GOLTE, 1978, 1993; DONOSO, 1981).

### Temperatur

Leider liegen genaue und über längere Zeit ermittelte Temperaturdaten aus dem Verbreitungsgebiet nicht vor. Die wenigen zur Verfügung stehenden Angaben sind je nach Autor unterschiedlich.

Im chilenischen *A. araucana* Verbreitungsgebiet fallen die Wintertemperaturen bis auf  $-10^{\circ}\text{C}$  und im argentinischen Teil des Areals bis auf  $-20^{\circ}\text{C}$  (HUECK, 1966, 1978). An der Kordillere von Nahuelbuta (Teil der chilenischen Küstenkordillere), beträgt die Durchschnittstemperatur  $9^{\circ}\text{C}$  im Februar und  $-1^{\circ}\text{C}$  im Juli (MONTALDO, 1974; DONOSO, 1993). FUENZALIDA (1965) gibt für das selbe Gebirge und auch für das Gebiet am Fuß der Anden, eine Jahresmitteltemperatur von  $11,4^{\circ}\text{C}$  an, die zwischen  $15^{\circ}\text{C}$  im Februar und  $8,4^{\circ}\text{C}$  im August schwankt. Für die höheren Lagen der Anden gibt er eine jährliche Durchschnittstemperatur von  $7,1^{\circ}\text{C}$  an. Die Extremwerte der monatlichen Temperaturen ergeben sich dort für Januar mit  $11,4^{\circ}\text{C}$  und für Juli mit  $2,5^{\circ}\text{C}$ . Weitere Angaben über Temperaturdaten der Anden werden von PERALTA (1980) und SCHMIDT (1984, zit. n. DONOSO, 1990) gegeben. PERALTA (1980) bezeichnet eine Jahresmitteltemperatur, gemessen in Lonquimay (970 m ü.NN), von  $8,4^{\circ}\text{C}$ , mit Wintertemperaturen unter  $0^{\circ}\text{C}$  und Sommertemperaturen über  $30^{\circ}\text{C}$ . Einen vergleichbaren Mittelwert von  $8,7^{\circ}\text{C}$  nennt SCHMIDT (1984, zit. n. DONOSO, 1990) für die Meßstation Troyo in 950 m ü.NN am Oberlauf des Bío-Bío. An diesem Ort schwanken die Extremwerte der monatlichen Temperaturmittel zwischen  $2,2^{\circ}\text{C}$  im Juli und  $15,2^{\circ}\text{C}$  im Januar.

### **2.142 Die Böden**

Die Bodentypen der Küstenkordillere unterscheiden sich grundlegend von denen der Anden. Hauptsächlicher Grund hierfür sind die verschiedenen Grundgesteine, aus denen sich die Böden entwickelt haben (DONOSO, 1993; VEIT und GARLEFT, 1996).

Die Böden des Küstengebirges haben sich hauptsächlich aus zwei Ausgangsgestein entwickelt: in manchen Orten aus Granodioriten und in anderen aus metamorphischen Gesteinen des Typs Metaeskisten (vgl. GOLTE, 1978, 1993; DONOSO, 1993). Die daraus entstandenen Böden haben eine dünne Humusschicht, sind lehmig-tonig, besitzen pH-Werte um 5 und sind durch Auswaschung basenarm (MONTALDO, 1974). Nach DONOSO (1993) unterscheiden sich die Böden der Küstenkordillere von denen der Anden durch eine höhere Humusschicht und damit höheren organischen Anteil im Boden, was auch zu besseren Zuwächsen führt.

In den Anden haben sich die Böden aus vulkanischen Gesteinen entwickelt, die hauptsächlich durch Andesite und Basalte geprägt sind (DONOSO, 1993). Diese Gesteine sind heutzutage mit verschiedenen vulkanischen Bodensätzen überdeckt (GOLTE, 1978, 1993). An sehr vielen Orten ist die Landschaft allerdings noch durch die ursprünglichen Formen des Ausgangsgesteins geprägt. Die Effekte der Eiszeit sind an den typischen, von den Gletschern geformten, breiten Tälern zu erkennen. Die Talböden sind durch einen alluvialen vulkanischen Bodensatz charakterisiert (PERALTA, 1980). Vulkanische Aktivitäten und Erdbeben spielen für die Böden in den Anden eine sehr wichtige Rolle, denn sie führen durch ständige neue Überdeckungen mit

Asche, Lavamassen und Bergrutschen zu permanentem Neuanfang der Bodenentwicklung. Wegen dieser häufigen Erdaktivität und den verschiedenen Inklinationen und Expositionen in den höheren Lagen der Anden, in denen sich die *A. araucana* Wälder befinden, gibt es oft kleinflächige Wechsel von stark verwitterten, schwach sauren Braunerden und schwach verwitterten, jungen Vulkanascheböden. Deshalb haben diese Böden oft eine junge Entwicklung (PERALTA, 1980). Hinzu kommt in tieferen Regionen der Anden die Entwicklung von Trumaoböden. Diese Böden sind in der Regel tiefgründig, ausreichend mit Nährstoffen versorgt, besitzen eine gute Mineralreserve, einen pH-Wert zwischen 5 und 6, sind basenreich, haben ein großes Porenvolumen und eine reichhaltige Bodenfauna. Sie gelten als die besten Böden Südkiles (MONTALDO, 1974; GOLTE, 1973). Auf diesen Böden entwickelt sich jedoch kaum *A. araucana* (vgl. Kap. 2.11)

### 2.15 Die Dynamik der *A. araucana* Wälder

Die erste Untersuchung zur Beschreibung der Dynamik von *A. araucana* Wäldern wurde von SCHMIDT (1977) durchgeführt. Er beschrieb die Dynamik der Bestandesentwicklung für hochmontane einschichtige *A. araucana*-*N. pumilio* Bestände der Anden. Danach können drei verschiedene Entwicklungsphasen unterschieden werden:

- Zerfalls- und Verjüngungsphase: Diese Phase beginnt, wenn die Bäume ein Alter von 700-800 Jahren erreicht haben. Die Oberschicht, die aus wenigen Bäumen besteht, zerfällt und es bilden sich Kronenlücken, welche die Ansiedlung von Verjüngung erlauben. Die Phase endet, wenn die Bäume der Oberschicht ein Alter von 1.200 Jahren aufweisen und die Verjüngung zwischen 100 und 200 Jahre alt ist. Hier schließt sich die nächste Phase an.
- Optimal oder Reifephase: Diese Phase ist gekennzeichnet durch starkes Wachstum der Bäume unter Konkurrenzdruck, bis sich dann eine erneuerte Oberschicht bildet. Dies geschieht etwa im Alter von 500 Jahren, wenn sich weitere Verjüngung kaum mehr etabliert.
- Altersphase: Diese Phase beginnt ab einem Alter von 500 Jahren und endet bei einem Alter von 700-800 Jahren. Der Wald besteht aus einer gleichaltrigen Oberschicht, bei der die Zuwächse abnehmen bzw. stagnieren. In dieser Phase wird der höchste Vorrat erreicht. An diese Periode schließt sich die erste Phase wieder an.

DONOSO (1993) hat starke Kritik an dieser Interpretation der Dynamik von *A. araucana* Wälder geübt, weil die in den Anden auftretenden Großstörungen<sup>6</sup> von SCHMIDT (1977) nicht in das Konzept einbezogen wurden. Nach DONOSO's Ansicht kann man die Dynamik dieser Wälder keinesfalls als zyklisch beschreiben, denn die *A. araucana* Wälder sind nach seiner Meinung von Großstörungen, wie z.B. vulkanische Aktivität und Erdbeben, die zu Feuer, Bergrutschen und Asche- und Lavamassenüberdeckung führen können, völlig abhängig. Die Bedeutung von Großstörungen für die Dynamik dieser Wälder hat auch VEBLEN (1982) herausgestrichen. An der Waldgrenze fand er bei seinen Untersuchungen oft Bestände, die von Bergrutschen begraben

---

<sup>6</sup> Störungen bei denen es sich um Veränderungen durch Außeneinflüsse handelt, d.h. um solche, die nicht aus der Verfassung und Entwicklung des Ökosystems selbst erklärt werden können (OTTO, 1994). Im Untersuchungsgebiet sind dies vor allem die bereits erwähnte vulkanische Aktivität und Erdbeben.

wurden; dort überlebten nur die größeren und stabilen *A. araucana* Bäume, die einen sehr lichten Wald bildeten. In diesem konnte sich die Verjüngung von *A. araucana* und *N. pumilio* wieder etablieren. Für diese Interpretation der Erklärung des Verjüngungsganges in *A. araucana* Wäldern sprechen auch die Beobachtungen in Argentinien. Die dortigen *A. araucana*-*N. antartica* Wälder sind charakterisiert durch den Einfluss des Feuers. Die *N. antartica* Bäume sterben wegen des Feuers alle ab und es überleben nur die stabileren *A. araucana* Bäume, die durch ihre brandschützende Borke im Alter besser an Störungen durch vulkanische Ereignisse oder Feuer angepasst sind als die konkurrierenden Baumarten. *A. araucana* verjüngt sich unter dem eigenen Schirm der überlebenden Mutterbäume durch normale Samen, während *N. antartica* die Fläche durch Stockausschlag wieder besiedelt (BURNS, 1991, 1993; HÖVELMANN, 1998; RECHENE, 2000).

Der wichtigste Ausbreitungsmechanismus der *A. araucana* ist die Barochorie, d.h. das Fallenlassen der Samen. Da diese Samen groß und schwer sind (s. Kap. 2.16), liegen 40 % des Samenaufschlages innerhalb der Kronenprojektion (Radius = 4m) und nur 4 % der abgefallenen Samen lassen sich weiter als 8 m vom Stamm des Mutterbaumes entfernt finden (SCHMIDT und CAMPOS, 1988). CARO (1995) stellt bei Berücksichtigung eines Kronenradius von 5 m fest, dass 69 % des Samenaufschlages innerhalb der Kronenprojektion liegt, wobei keine Samen weiter als 11 m vom Mutterbaum zu finden waren. MUÑOZ (1984) hat festgestellt, dass der Samenfall im Durchschnitt 7 m von dem Mutterbaum entfernt ist, wobei der Entfernungsextremwert bei 13 m liegt.

Da die Widerstandsfähigkeit der *A. araucana* Bäume aufgrund der hohen Intensität der Störungen immer wieder überschritten werden kann, braucht diese Baumart einen effektiven Fernausbreitungsmechanismus zur Neubesiedlung devastierter Standorte (VEBLEN, 1982; GEDDA, 1982; FINCHK und PAULSCH, 1995). Obwohl die meisten *A. araucana* Samen direkt unter den weiblichen Altbäumen keimen (VEBLEN, 1982; MUÑOZ, 1984; SCHMIDT und CAMPOS, 1988; BURNS, 1991, 1993; DONOSO, 1993; CARO, 1995; FINCKH und PAULSCH, 1995; FINCKH, 1996), findet man oft *A. araucana* Bäume die ganz alleine auf hochgelegenen Felsen und Graten wachsen.<sup>7</sup> Welche Vektoren oder Fernausbreitungsmechanismen es der *A. araucana* ermöglichen, sich dort zu verbreiten und so devastierte Standorte neuzubesiedeln, ist noch nicht näher untersucht. Es wird jedoch vermutet, dass es sich um Vögel und Säugetiere handeln muss, da Wind und Wasser wegen des Gewichtes der Samen (s. Kap. 2.16) nicht in Frage kommen. Die Entwicklung der wenigen vertragenen Samen ist für den Erhalt dieser Baumart sogar wichtiger als das Schicksal der vielen herabgefallenen Samen (BURNS, 1991, 1993; DONOSO, 1993; FINCHK und PAULSCH, 1995).

Wenn die *A. araucana* Bestände über lange Zeit nicht durch ein katastrophales Ereignis gestört werden, tendieren sie zu einem kontinuierlichen dynamischen Gleichgewichtszustand, in dem nur kleinere Störungen<sup>8</sup> und natürliche Zerfalls- und Todesprozesse eine Rolle spielen, so wie es

---

<sup>7</sup> In den höheren Lagen besiedelt *A. araucana* meistens die Nordhänge und die nordexponierten Kanten ganz alleine, denn an diesen besonderen warmen und trockenen Standorten ist die Entwicklung von *N. pumilio* gehemmt. An kälteren Standorten behauptet sich *N. antartica* gegen *A. araucana* und *N. pumilio* (SCHMITHÜSEN, 1960, 1978; OBERDORFER, 1960; BURNS, 1991, 1993).

<sup>8</sup> Störungen die im selben Waldökosystem entstehen, d.h. um solche, die aus der Verfassung und Entwicklung des Ökosystems selbst erklärt werden können (OTTO, 1994).

SCHMIDT (1977) in seinem Konzept als Regelfall unterstellt hat; dabei bildet *A. araucana* stets ungleichaltrige und mehrschichtige Wälder. Allerdings ist zu bemerken, dass dieser Gleichgewichtszustand nur ein Teil der Dynamik der *A. araucana* Wälder ist, denn wie schon erwähnt, gehören Waldstrukturen die durch Großstörungen erzeugt wurden auch zu der Dynamik dieser Wälder (vgl. DONOSO, 1993). Bei der Entwicklung zum Gleichgewichtszustand ist das Lichtbedürfnis von *A. araucana* von größter Bedeutung. In der Literatur wird *A. araucana* häufig den Lichtbaumarten zugerechnet, sie ist aber in der Lage in der Jugend auch Halbschatten sehr gut zu ertragen (MUTARELLI und ORFILA, 1970; SCHMIDT *et al.*, 1980; BURNS, 1991, 1993; DONOSO, 1990, 1993). *A. araucana* kann unter Schirm sowohl als Reinbestand als auch in Verbindung mit *Nothofagus*-Arten sich verjüngen, wobei sie eine starke Beschattung von mehreren hundert Jahren aushalten kann. *A. araucana* wächst im Schatten zwar kaum, stirbt aber nicht ab. Sie ist in der Lage, fast eine ganze Waldgeneration im Schatten von älteren Bäumen zu überdauern, um dann nach Öffnung eines Lichtschachtes durchzuwachsen. Das bedeutet, dass eine erfolgreiche Entwicklung dieser Baumart von Kronenlückenbildungen abhängig ist (gap-phase regeneration mode). Diese Kronenlücken entstehen durch das Zusammenstürzen der Bäume, die durch kleinere Störungen (Schnee, Wind usw.) oder durch Vergreisung verursacht werden (VEBLEN, 1982; BURNS, 1991, 1993; FINCKH und PAULSCH, 1995; FINCKH, 1996). Im Gefüge des Naturwaldes hat *A. araucana* dadurch eine herausragende Stellung für die Dauerhaftigkeit der Bestockung.

Eine Konkurrenz für die Verjüngung von *A. araucana* stellt der Bambus dar. Diesbezüglich gibt es zwei extreme Meinungen. BRUN (1969) meint, dass es dieser Baumart aufgrund ihrer großen Schattentoleranz möglich ist, im dichten Bambusunterwuchs aufzuwachsen, womit sie allen anderen konkurrierenden Baumarten deutlich überlegen ist. FINCKH und PAULSCH (1995) und FINCKH (1996) fanden jedoch, dass der *A. araucana* Jungwuchs gegen die Konkurrenz von Bambusarten und sogar gegen dichten *N. dombeyi* und *N. pumilio* Verjüngung, keine Durchsetzungschance hat.

Ein sehr wichtiger Aspekt der Dynamik dieser Wälder ist, dass *A. araucana* auf Grund des hohen Alters, der hohen Einzelbaumstabilität und der Bildung reservestoffreicher Samen, vergleichsweise geringe Stammzahlen zum Überleben benötigt; sie ist als typischer Langzeitstrategie („equilibrium strategist“) anzusehen (VEBLEN, 1982). Im allgemeinen bildet diese Konifere nach Besiedlung eines Areals Waldbestände mit hoher Strukturkonstanz und sehr langen Generationswechsellern von mehreren hundert bis über tausend Jahren. Die konkurrierenden *Nothofagus*-Arten zeichnen sich dagegen durch meist höhere Fertilität, geringeres Lebensalter und niedrige Einzelbaumstabilität als Opportunisten mit großer Aggressivität bei der Besiedlung neuer Areale aus (vgl. BRUN, 1969; SCHMIDT, 1977; SCHLEGEL *et al.*, 1979; VEBLEN, 1982; CAVIERES, 1987; BURNS, 1991, 1993; DONOSO, 1993; HÖVELMANN, 1998).

## 2.16 Die botanischen Charakteristika

### Allgemeines

Die Baumart *A. araucana* ist eine von mehreren Arten der Gattung *Araucaria* JUSS. Nach verschiedenen Autoren schwankt die Anzahl der Arten, die diese Gattung vertreten zwischen 14 und 19 (WHITMORE, 1975; KRÜSSMANN, 1983; GOLTE, 1978, 1993). Heute ist die Gattung

*Araucaria* nur auf der Südhalbkugel beiderseits des Südpazifiks auf dem alten Südkontinent Gondwana zu finden (NEGER und MÜNCH, 1952; DALLIMORE und JACKSON, 1961; EISELT, 1964; WHITMORE, 1975; GOLTE, 1978, 1993; AAGESEN, 1993). Wegen der uralten Existenz und der ursprünglich weltweiten Verbreitung wird die Gattung *Araucaria* als Reliktgattung bezeichnet. Ein Beleg für die seit fast 200 Millionen Jahren fast unveränderte Existenz sind sowohl die in Fossilien gefundenen Zapfenschuppen in der Antarktis (URANIA, 1975, zit. n. WERNER, 1992), als auch die primitiven Merkmale der vegetativen Organe, so z.B. der araucarioide Bau des Sekundärholzes mit bienenwabenartig angeordneten Hoftüpfeln der Tracheiden und die spiralig angeordnete Benadelung der Zweige (STRASBURGER *et al.*, 1991). Die Gattung zeigt aber auch „entwickelte“ Merkmale, z.B. die großen einsamigen Deck-Samenschuppen-Komplexe und eine dicke brandschützende Borke. Dieses letzte Merkmal hat sich bei verschiedenen Nadelhölzern, die sich in einem brandbeeinflussten Lebensraum entwickelten, herausgebildet (GOLTE, 1978, 1993).

Die Gattung *Araucaria*, bildet zusammen mit der Gattung *Agathis* die Familie der *Araucariaceae*. Zusammen mit *Araucaria bidwillii* Hooker, die in Ostaustralien lebt, bilden die beiden südamerikanischen Araukarienarten innerhalb der Familie der *Araucariaceae* die Sektion *Colymbea* Endl., (DALLIMORE und JACKSON, 1961; KRÜSSMANN, 1983; LAMPRECHT, 1986).

### Habitus

Die Baumart *A. araucana*<sup>9</sup> besitzt ein imposantes Erscheinungsbild und hat einen eindrucksvollen und unverwechselbaren Habitus (DONOSO, 1993). Die Bäume dieser Baumart können bis zu 50 m hoch werden und einen Durchmesser von 2,5 m erreichen (NEGER und MÜNCH, 1952; EISELT, 1964; WECK, 1957; KRÜSSMANN, 1983; GOLTE, 1993; DONOSO, 1993). Die *A. araucana* Wälder gehören zu den eindrucksvollsten Zeugen pflanzlicher Lebensentfaltung auf der Erde (WECK, 1957).

### Der Schaft

Der Schaft ist eines der bekanntesten Merkmale. Er ist säulenförmig, äußerst vollholzig und vollkommen gerade. Bei Keimlingen und jungen Pflanzen treten manchmal Krümmungen auf, die sich aber mit zunehmenden Alter auswachsen (KRÜSSMANN, 1983; RODRIGUEZ *et al.*, 1983). Das große wirtschaftliche Interesse an dieser Baumart liegt, zusammen mit ihren Holzeigenschaften, prinzipiell am Aufbau des Schaftes.

### Die Krone

Die Krone ist das andere bekannte Merkmal dieser Baumart. Die schirmartige Form der Krone bei den älteren Bäumen erinnert an einen aufgespannten Regenschirm. Nicht umsonst heißt die Baumart im chilenischen Volksmund auch „Árbol Paraguas“. Bei jungen Bäumen setzt die Krone

---

<sup>9</sup> 1782 wurde diese Baumart von MOLINA als *Pinus araucana* beschrieben und wenig später, im Jahr 1797, wurde sie von PAVON *Araucaria imbricata* PAV. benannt (MONTALDO, 1974). Dieser letzte Name findet sogar noch in jüngerer Literatur häufig Verwendung (NEGER und MÜNCH, 1952; EISELT, 1964; HUECK, 1966). Der heutige, botanisch korrekte Name geht auf den deutschen Botaniker Karl Koch zurück, der ihn 1873 prägte (MONTALDO, 1974). In Deutschland ist diese Baumart unter dem Namen „Schmucktanne“ und in England unter der Bezeichnung „Monkey Puzzle“ bekannt. In Europa wurde *A. araucana* 1791 eingeführt (EISELT, 1964). In Chile wird am häufigsten nur der Name „Araucaria“ verwendet.

am Boden an und erst mit zunehmenden Alter wird sie dann relativ kleiner. Bei alten Bäumen setzt sie erst im letzten Fünftel oder Sechstel des Schaftes an (MONTALDO, 1974; KRÜSSMANN, 1983).

#### *Die Astquirle*

An jedem Quirl stehen 3 bis 7 Seitentriebe. Die meisten wachsen fast horizontal zur Seite. Die Zweige der oberen Quirle wachsen leicht ansteigend, die der unteren etwas hängend. Es werden nicht jedes Jahr Astquirle gebildet (EISELT, 1964; MUTARELLI und ORFILA, 1970; KRÜSSMANN, 1983; WERNER, 1992). Im Naturwald unter Schirm vergehen 4 bis 6 Jahre, ehe ein neuer Quirl gebildet wird. Auf Freiflächen reduziert sich die Dauer auf 1 bis 3 Jahre (SCHMIDT und CAMPOS, 1988). Im Bezug auf die Astreinigung gibt es Unterschiede zwischen den Bäumen, die in dichten Wäldern wachsen und solchen, die sich auf Freiflächen entwickeln. Auf der Freifläche ist der Schaft nach 100 Jahren nur einige Meter astfrei, nach 200 Jahren etwa zur Hälfte der Baumhöhe, und nach 300 Jahren 3/5-4/5. Alte Bäume sind ungefähr zu 5/6 astfrei. In dichteren Wäldern läuft die Astreinigung schneller ab (KRÜSSMANN, 1983; RODRIGUEZ *et al.*, 1983).

#### *Die Nadeln*

Die Nadeln, oder Blätter nach EISELT (1964), sind zugespitzt eiförmig oder eiförmig-lanzettlich, glänzend dunkelgrün, ledrig, dickfleischig, hartlaubig und besitzen eine schuppenartige Gestalt. Sie sind an der Basis stark verbreitert, ganz aufsitzend und haben eine Breite bis zu 2,5 cm. Die Länge beträgt 5-6 cm. Die Nadeln verbleiben bis zu 15 Jahre an der Pflanze und fallen meist mit den abgestorbenen Ästen ab. An jungen Pflanzen wird sogar der Schaft von gleichförmig angeordneten Nadeln spiralig ummantelt. Diese Nadeln sind schwer zersetzbar und können unter alten Bäumen eine bis zu 10 cm dicke Schicht bilden. Da die vertrocknete Nadelstreu ebenso wie die abgefallenen Zweige, hervorragend brennt, fördern sie Bodenfeuer (EISELT, 1964; HUECK, 1966; MUTARELLI, 1966; RODRIGUEZ *et al.*, 1983; KRÜSSMANN, 1983; BURNS, 1991,1993; GOLTE, 1978, 1993).

#### *Die Borke*

Die jungen Bäume besitzen eine sehr unebene und narbige, dunkelgraue Rinde, die mehrere hundert Jahre erhalten bleibt. Im höheren Alter entsteht die sehr auffällige, überaus starke und plattenartige Schildborke (DALLIMORE und JACKSON, 1961; EISELT, 1964; RODRIGUEZ *et al.*, 1983). Diese Borke dient als Schutz gegen Brände und starke Sonnenstrahlung, so dass *A. araucana* besser als die konkurrierenden Baumarten an Störungen durch vulkanische Ereignisse angepasst ist (GOLTE, 1993; BURNS, 1993; FINCKH und PAULSCH, 1995; FINCKH, 1996).

#### *Die Wurzel*

Das Wurzelsystem der *A. araucana* ist ein Herzwurzelsystem mit oberflächennah streichenden Wurzeln und einer zentralen Pfahlwurzel. Die Oberflächenwurzeln können sich bis 20 m im Radius ausbreiten (HUECK, 1966; FINCKH und PAULSCH, 1995; FINCKH, 1996). Das umfangreiche Wurzelsystem kann wesentlich zur Erklärung beitragen, warum *A. araucana* auch ungünstige trockene Standorte besiedeln kann und einzelne Bäume selbst auf Graten, Felsköpfen und an Kanten von Hochflächen vorkommen (NIELSEN, 1963; HUECK, 1966). An diesen

Standorten (Felsen) sind auch häufig Wurzelbrut und Stockausschlag zu beobachten. Insbesondere bei freistehenden männlichen Einzelbäumen kann dieser Mechanismus zu Verjüngungstrupps führen (FINCKH und PAULSCH, 1995; FINCKH, 1996). In Bezug auf die Pfahlwurzeln hat MONTALDO (1974) am Wurzelteller einer geworfenen *A. araucana* eine 2,5 m tief in den Boden dringende Pfahlwurzel gemessen.

#### *Die Zapfen*

*A. araucana* Bäume sind zweihäusig, aber ausnahmsweise (1 %) findet man auch weibliche und männliche Zapfen am selben Baum. Die Bestäubung der weiblichen Blüten erfolgt von Dezember bis Januar (DALLIMORE und JACKSON, 1961; EISELT, 1964; MONTALDO, 1974; MUÑOZ, 1984). Die Reifungszeit der weiblichen Zapfen dauert 2 Jahre. Die weiblichen und Zwitterbäume sind das ganze Jahr über mit Zapfen behängt, denn am selben Baum kann man Zapfen mit einer und mit zwei Reifungsperioden finden (KRÜSSMANN, 1983; MUÑOZ, 1984). Der weibliche Zapfen ist kugelförmig, am Grunde etwas abgeflacht, erreicht eine Länge bis zu 17 cm und steht meistens alleine am Ende der Seitentriebe; im ersten Jahr ist er endständig und im zweiten steht er seitwärts ab. Der unreife weibliche Zapfen ist grün, der reife holzig und braun (EISELT, 1964; MUTARRELI und ORFILA, 1970; MONTALDO, 1974; RODRIGUEZ *et al.*, 1983; KRÜSSMANN, 1983; MUÑOZ, 1984). Die männlichen Zapfen stehen zu 4 bis 5 im Kreis um die Endknospe und sind 8-12 cm lang und 4-6 cm breit (MONTALDO, 1974).

#### *Die Samen*

Die Samen der *A. araucana* Bäume werden im chilenischen Volksmund "Piñones" genannt und sind bis zu 5 gr. schwer. Sie sind rot-braun, länglich keilförmig, besitzen ein langes Anhängsel und sind bis zu 4,5 cm lang (EISELT, 1964; RODRIGUEZ *et al.*, 1983; KRÜSSMANN, 1983; CARO, 1995). Extreme Unterschiede in der jährlichen Samenproduktion sind nicht festzustellen (MUTARELLI und ORFILA, 1970; MONTALDO, 1974). Die durchschnittliche Samenanzahl die ein Zapfen enthalten kann, variiert zwischen 92 und 200 Samen (RODRIGUEZ *et al.*, 1983; KRÜSSMANN, 1983; MUÑOZ, 1984; CARO, 1995). Der durchschnittliche jährliche Samenabfall in einen *A. araucana-N. pumilio* Wald in Lonquimay in den Anden betrug 22.000 Samen/ha (SCHMIDT und CAMPOS, 1988).

## **2.2 Die *Araucaria araucana* Wälder unter dem Einfluss des Menschen**

Der Mensch erschien im Gebiet der *A. araucana* Wälder erst vor 11.000 Jahren. Diese Menschen waren nomadische Jäger und ihre Bevölkerung war sehr gering. Einen Einfluss auf die natürliche Entwicklung des Waldes hatten sie nicht. Dies änderte sich jedoch mit dem Übergang von Nomadentum zur Sesshaftigkeit und mit dem Beginn des Ackerbaus und der Viehzucht vor 5.500 Jahren (vgl. MOONEY, 1977; GASTÓ, 1979; ARMESTO *et al.*, 1994; GOLDAMMER *et al.*, 1996). Seitdem prägt der Mensch die *A. araucana* Wälder.

Drei Epochen lassen sich unterscheiden (vgl. SEIBERT, 1993): die Zeit der Indianer (s. Kap. 2.21), die Zeit der Kolonisation (s. Kap. 2.22) und die Zeit, seit dem Chile ein Staat ist (s. Kap. 2.23). Die gegenwärtige Waldfläche ist Resultat dieser geschichtlichen Ereignisse (s. Kap. 2.24).

## 2.21 Die Zeit der Indianer

Als um 1550 die Spanier nach Südchile vorrückten, trafen sie auf eine Bevölkerung, die zwar nicht die Organisationsstufe und Kulturhöhe der Völker weiter nördlich erreicht hatte, der Unterwerfung aber sehr viel energischer Widerstand entgegensetzte. Der Conquistador Alonso de Ercilla prägte für die dortigen Indianer den Namen „Araucanos“ (Araukaner)<sup>10</sup> (GOLTE, 1973). Die Araukaner lebten seit Jahrhunderten zwischen dem Rio Bío-Bío und dem Seno del Reloncaví. Deshalb wurde diese Region von den Spaniern auch „Araucanía“ genannt (WEISCHET, 1970; GOLTE, 1973; GASTÓ, 1979).

Die Araukaner waren ein landwirtschaftliches Volk. Es wurde Getreideanbau<sup>11</sup> und auch Viehzucht<sup>12</sup> betrieben. Hierfür mußten die Araukaner Land gewinnen, denn das Gebiet war sehr walddreich. Für die Entfernung des Waldes benutzten die Indianer Feuer, das sehr oft große Flächen vernichtete. In den Anden, wo sich die *A. araucana* Wälder befinden, konnten die Araukaner eine landwirtschaftliche Nutzung nur in den fruchtbaren Tälern praktizieren, aber das für die Rodung benutzte Feuer konnte wegen der steilen Hangneigungen ganze Berge abbrennen. Diese Ereignisse waren jedoch nicht so häufig und eine Existenzbedrohung der Wälder war ausgeschlossen (GUSSMANN, 1958; WHILHELM, 1968; WEISCHET, 1970).

Die Indianer, die in den Anden lebten, nutzten als Nahrungsquelle auch die Samen der *A. araucana*<sup>13</sup>. Welche Rolle sie bei der Ernährung dieser Indianer spielte, ist heute noch in der Forschung umstritten. Sicher ist auf jeden Fall, dass die Samen dieser Baumart geerntet, verzehrt und gehandelt wurden (ENRIGHT und HILL, 1995). Das Fällen von *A. araucana* Bäumen war für die Araukaner nicht notwendig, denn für ihre Bedürfnisse reichten die abgestorbenen Bäume völlig aus. Das tote Holz wurde hauptsächlich als Brennholz genutzt (CUNILL, 1970; WEISCHET, 1970; GASTÓ, 1979).

## 2.22 Die Kolonialzeit

Das Hauptziel der spanischen Herrschaft in den eroberten Gebieten war die Gründung fester Siedlungen. So wurden im 16. Jahrhundert zwischen dem Rio Copiapó und dem Seno del Reloncaví insgesamt 13 Städte gegründet, davon 7 im Gebiet „Araucanía“. Das Vordringen der spanischen Reiterei wurde durch die große Offenheit des Landes erleichtert (MEYER RUSCA, 1955, zit. n. GOLTE, 1973). Diese große Offenheit soll aber nicht bedeuten, dass es sich um große offene Flächen gehandelt habe, sondern „vielmehr von kleineren und größeren Lichtungen,

---

<sup>10</sup> Die Baumart *A. araucana* hat Ihren Namen, allerdings Hunderte Jahre später, nach dem Indianerstamm erhalten (SCHUBERT und WAGNER, 1984).

<sup>11</sup> Neben Mais, der auch heute noch in geringerem Umfang angebaut wird, gab es u. a. drei dort inzwischen verschwundene Getreidearten: die noch heute in Peru und Bolivien sehr verbreitete Quinoa (*Chenopodium quinoa*), Madi (*Madi sativa*), welche ölhaltige Samen lieferte, und Mango (*Bromus mango*) (WEISCHET, 1970; GOLTE, 1973).

<sup>12</sup> Als einziges Haustier war den Araukanern vor der Eroberung das von den Chronisten sogenannte „Chilihueque“ bekannt, das als Woll- und Tragtier diente und bei dem es sich mit größter Wahrscheinlichkeit um das Lama handelte (WEISCHET, 1970; GOLTE, 1973).

<sup>13</sup> Die Samen von *A. araucana* werden in der Indianersprache „Pehuén“ genannt und deshalb bekamen die Araukaner die vom Pehuén lebten auch den Namen „Pehuenches“. Die Indianersprache wird noch heute von den wenigen überlebenden Araukanern gesprochen und die Samen der *A. araucana* werden noch heute von den Araukanern und den Chilenen gegessen.

verlassene, brachliegende oder bearbeitete Anbauflächen in ständigen Wechsel mit geschlossenem Wald“ (GUSSMANN, 1958).

Während der Eroberung, nahm die Anzahl der Araukaner drastisch ab und die „Araucanía“ oder Land der Araukaner hat sich auf das Gebiet zwischen den Flüssen Bio-Bio und Toltén eingeeignet.<sup>14</sup> Also wurden die Indianer vom südlichen Teil ihres ursprünglichen Landes verdrängt und sind hauptsächlich in die höheren Lagen der Anden geflohen. Dort fanden sie in den *A. araucana* Wäldern einen sicheren Schutzraum zum leben (WEISCHET, 1970; GOLTE, 1973).

Die Abnahme und Verdrängung der Indianer erlaubte eine Wiederausbreitung des Waldes südlich des Flusses Toltén. Nach GUSSMANN (1958) war die Ursache für das „zunehmende Nachlassen der Einwirkung auf den Wald in erster Linie im zahlenmäßigen Rückgang der indianischen Bevölkerung zu suchen“. Aufgrund seiner Auswertung der Quellen der frühen Kolonialzeit behauptete BERINGER (1929, zit. n. GOLTE, 1973) sogar, dass das offene Land zum Zeitpunkt der Eroberung „eine wesentlich größere Ausdehnung“ gehabt habe, als 1850 zur Zeit der deutschen Kolonisation.

Auch wenn im allgemeinen die Waldfläche zunahm, wurden die Wälder in der unmittelbaren Umgebung der spanischen Siedlungen stark ausgebeutet, oft ganz vernichtet und landwirtschaftlich bearbeitet. Die Jesuiten haben damals eine sehr wichtige Rolle gespielt, denn die landwirtschaftliche Tätigkeit dieses Ordens gilt als erster Schritt zur Agrarkolonisation Chiles<sup>15</sup> (GOLTE, 1973).

Die erste größere Rodung der Wälder begann Ende des 18. Jahrhunderts mit dem Wiederaufbau ehemaliger spanischer Städte, die von den Araukanern zerstört worden waren. Nichts bringt den wirtschaftsgeschichtlichen Wandel von der frühen zu dieser späten Kolonialzeit besser zum Ausdruck, als das für die Siedler ausdrücklich erlassene Verbot, sich mit der Suche nach Edelmetallen und Goldwäscherei zu beschäftigen, während ihnen andererseits Ackerbau zur Auflage gemacht wurde: „Da in dieser Niederlassung Überschuß, Reichtum und Besiedlung von nichts außer von Ackerbau und Viehzucht erwartet werden dürfen.....werden Sie für jetzt und bis auf weiteres die Suche, Erkundung und Ausbeutung von Minen, bzw. Gold-, Silber- und Kupferwäschereien streng verbieten, denn abgesehen davon, dass die Erfahrung zeigt, dass es keine elenderen Länder gibt als jene, in denen Minen betrieben werden, steht ebenso fest, dass aus ihnen die Bevölkerung abwandert..... Bemühen Sie sich, diesen Siedlern klarzumachen, dass sie die wahren Minen und Reichtümer in Ackerbau und Viehzucht suchen sollen“.<sup>16</sup> Ausdrücklich wird in diesem Dokument die Rodung des Urwaldes als wichtigste Voraussetzung für das wirtschaftliche Gedeihen der Siedlung hervorgehoben: „Nichts darf außer acht gelassen werden, um die Leute zu ermuntern, dass sie in diesem Anlauf der endgültigen Siedlung soweit

---

<sup>14</sup> Noch heute wird dieses Gebiet „Araucanía“ genannt und die damalige Verbreitung entspricht der gegenwärtigen IX Region, die offiziell „Región de la Araucanía“ heißt.

<sup>15</sup> Landwirtschaftliche Betätigung von Geistlichen und Missionaren war in den spanischen Kolonien nichts Ungewöhnliches und häufiger Anlaß zur Klage. Von der Gesellschaft Jesu wurde sie bewußt und in großem Stile als integrierender Bestandteil der Mission eingesetzt, einerseits im Sinne einer möglichst umfassenden Umerziehung der Indianer, andererseits mit der Absicht, ihren Missionshäusern, Kirchen, Kollegien und sonstigen Einrichtungen wirtschaftlichen Rückhalt zu geben (GOLTE, 1973).

<sup>16</sup> Aus einer Instruktion Ambrosio O Higgins an den Gobernador von Osorno, 1796. zit. n. SANCHEZ AGUILERA, 1948 (GOLTE, 1973).

wie möglich mit der Waldrodung vorankommen“ (SANCHEZ AGUILERA, 1948, zit. n. GOLTE, 1973).

Am Ende des 18. Jahrhunderts nahmen die Spanier auch die allerersten Holznutzungen in *A. araucana* Wäldern vor. Diese Nutzungen waren allerdings nicht sehr umfangreich, da die Araukaner genau dorthin zurückgedrängt worden waren, wo sich die *A. araucana* Wälder befanden. Die Spanier wußten zwar von der Existenz dieser hervorragend geraden und vollholzigen Bäume und verwendeten das wenige eingeschlagene Holz für den Schiffbau, hauptsächlich Schiffsmasten. Hierfür wurde jedoch in größerem Maße *Fitzroya cupressoides* (Alerce) benutzt, denn diese Baumart befand sich außerhalb des Araukanergebietes und war zugänglicher. Die gute Verwendbarkeit des *A. araucana* Holzes für Möbelherstellung war jedoch auch damals schon bekannt (CUNILL, 1970; GOLTE, 1973).

### 2.23 Die Republikzeit

Nach der Unabhängigkeit Chiles von Spanien musste sich das Land so schnell wie möglich entwickeln. Das Hauptinteresse der chilenischen Regierung galt der Erschließung aller Gebiete, die bis dahin ein mehr oder weniger abgeschlossenes Dasein am Rande der Republik geführt hatten. Dem Raum südlich des Rio Toltén kam dabei besondere Bedeutung zu, nicht nur aufgrund seines Reichtums an Holz und des unerschlossenen Agrarpotentials, sondern auch im Hinblick auf das nördlich anschließende noch unabhängige Araukanergebiet.

Wegen Mangel an Bevölkerung kam man auf den Gedanken, sich bei der Erschließung ausländischer Kolonisten zu bedienen. So begann 1850 die erste Einwanderungsbewegung der deutschen Kolonie in Südchile. Für die Landgewinnung wurde offiziell von der chilenischen Regierung Feuer benutzt. Der chilenische Beauftragte für die deutsche Kolonisation, Vicente Pérez Rosales, führte selber Expeditionen, um Land zu gewinnen. Er selbst ließ 1851 einen riesigen Waldbrand entfachen. Der drei Monate dauernde Brand legte eine Waldfläche von 100.000 Hektar in Asche und öffnete den nordseitigen Zugang zum Llanquihue See, über den schon im März 1852 einige deutsche Familien einwandern konnten (LAUER, 1961; WHILHELM, 1968; WEISCHET, 1970; GOLTE, 1973).

Mit Beginn der deutschen Kolonisation wurde das Gebiet südlich des Flusses Toltén erschlossen. Die Landwirtschaft entwickelte sich weiter und es entstanden Industrien,<sup>17</sup> welche die auf dem Land erzeugten Produkte aufnahmen. Zur gleichen Zeit entstand auch eine erste Holzwirtschaft, die anfänglich nur aus Waldrodungen gespeist wurde, und die sich wegen der Transportschwierigkeiten nur auf die näheren Umgebungen der Hafenstädte Puerto Montt und Valdivia beschränkte. Hauptsächlich wurden die imposanten *F. cupressoides* Wälder ausgebeutet und das wertvolle Holz nach Mittelchile und Peru geliefert. Die *A. araucana* Wälder blieben zu

---

<sup>17</sup> Besonders günstige Voraussetzungen ließen die Lohgerberei in wenigen Jahrzehnten aus handwerklichen Anfängen zum bedeutendsten Industriezweig der Einwanderer werden. Rinder- und Schafzucht lieferten die Felle, die zusätzlich auch aus dem übrigen Chile bezogen werden mußten. In Gestalt der „casaca de Lingue“, der Rinde von *Persea lingue* (Lingue), boten die südchilenischen Urwälder ein ausgezeichnetes Rohmaterial, das etwa 30% Gerbstoff enthält. In geringerem Maße wurde auch die Rinde von *Eucryphia cordifolia* (Ulmo) für die Gerbung verwendet. Die Gewinnung der Borken, „cascareos“, war mit der Vernichtung der Bäume verbunden. Diese wurden gefällt, entrindet und liegen gelassen. Am Ende des 19. Jahrhunderts kam *P. lingue* stets nur als einzelner Baum, nicht aber in geschlossenen Beständen, vor (GOLTE, 1973).

diesem Zeitpunkt praktisch unberührt, denn das Land nördlich des Flusses Toltén, die Araucanía, war noch unabhängig von der Republik (vgl. LAUER, 1961; WEISCHET, 1970; GOLTE, 1973).

Anfang der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entschloss sich die chilenische Regierung, die noch unabhängige „Araucanía“ endgültig zu erobern. Die Strategie war, Land zu gewinnen und dann sofort Forts, die später Städte wurden, zu gründen<sup>18</sup>. Diese letzte Eroberung dauerte ungefähr 20 Jahre, bis dann in den Jahren 1882-1883 das chilenische Militär die letzten Araukaner besiegte. Nach ihrer Niederlage wurden die Indianer ab 1883 in eng begrenzten „Reducciones“ angesiedelt und das Land mit den *A.araucana* Wäldern nach Maßgabe der Kolonisierungsgesetze allmählich an wenige Kolonisten verteilt. So entstanden riesige „Fundos“ (=Grundstücke),<sup>19</sup> auf denen einige Jahrzehnte später die Ausbeutung und Rodung der bis dahin noch unberührten Urwälder begann (CUNILL, 1970; EISENHAUER, 1981).

Nach der Eroberung der „Araucanía“ begann man in den Jahren 1886/87 mit der Planung einer Süd-Nord Eisenbahnverbindung. Nach Inbetriebnahme mehrerer kürzerer Strecken wurde dann 1912 die 1.250 km lange Eisenbahnlinie Santiago-Puerto-Montt eröffnet. Hatte in den 50 Jahren vor dem Bahnbau das Schwergewicht der wirtschaftlichen Entwicklung auf Gewerbe und Industrie gelegen, so verlagerte sich dieses nun eindeutig auf die Land- und Holzwirtschaft. Im Unterschied zur vorherigen Rodungsphase musste sich die Holzausbeutung nicht mehr nur auf die Umgebung der Hafenstädte und auf das *F.cupressoides* Holz beschränken, sondern konnte sich auf die ganzen Wälder in der Nähe der Eisenbahn ausweiten.<sup>20</sup> Außerdem begann eine schnelle Entwicklung einzelner Gebiete, was den Ausbau der Verkehrswege und vielen Nebenstrecken der Eisenbahn erforderte. So wurde auch das Andengebiet der Araucanía erschlossen,<sup>21</sup> was somit letztendlich die Möglichkeit schuf, die wertvollen *A.araucana* Wälder auszubeuten.

---

<sup>18</sup> Die Stadt Lonquimay, wurde 1883 als militärisches Fort gegründet. Diese Stadt ist die nächste Ortschaft von den Versuchsflächen. Sie sind 37 km nördlich Lonquimay entfernt (s. Abb. 2 im Kap. 3.11).

<sup>19</sup> Heutzutage befinden sich die *A.araucana* Wälder hauptsächlich unter zwei Besitztypen: sehr große Grundstücke, die meistens den ursprünglichen Kolonistenfamilien gehören oder an private Firmen verkauft wurden, und sehr kleine Grundstücke, die den araukanerstämmigen Familien gehören.

<sup>20</sup> Die Hölzer in der Nähe der Eisenbahn, vornehmlich *Nothofagus obliqua* (Roble), *Laurelia sempervirens* (Laurel) und *Persea lingue* (Lingue), dienten von jeher dem Eigenverbrauch der dortigen Bevölkerung. An der Spitze der produzierten Hölzer stand bis Anfang der 50er Jahre *N.obliqua*. Wegen seiner vorzüglichen mechanischen Eigenschaften und seiner Dauerhaftigkeit wurde es in erster Linie für Bahnschwellen verwendet. 90% aller Bahnschwellen (1950 wurden 900.000 Stück, entsprechend 83.000 m<sup>3</sup>, produziert) bestanden aus diesem Holz. *N.obliqua* bildete auch den wichtigsten Baustoff für Häuser. Dazu kam beim Hausbau die Verwendung von *F.cupressoides*-Schindeln, die praktisch nicht faulen, auf den Dächern. Dort wo *F.cupressoides* leichter zu bekommen war, findet man auch die Wände damit verschlagen. Dies ist z.B. in Puerto Varas oder Puerto Montt überwiegend der Fall. *N.obliqua* wird außer für den Hausbau vor allem für Zaunpfähle und Fuhrwerke gebraucht. *L.sempervirens* fand besonders beim Innenhaus der Häuser Verwendung, ebenso wie *P.lingue*, das zugleich ein begehrtes Möbelholz ist. Andere Hölzer waren für Spezialzwecke besonders geeignet. So war *Saxegothea conspicua* (Mañío) der wichtigste Grundstoff der Küfereien, die Butter-, Honig- und Chichafässer herstellten und zum größten Teil in den 30er und 40er Jahren ihren Betrieb einstellten. Für Radspeichen, Naben, Ochsenjoch u.a. wurde das sehr harte Holz von Luma (*Amomyrtus luma*) am meisten geschätzt (GOLTE, 1973).

<sup>21</sup> z.B. der „Tunel de las Raíces“ der Lonquimay, Zentrum der *A.araucana* Verbreitung, mit Curacautin und Victoria verbindet, wurde in den 30er Jahren gebaut.

Diese Epoche nach dem Bahnbau wird als die jüngere, die „große Waldrodungsphase“ bezeichnet, denn es wurde Wald zu landwirtschaftlichen Zwecken durch Feuer gerodet und Wald durch Holzeinschlag ausgebeutet. Der Höhepunkt dieser Phase war um 1940<sup>22</sup>.

Ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts haben sich die Waldverluste durch Landgewinnung für die Landwirtschaft in der „Araucanía“ zwar stabilisiert, jedoch wurde die Holzwirtschaft der *A. araucana* durch die bessere Erschließung intensiviert. Die übliche Form des zunehmenden industriellen Holzeinschlags war der „Floreo“, d.h. eine selektive Ausbeutung der wertvollsten Stämme. Durch diese Art der Nutzung wurde die Waldfläche zwar nicht mehr drastisch reduziert, die verbliebenen Wälder waren jedoch durch Bäume mit sehr schlechten Stammqualitäten und Überalterung gekennzeichnet, womit der forstwirtschaftliche Wert dieser Wälder auch drastisch reduziert wurde.

Wegen der irrationalen Nutzung der *A. araucana* Wälder steht diese Baumart seit 1976 (mit Ausnahme von 1987 bis 1990) gesetzlich durch ein absolutes Holzeinschlagsverbot unter Schutz (s. Kap. 1).

## 2.24 Die gegenwärtige Waldfläche

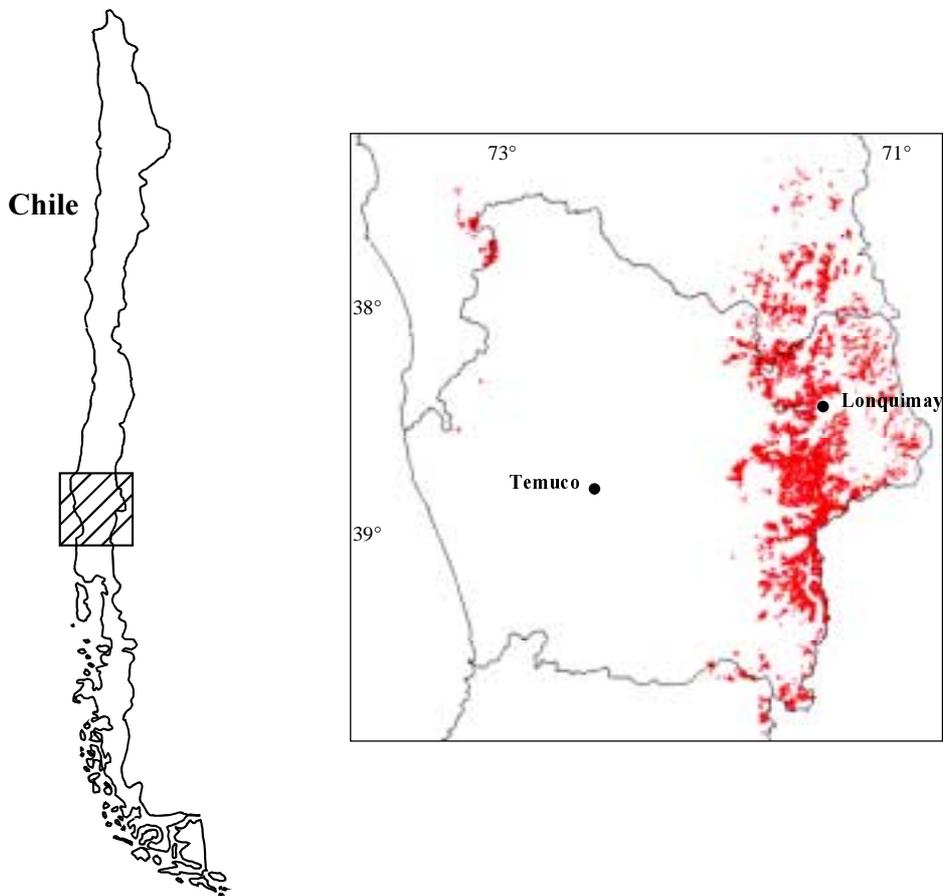
### Gesamtfläche

Nach der großen Waldrodungsphase wurde versucht, die übrig gebliebenen Waldflächen zu erfassen. Die von *A. araucana* eingenommene Gesamtgrundfläche war jedoch bis 1997 nicht eindeutig geklärt. HAIG *et al.* (1946) bezifferten die Gesamtfläche auf 60.300 Hektar. 1967 wurden die Angaben zur Fläche nach der Erhebung der „Clasificación Preliminar del Bosque Nativo“ vom Instituto Forestal auf 145.440 Hektar erhöht. Die von BASCUR *et al.* (1987) durchgeführte Erhebung erbrachte eine Gesamtfläche von 315.766 Hektar, wovon sich 15.449 Hektar in der Küstenkordillere und 300.317 Hektar in der Andenkordillere befanden. Die Unsicherheiten der Flächenangaben war ein für Chile durchaus typischer Sachverhalt, der auch für andere Waldgesellschaftstypen galt. Deshalb hat die chilenische Regierung ein Nationalprojekt finanziert, das von CONAF und CONAMA, der Forst- und der Umweltbehörde, geleitet und von verschiedenen Universitäten, hauptsächlich der Universidad Austral, durchgeführt wurde. Die 1997 veröffentlichten Resultate des Projekts „Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile“ über das Verbreitungsgebiet des Forsttyps *A. araucana* sind in Abbildung 1 dargestellt. Bei diesem Projekt wurden die wichtigsten sechs Baumarten nach Dominanz für jede Waldeinheit bestimmt. Für die Ausweisung als *A. araucana* Wald war es im Rahmen der Inventur erforderlich, dass die Baumart in einer der ersten drei Dominanzklassen vorhanden war. Das bedeutet, dass auch solche Wälder als *A. araucana* Wald bezeichnet wurden, in denen *A. araucana* nur die dritt wichtigste Baumart hinsichtlich der Dominanz war.

---

<sup>22</sup> Die 1946 von der nordamerikanischen Forstmission Haig veröffentlichte Karte der geschlossenen Waldverbreitung zeigte, was den grundsätzlichen Verlauf der Grenzen des offenen Landes angeht, kaum Differenzen gegenüber derjenigen, die aufgrund der 1961 für das „Proyecto Aerofotogramétrico“ gemachten Aufnahmen zustande gekommen war.

Danach entspricht das Verbreitungsgebiet einer Gesamtfläche von 253.714 Hektar (CONAF-CONAMA, 1997).



**Abb. 1:** Verbreitungsgebiet der *A. araucana* Wälder in Chile, nach dem Projekt „Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile“ (CONAF-CONAMA, 1997)

Interessant ist, dass die Inventur vom Projekt „Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile“ auch ein kleines Verbreitungsgebiet in der Küstenkordillere bei 38°50' südl.Br. erfasst hat, das bei allen vorherigen Erhebungen nicht berücksichtigt worden war.

An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei der Gesamtfläche von 253.714 Hektar, die heute als offizielle Baumartenfläche angesehen wird, keinesfalls nur um unberührten Naturwald handelt. Zwar liegen bisher keine detaillierten Untersuchungen zum Zustand der *A. araucana* Wälder Chiles vor, jedoch ist es allgemein bekannt, dass ein großer Teil der Naturwaldflächen in Chile stark degradiert ist.

#### Die Flächen der Waldgesellschaften

Zur Herleitung der Flächenanteile der verschiedenen Waldgesellschaften wurden die Daten des Nationalprojekts „Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile“ ausgewertet.

Aus der offiziellen Gesamtfläche des *A.araucana* Waldes von 253.714 Hektar, nimmt *A.araucana* auf 42.434 Hektar (16 % der Gesamtfläche) die dominierende Stellung ein, auf 144.268 Hektar (57 % der Gesamtfläche) ist sie die zweite dominierende Baumart und auf 67.022 Hektar (26 % der Gesamtfläche) ist sie die dritt wichtigste Baumart. In Tabelle 1 sind die verschiedenen Baumartenkombinationen, die in den *A.araucana* Wälder vorhanden sind, zusammengestellt. Wie schon erwähnt wurde, werden dabei nur die drei dominierenden Baumarten berücksichtigt.

Waldgesellschaft	Fläche (ha)	Anteil (%)
<i>A.araucana</i>	2.846	1,1
<i>A.araucana-N.obliqua</i>	1.060	0,4
<i>A.araucana-N.obliqua-N.alpina</i>	8	0,0
<i>A.araucana-N.obliqua-N.dombeyi</i>	3.442	1,4
<i>A.araucana-N.obliqua-N.antartica</i>	2.151	0,9
<i>A.araucana-N.obliqua-N.pumilio</i>	4.561	1,8
<i>A.araucana-N.alpina</i>	19	0,01
<i>A.araucana-N.alpina-N.dombeyi</i>	1.323	0,5
<i>A.araucana-N.alpina-N.antartica</i>	171	0,1
<i>A.araucana-N.dombeyi</i>	11.567	4,6
<i>A.araucana-N.dombeyi-N.antartica</i>	3.705	1,5
<i>A.araucana-N.dombeyi-N.pumilio</i>	96.761	38,1
<i>A.araucana-N.antartica</i>	27.439	10,8
<i>A.araucana-N.antartica-N.pumilio</i>	15.604	6,2
<i>A.araucana-N.pumilio</i>	82.182	32,4
<i>A.araucana-A.chilensis</i>	56	0,02
<i>A.araucana-A.chilensis-N.dombeyi</i>	107	0,04
<i>A.araucana-A.chilensis-N.pumilio</i>	26	0,01
<i>A.araucana-N.dombeyi-Andere</i>	686	0,37
Gesamtfläche	253.714	100,0

Tab. 1: Fläche und Flächenanteil der verschiedenen *A.araucana* Waldgesellschaften (hergeleitet nach Daten aus CONAF-CONAMA, 1997)

Aus den in Tabelle 1 zusammengestellten Daten ergibt sich, dass in 98,9 % (250.812 Hektar) dieser Waldfläche, *A.araucana* von mindestens einer *Nothofagus*-Art begleitet wird. Nur auf 1,1 % der Fläche (2.846 Hektar) stocken reine *A.araucana* Bestände. Auf etwa der Hälfte der gesamten *A.araucana* Waldfläche ist die Konifere entweder mit *N.pumilio* oder *N.antartica* oder beiden vergesellschaftet; das sind die Waldgesellschaften die OBERDORFER (1960) der Klasse *Nothofagetea pumilonis-antarcticae* zurechnet. Der häufigste Waldgesellschaftstyp enthält die Baumarten *A.araucana*, *N.dombeyi* und *N.pumilio*. Auf 96.761 Hektar, das sind 38 % der Gesamtfläche ist diese Mischung anzutreffen.

Betrachtet man die Flächen, auf denen die verschiedenen Begleitbaumarten von *A.araucana* als Beimischung vorkommen, so ergeben sich die in Tabelle 2 dargestellten Zahlen.

Begleitbaumart	Fläche (ha)	Anteil (%)
<i>N.pumilio</i>	199.134	78,5
<i>N.dombeyi</i>	117.592	46,4
<i>N.antartica</i>	49.069	19,3
<i>N.obliqua</i>	11.223	4,4
<i>N.alpina</i>	1.521	0,6
<i>A.chilensis</i>	189	0,1

Tab. 2: Flächen in denen die verschiedenen Begleitbaumarten von *A.araucana* als Beimischung in den in den *A.araucana* Wäldern vorkommen. Der Prozentanteil entspricht dieser Fläche im Bezug zu der Gesamtfläche der *A.araucana* Wälder

*N.pumilio* und *N.dombeyi* sind die Baumarten, die *A.araucana* am häufigsten begleiten. Sie kommen in 78,5 bzw. 46,4 % der *A.araucana* Waldfläche vor. Die geringen Beimischungen von *N.obliqua* und *N.alpina* in den *A.araucana* Wäldern lassen sich durch die unterschiedlichen Verbreitungsgebiete von *A.araucana* und diesen Laubbaumarten erklären (s. Kap. 2.31). *N.obliqua* und *N.alpina* kommen v.a. in den niedrigeren Höhenlagen vor und sind dort konkurrenzfähiger als *A.araucana*. Nur in den Übergangsbereichen von den niederen zu den höheren Höhenlagen gibt es vereinzelt Bestände wo *A.araucana* mit *N.obliqua* und/oder *N.alpina* zusammen anzutreffen sind.

### 3 Material und Methoden

Die in chilenischen *A.araucana* Wäldern größte und wichtigste Versuchsanlage wurde in den Jahren 1981-1982 in der Nähe von Lonquimay angelegt. Die 21 Versuchsflächen dieser einzigartigen Versuchsanlage wurden im Rahmen des Projektes „Estudio de la Regeneración del Tipo Forestal *Araucaria araucana*“ (CONAF/PNUD/FAO-CHI/76/003) unter der Leitung von Prof. Dr. H. Schmidt mit dem Ziel angelegt, langfristige Untersuchungen der Samenproduktion und des Verjüngungsanwuchses von *A.araucana* zu realisieren (SCHMIDT *et al.*, 1982). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen die Reaktionen der Baum- und Verjüngungsschicht auf die in den Jahren 1981-1982 durchgeführten waldbauliche Behandlungen analysiert werden. Hierzu wurden in den Jahren 1998-1999 neun Versuchsflächen dieser Anlage erneut aufgenommen (s. Kap. 3.2).

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Merkmale der Versuchsflächen und das methodische Vorgehen bei der Untersuchung beschrieben:

- Im Kapitel 3.1 wird zunächst das Untersuchungsgebiet in dem die Versuchsflächen angelegt wurden beschrieben.
- Danach werden im Kapitel 3.2 das Versuchskonzept von 1981-1982 und die 1998-1999 ausgewählten Versuchsflächen beschrieben.
- Im Kapitel 3.3 wird die Vorgehensweise bei der Datenaufnahme erklärt.
- Der letzte Abschnitt dieses Kapitels (s. Kap. 3.4) befasst sich mit den verwendeten Methoden bei der Datenanalyse.

#### 3.1 Untersuchungsgebiet

##### 3.11 Lage

Die Versuchsflächen liegen im „Fundo María Jesús“, auf einem privaten Grundstück, das sich etwa 37 km nördlich der Ortschaft Lonquimay im westlichen Teil des Tales „Alto Bío-Bío“ befindet (s. Abb. 2). Das Gebiet um Lonquimay befindet sich nach klimatischen und ökologischen Verhältnissen in einer Übergangszone. Es liegt zwischen den höheren Lagen der Anden auf der Westseite und der Steppe auf der Ostseite. Dieses Gebiet wird von zwei Gebirgsketten durchzogen, zwischen denen das bekannte Tal „Alto del Bío-Bío“, mit dem Fluss „Bío-Bío“ liegt. Der westliche Gebirgsgürtel wird von den Vulkanen Tolhuaca, Lonquimay und Llaima und der Sierra Nevada gebildet und erreicht eine maximale Höhe von 3.000 m ü.NN. Die östliche Gebirgskette bildet die Grenze mit Argentinien und ist wesentlich niedriger. Hier sind die Anden höchstens 2.000 m ü NN.

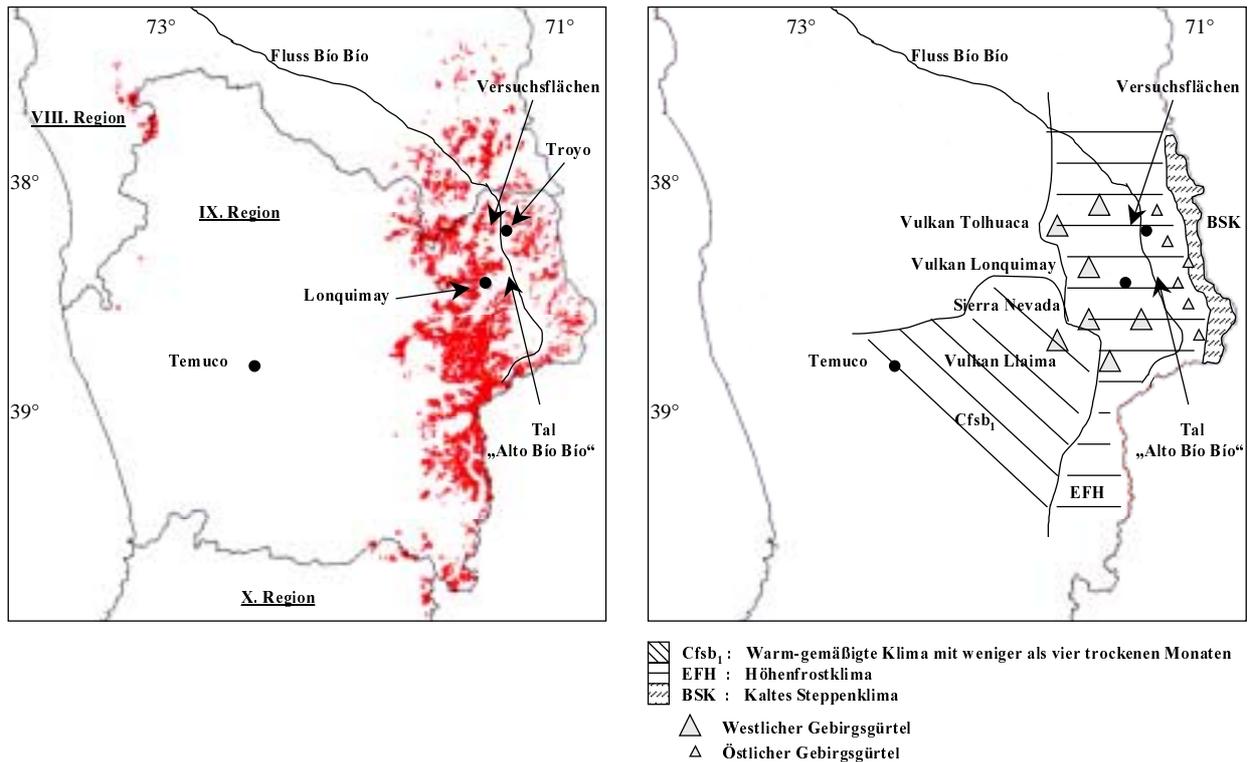


Abb. 2: Lage der Versuchsflächen und Klimatypen im chilenischen Verbreitungsareal von *A. araucana*

### 3.12 Klima

Die besonderen topographischen Merkmale der Umgebung Lonquimays prägen die Niederschläge und Temperaturen dieser Zone. Im Tal zwischen den beiden Gebirgsketten sind die Niederschläge am niedrigsten und steigen nach Westen und Osten mit zunehmender Höhe an. Die Temperaturen sind im Tal im Sommer höher und im Winter tiefer als in den beiden Gebirgen (PERALTA, 1980).

Aus den vorgenannten Aspekten ergeben sich nach FUENZALIDA (1965) für diese Zone drei verschiedene Klimatypen (s. Abb. 2):

- das warm-gemäßigte Klima mit weniger als vier trockenen Monaten (Cfsb<sub>1</sub>)
- das Höhenfrostklima (EFH)
- das kalte Steppenklima (BSK)

Das Gebiet in dem die Versuchsflächen angelegt wurden, ist wie die Ortschaften von Lonquimay und Troyo der Zone des Höhenfrostklimas (EFH) zuzuordnen.

Die Klimadaten für das Untersuchungsgebiet lassen sich anhand der Messungen der meteorologischen Station von Troyo (s. Tab. 3) und der Messungen an einer Sommerstation, die in Los Chenques angelegt wurde (s. Tab. 4), beschreiben. Die Station von Troyo befindet sich an der Quelle des Flusses Bío-Bío, auf ca. 850 m. ü. NN, und ca. 5 km von den Versuchsflächen entfernt (s. Abb. 2). In Tabelle 3 werden die Niederschlags-, Temperatur- und relativen

Feuchtigkeitsmessungen dieser meteorologischen Station wiedergegeben (SCHMIDT, 1984, z. n. DONOSO, 1990).

Monate	Niederschlag (mm)	Temperatur (°C)	Relative Feuchtigkeit (%)
Januar	58,3	15,2	63
Februar	57,2	14,5	66
März	40,9	12,2	69
April	103,8	8,7	72
Mai	401,5	5,9	78
Juni	405,2	2,8	80
Juli	423,3	2,2	80
August	229,0	3,1	76
September	163,4	5,9	72
Oktober	136,7	8,4	70
November	91,7	11,4	69
Dezember	69,8	14,4	65
Jährlicher Durchschnitt	2.180,6	8,7	72

**Tab. 3:** Durchschnittswerte der monatlichen Messungen für Temperatur, Niederschlag und relative Feuchtigkeit des Gebietes in den die Versuchsflächen angelegt wurden, gemessen an der meteorologischen Station von Troyo. Diese Messungen entsprechen dem Durchschnitt des Zeitraumes 1968-1984 (SCHMIDT, 1984, z. n. DONOSO, 1990)

Aus den Daten der Tabelle 3 ergeben sich starke Temperatur- und Niederschlagsunterschiede zwischen Sommer und Winter. Im Durchschnitt schwankt die Temperatur zwischen 15,2°C im Januar und 2,2°C im Juli. Als höchste absolute Temperatur wurden 32,5°C und als niedrigste -8,3°C gemessen (vgl. MUÑOZ, 1984).

PERALTA (1980) bezeichnet starke Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht sowie Sommer und Winter als typisches Merkmal dieser Zone. Es gibt keinen Monat, in dem keine Temperaturen unter 0°C auftreten und die maximalen Januartemperaturen liegen immer über 30°C.

Mit 423 mm liegt der Niederschlag in Juli, dem regenreichsten Monat, zehn Mal höher als im regenärmsten (März) mit 41 mm. In allen Monaten ist die relative Luftfeuchtigkeit mit 63 % ziemlich hoch, ohne ausgeprägten Unterschied zwischen Sommer und Winter.

Die erwähnte Sommerstation wurde im Waldort Los Chenques angelegt, das auf 1.534 m. ü. NN liegt (s. Kap. 4.11). Die wichtigsten an dieser Station erhobenen Daten sind in der Tabelle 4 dargestellt (SCHMIDT, 1984, z. n. WERNER, 1992).

Der Vergleich der Messungen der Sommerstation mit den Werten der meteorologischen Station von Troyo ergibt für den jährlichen Niederschlag identische Werte (2.181 mm) Die jährliche Durchschnittstemperatur ist mit 6,4°C in Los Chenques um 2,3°C niedriger als in Troyo, was durch die Höhendifferenz zu erklären ist (vgl. PERALTA, 1980).

Jährliche Niederschlagssumme	2.181 mm
Sommerniederschlag (Dez. bis Feb.)	185 mm
Jahresmitteltemperatur	6,4 °C
Kältester Monat Juli	- 0,1 °C
Wärmster Monat Januar	12,9 °C

Tab. 4: Klimadaten der Sommerstation in Los Chenques

### 3.13 Böden

Die Böden des Gebietes in der Nähe von Lonquimay, also auch diejenigen der Versuchsflächen, haben eine sehr junge Entwicklung und sind durch eine Überdeckung mit Vulkanasche charakterisiert, die nur an wenigen Stellen das ursprüngliche Ausgangsgestein, hauptsächlich Granodiorit und Vulkanit, auftreten lässt. Das Überdeckungsmaterial besteht aus verschiedenen vulkanischen Lockermassen, die in den oberen Schichten ein körniges und krümeliges Gefüge haben. In den unteren Schichten ist noch kein Gefügetyp erkennbar.

Die Böden sind größtenteils tiefgründig, kaum plastisch, haben eine sehr gute Durchwurzelbarkeit, sind aber wegen der groben Körnung sehr wasserdurchlässig. Die Wasserspeicherfähigkeit ist im allgemeinen mangelhaft und verschlechtert sich sehr schnell mit anhaltender Trockenheit. In den Bergzonen mit steilem Relief findet normalerweise ein oberflächiger Abfluss statt. Der Humuszustand ist, trotz der jungen Böden, in unberührten Wäldern relativ gut. Nach PERALTA (1980) gehören die Böden des Gebietes, in dem die Versuchsflächen liegen, zum Bodentyp Lolén-Litosol.

### 3.2 Die Versuchsanlage

In diesem Kapitel werden das Konzept des Versuches und die Anlage der Behandlungen erklärt sowie die Versuchsflächen charakterisiert. Wie schon erwähnt wurde, wurden für die vorliegende Arbeit Versuchsflächen des Projekts „Estudio de la Regeneración del Tipo Forestal *Araucaria araucana*“ genutzt.

#### 3.21 Versuchskonzept

Das Grundstück „María Jesús“ umfasst insgesamt 2.074 Hektar *A. araucana-N. pumilio* Wald. Für die Anlage der waldbaulichen Behandlungen wurde mit Hilfe von Luftaufnahmen ein Waldgebiet ausgeschieden, von dem anzunehmen war, dass bislang, keine oder kaum eine menschliche Einflussnahme stattgefunden hat. Tatsächlich gelang es auf diese Art und Weise nahezu unberührte Waldflächen („Urwald“) ausfindig zu machen. Lediglich in einigen Bestände fanden sich geringe Nutzungsspuren aus dem Jahr 1976. In den Jahren 1981-1982 wurden die waldbaulichen Maßnahmen mit unterschiedlich starken Eingriffen in die Bestände nach dem Versuchskonzept von SCHMIDT *et al.*, (1982) vorgenommen. Als Maß für die Stärke der Eingriffe diente die Grundfläche. Jede Behandlungsvariante wurde auf einer Fläche von 100 m \* 100 m (1 Hektar) durchgeführt und zwischen den einzelnen Versuchsflächen wurde ein

Mindestabstand von 20 m eingehalten. Ziel der Eingriffe war es, zwei unterschiedliche Grundflächenhaltungen herzustellen. Auf drei der Flächen sollte die Grundfläche auf 30 m<sup>2</sup>/ha abgesenkt werden, bei drei anderen auf 60 m<sup>2</sup>/ha, wobei zusätzlich das Verhältnis der Grundfläche der einzelnen Baumarten, *A.araucana* und *N.pumilio*, innerhalb der Versuchsflächen manipuliert werden sollte. Auf weiteren Flächen wurde kein Eingriff durchgeführt, da die als Kontrollflächen für die ungestörte Weiterentwicklung dienen sollten (SCHMIDT *et al.*, 1982) (s. Tab. 5).

Behandlung N°	Angestrebte Grundfläche (m <sup>2</sup> /ha) nach den Eingriffen		
	<i>A.araucana</i>	<i>N.pumilio</i>	Gesamt
1	10	20	30
2	15	15	30
3	20	10	30
4	30	30	60
5	40	20	60
6	50	10	60
7	Kontrolle		

Tab. 5: Versuchskonzept des Projekts „Estudio de la Regeneración del Tipo Forestal *Araucaria araucana*“ (nach SCHMIDT *et al.*, 1982)

Die in der Tabelle 5 dargestellten Behandlungen wurden drei mal wiederholt, um drei Blöcke zu bilden<sup>23</sup>, so dass 1981-1982 insgesamt 21 Versuchsflächen geschaffen wurden (SCHMIDT *et al.*, 1982).

Die angestrebten Grundflächenverhältnisse des ursprünglichen Konzeptes konnten jedoch auf keiner Versuchsfläche präzise eingestellt werden<sup>24</sup>, so dass zwischen den Werten der tatsächlich erzielten und den geplanten Grundflächen auf den einzelnen Flächen Unterschiede auftreten (vgl. Tab. 5 mit Tab. 6) (SCHMIDT *et al.*, 1982). Auf Grund dieser Unterschiede werden in der vorliegenden Arbeit, die 30 m<sup>2</sup>/ha Behandlungen als „**geringe Grundflächenhaltung**“ und die 60 m<sup>2</sup>/ha Behandlungen als „**mittlere Grundflächenhaltung**“ bezeichnet. Als **Kontrolle** blieben die unberührten Urwaldflächen.

### 3.22 Versuchsflächen

Für die Realisierung der vorliegenden Arbeit wurde eine intensive Datenaufnahme für jede Versuchsfläche geplant. Deshalb wurden auf Empfehlung von Prof. Dr. H. Schmidt, unter Berücksichtigung der logistischen und zeitlichen Möglichkeiten, aus den 21 Versuchsflächen

<sup>23</sup> Die Blöcke werden in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt, da kein Blockfaktor ausfindig gemacht werden konnte.

<sup>24</sup> Die Gründe für die Unterschiede zwischen der geplanten und erzielten Grundfläche liegen vor allem in der Fällung von nicht dafür vorgesehenen Bäumen, die während der Arbeiten beschädigt wurden. Bei der Auswahl der zu hauenden Bäume mussten auch die Belange des Eigentümers nach verwertbaren Stämmen berücksichtigt werden (SCHMIDT *et al.*, 1982).

neun für die eigenen Aufnahmen ausgewählt.<sup>25</sup> Dabei handelt es sich um drei Flächen mit geringer Grundflächenhaltung, drei mit mittlerer Grundflächenhaltung und drei Kontrollflächen ohne Eingriff.

Grundfläche

Die Grundflächen vor und nach der Anlage der Behandlungen sind für die neun Versuchsflächen in Tabelle 6 wiedergegeben<sup>26</sup> (die zugehörigen Stammzahlen sind im Anhang 1 zu finden). Die in Tabelle 6 benutzten Bezeichnungen für die Versuchsflächen werden in der ganzen Arbeit beibehalten.

Behandlung	Versuchsfläche	Grundfläche (m <sup>2</sup> /ha)					
		Vor der Behandlung			Nach der Behandlung		
		<i>A.araucana</i>	<i>N.pumilio</i>	Gesamt	<i>A.araucana</i>	<i>N.pumilio</i>	Gesamt
Kontrolle	K-I	55,7	26,8	82,5	55,7	26,8	82,5
	K-II	59,3	26,7	86,0	59,3	26,7	86,0
	K-III	25,4	41,4	66,8	25,4	41,4	66,8
Mittlere Grundflächenhaltung	M-I	59,0	27,9	86,9	45,5	12,9	58,4
	M-II	89,4	10,3	99,7	44,6	9,6	54,1
	M-III	64,3	6,5	70,8	41,5	6,5	48,0
Geringe Grundflächenhaltung	G-I	68,4	11,4	79,9	29,0	9,2	38,2
	G-II	62,7	17,1	79,8	18,4	17,1	35,5
	G-III	68,5	9,9	78,4	28,2	9,9	38,1

K = Kontrolle; M = Mittlere Grundflächenhaltung; G = Geringe Grundflächenhaltung

Tab. 6: Grundfläche der Versuchsflächen vor und nach der Anlage der Behandlungen (n. SCHMIDT et al., 1982, verändert<sup>27</sup>)

Aus Tabelle 6 ist ersichtlich, dass *A.araucana* nach der Grundfläche in acht Versuchsflächen die dominierende Baumart ist. Nur auf der Kontrollfläche K-III ist die Grundfläche von *N.pumilio* höher als die von *A.araucana*. Diese Kontrollfläche fällt nicht nur durch ihren geringen Anteil von *A.araucana*, sondern auch durch ihre gegenüber den anderen Kontrollflächen niedrigere Grundflächenhaltung auf. Die Versuchsfläche M-III weist nach dem Eingriff eine etwas niedrigere Grundflächenhaltung auf als die beiden anderen Versuchsflächen mit mittlerer Grundflächenhaltung. Diese Unterschiede innerhalb einer Behandlungsvariante sollten bei der Auswertung berücksichtigt werden (s. Kap. 3.442). Auf den sechs Versuchsflächen mit Eingriffen, wurden Bäume aller BHD-Klassen entnommen. Wie aus Abbildung 3 zu sehen ist, wurden die Eingriffe vorwiegend in den höheren BHD-Klassen vorgenommen.

<sup>25</sup> Nach Auskunft von Prof. Dr. H. Schmidt sind die ausgewählten Versuchsflächen diejenigen, die in den Jahren 1981-1982 mit der höchsten Genauigkeit angelegt wurden und somit auch die zuverlässigsten Daten liefern. Außerdem besitzen diese Flächen eine gute Zugänglichkeit und sind nur schwach geneigt. Prof. Dr. H. Schmidt war der Leiter des Projekts „Estudio de la Regeneración del Tipo Forestal *Araucaria araucana*“.

<sup>26</sup> Bei der Anlage der Behandlungen in 1981-1982 wurden nur Stämme über 10 cm BHD berücksichtigt.

<sup>27</sup> Die Daten der Tabelle wurden nach einer Überprüfung der Originalaufnahmebelege neu berechnet und weichen von SCHMIDT's (1982) Daten etwas ab, da in den Originalformularen einige *A.araucana* Bäume mit *N.pumilio* Individuen verwechselt wurden.

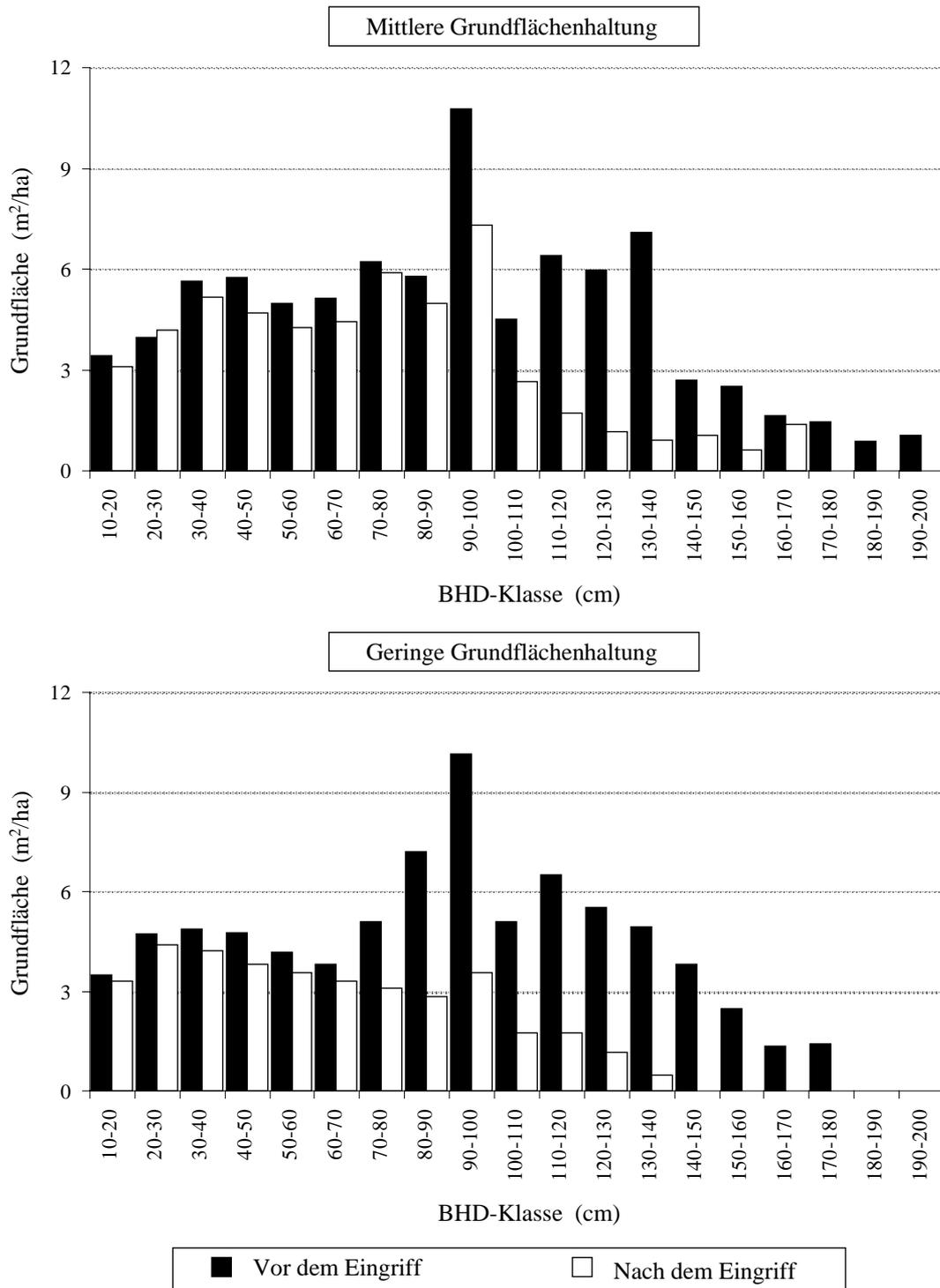
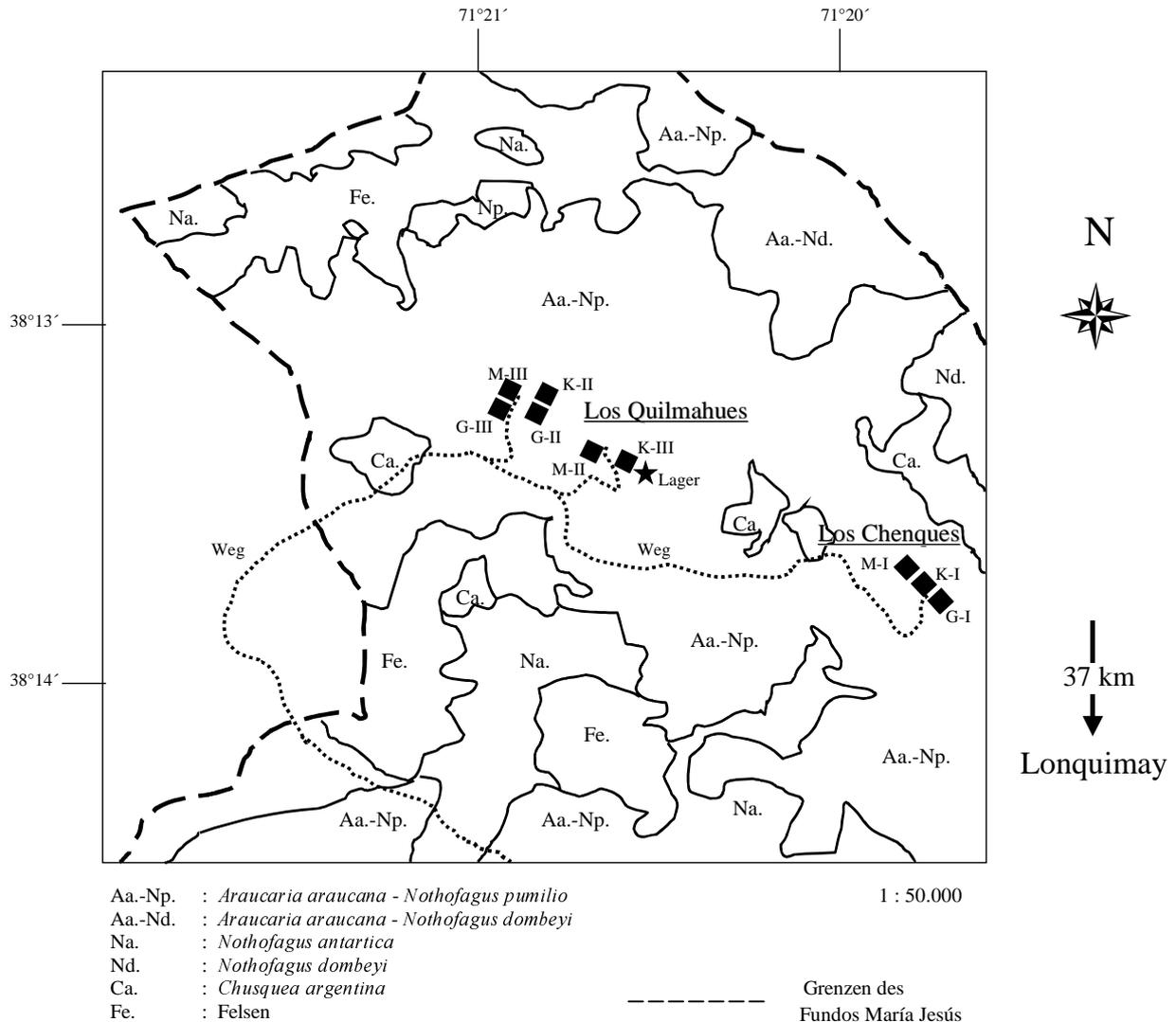


Abb. 3: Gesamtgrundfläche der Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung vor und nach der Anlage der Behandlungen. Die dargestellten Werte entsprechen jeweils dem Durchschnitt der Flächen mit gleicher Behandlungsvariante

Lage im „Fundo María Jesús“

Die Lage der neun Versuchsflächen im „Fundo María Jesús“ ist in Abbildung 4 wiedergegeben. Die Versuchsflächen verteilen sich auf zwei Waldorte: „Los Quilmahues“ und „Los Chenques“. In dem Waldort Los Quilmahues befinden sich zwei Kontrollflächen (K-II und K-III), zwei

Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung (M-II und M-III) und zwei Versuchsflächen mit geringer Grundflächenhaltung (G-II und G-III). Die anderen drei Versuchsflächen (K-I, M-I und G-I) befinden sich in Los Chenques. Die Versuchsflächen von Los Quilmahues sind NO 40° orientiert und die Versuchsflächen in Los Chenques sind NO 70° (SCHMIDT *et al.*, 1982) (s. Abb. 4).



**Abb. 4:** Lage der neun Versuchsflächen im „Fundo María Jesús“. Im Waldort „Los Chenques“ befinden sich drei Versuchsflächen (K-I, M-I und G-I) und in „Los Quilmahues“ sechs Versuchsflächen (K-II, K-III, M-II, M-III, G-II und G-III) (n. SCHMIDT *et al.*, 1982, verändert)

### Standörtliche Charakterisierung

Die ökologischen Eigenarten des Standortes sind aus waldbaulicher Sicht von großer Bedeutung, da sie die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Baumarten an einem konkreten Ort bestimmen. Die wesentlichen, einen Standort prägenden Faktoren sind: Topographie, Klima und Boden.

Die topographischen Verhältnisse auf den einzelnen Versuchsflächen werden anhand von *Höhenlage*<sup>28</sup>, *Hangneigung*<sup>29</sup> und *Exposition*<sup>30</sup> beschrieben. Eine Charakterisierung des Klimas und des Bodens im Gebiet der Versuchsflächen wurde bereits im Kapitel 3.1 wiedergegeben. Es wird davon ausgegangen, dass die mitgeteilten Klimaangaben die Verhältnisse in den Versuchsflächen hinreichend darstellen. Hinsichtlich der Böden in den Anden ist bekannt, dass es wegen der häufigen Erdaktivität und den topographischen Verhältnissen, oft zu kleinflächigem Bodenwechsel kommen kann (vgl. Kap. 2.142). Aus diesem Grund wurden auf allen Versuchsflächen die *Bodeneigenschaften*<sup>31</sup> bestimmt.

*Höhenlage und Hangneigung*

Die untersuchten Versuchsflächen liegen in den Anden nahe der Vegetationsgrenze und sind die höchstlegenden permanenten Versuchflächen Chiles. Im Durchschnitt liegen sie auf einer Höhe von 1.594 m. ü NN und weisen eine durchschnittliche Hangneigung von 14,5° auf. Die Versuchsflächen von Los Chenques, also K-I, M-I und G-I, liegen im Durchschnitt auf 1.534 m. ü. NN und die Bestände von Los Quilmahues auf 1.623 m. ü. NN. Der Höhenunterschied zwischen den beiden Waldorten ist also mit 89 m sehr gering. Die Versuchsfläche G-III ist diejenige, die mit 12 m den geringsten Höhenunterschied innerhalb der Fläche aufweist und folglich die geringste durchschnittliche Hangneigung besitzt. Im Gegenteil dazu sind die Versuchsflächen K-I und M-I diejenigen, welche den größten Höhenunterschied aufweisen, wobei jedoch die Versuchsfläche K-I und K-II die steilsten sind (s. Tab. 7).

Behandlung	Versuchsfläche	Höhenlagen (m. ü. NN)			Hangneigung		
		Durchschnitt	Niedrigster Punkt	Höchster Punkt	Durchschnitt	Niedrigste	Maximale
Kontrolle	K-I	1.531	1.523	1.552	18,8°	0,0°	27,9°
	K-II	1.591	1.573	1.600	19,1°	5,8°	26,1°
	K-III	1.626	1.617	1.633	13,7°	0,0°	32,2°
Mittlere Grundflächenhaltung	M-I	1.543	1.531	1.559	13,6°	0,0°	33,4°
	M-II	1.633	1.627	1.642	14,6°	4,6°	21,2°
	M-III	1.628	1.621	1.639	13,1°	0,0°	24,9°
Geringe Grundflächenhaltung	G-I	1.529	1.523	1.540	12,7°	0,0°	29,8°
	G-II	1.621	1.610	1.629	13,1°	0,0°	25,1°
	G-III	1.642	1.637	1.649	12,1°	0,0°	29,1°

Los Chenques       Los Quilmahues

Tab. 7: Höhenlagen und Hangneigungen der Versuchsflächen

<sup>28</sup> Die **Höhenlage** der Versuchsflächen wurde mit Hilfe eines Höhenmessers festgestellt. Hierfür wurde ab Valdivia, an der Küste des Pazifischen Ozeans, die Höhenlage bis zum Lager (s. Abb. 4) gemessen und dort wurde wieder neu kalibriert. Ab dem Lager wurden dann die Höhenlagen der 9 Versuchsflächen bestimmt, wofür eine Messung bei jeder Teilparzelle (s. Kap. 3.32) realisiert wurde. Diese Messung wurde immer in der Mitte der Teilparzelle durchgeführt

<sup>29</sup> Die **Exposition** wurde für jede Teilparzelle pro Versuchsfläche (s. Kap. 3.32) mit Hilfe eines Suunto Kompass ermittelt.

<sup>30</sup> Die **Hangneigung** wurde mit Hilfe eines Suunto Neigungsmessers festgestellt. Diese Messung wurde an jeder Teilparzelle pro Versuchsfläche (s. Kap. 3.32) realisiert und zwar ebenfalls in der Mitte der Parzelle.

<sup>31</sup> Für die Bestimmung der **Bodeneigenschaften** wurde bei jeder Versuchsfläche ein Bodeneinschlag angelegt, um die Bodenprofile zu beschreiben. Die Bodeneinschläge waren stets 1,6 m tief und 1,1 m breit und wurden auf flachen Teilen der Versuchsflächen erzeugt, um den Einfluss verschiedener Hangneigungen zu vermeiden.

*Exposition*

Der gesamte Berghang, an dem sich die Waldorte Los Chenques und Los Quilmahues befinden, hat eine klare nordöstliche Exposition. Wegen der kleinstandörtlichen Reliefunterschiede weisen die Versuchsflächen jedoch keine einheitliche Exposition auf. Um die Expositionen der Versuchsflächen besser zu charakterisieren wurden die Expositionen der 16 Teilparzellen herangezogen. In Tabelle 8 ist für jede Versuchsfläche die Anzahl der Teilparzellen pro Exposition wiedergegeben. Daraus geht hervor, dass die Versuchsflächen K-II, M-II, M-III und G-II überwiegend nordöstlich exponiert sind, die Flächen M-I und G-III neben einer nordöstlichen Exposition auch zum Teil nordwestliche Exposition aufweisen. Die Flächen K-I und K-III sind überwiegend südöstlich exponiert, die Fläche G-I weist viele flache Partien auf.

Behandlung	Versuchsfläche	Exposition				
		Nord-Ost	Süd-Ost	Süd-West	Nord-West	Flach
Kontrolle	K-I	4	9	1	-	2
	K-II	16	-	-	-	-
	K-III	3	9	1	1	2
Mittlere Grundflächenhaltung	M-I	8	2	-	5	1
	M-II	14	1	-	1	-
	M-III	12	3	-	-	1
Geringe Grundflächenhaltung	G-I	5	1	2	3	5
	G-II	10	4	-	-	2
	G-III	8	-	-	6	2

Los Chenques       Los Quilmahues

Tab. 8: Anzahl von Teilparzellen pro Exposition bei jeder Versuchsfläche

*Bodeneigenschaften*

Die geologischen Ausgangsverhältnisse für die Bodenbildung und die allgemeinen Eigenschaften dieser Böden wurden bereits in den Kapiteln 2.142 und 3.13 angesprochen. Zur Charakterisierung der Bodeneigenschaften auf den einzelnen Versuchsflächen wurden grobe Profilsprachen im Gelände durchgeführt.

Wie aus Tabelle 9 zu entnehmen ist, können die Böden der verschiedenen Versuchsflächen als einheitlich bezeichnet werden. Die Horizontabfolgen sind stets die gleichen, wobei sie sich nur hinsichtlich der Mächtigkeit unterscheiden.

Alle Bodenprofile sind durch eine Überdeckung mit Vulkanasche charakterisiert und sind tiefgründig. Lediglich in den Versuchsflächen von Los Chenques (K-1, M-I und G-I) tritt das Ausgangsgestein an manchen Stellen hervor (vgl. Kap. 4.321).

Horizont	Versuchsflächen								
	K-I	K-II	K-III	M-I	M-II	M-III	G-I	G-II	G-III
O <sub>L</sub>	5	4	5	6	4	5	5	5	4
O <sub>F</sub>	2	3	2	3	2	2	2	3	2
O <sub>H</sub>	2	1	2	3	1	2	2	3	2
A	0-19	0-8	0-16	0-15	0-14	0-15	0-17	0-9	0-17
AB	19-41	8-29	16-30	15-43	14-28	15-38	17-35	9-14	17-39
B1	41-92	29-70	30-88	43-69	28-97	38-72	35-85	14-88	39-98
B2	92-160	70-160	88-160	69-160	97-160	72-160	85-160	88-160	98-160

Tab. 9: Mächtigkeit (in cm) der verschiedenen Horizonte des Bodens der Versuchsflächen

In den Bodenprofilen der Versuchsflächen K-I, M-II, M-III und G-III waren in einer Tiefe zwischen 38 und 90 cm einzelne Ascheteilchen bis zu 2,5 cm Durchmesser erkennbar. Dies weist eindeutig auf die Anwesenheit von Feuer in diesem Gebiet hin, das durch ein vulkanisches Ereignis oder durch menschlichen Einfluss verursacht sein kann.

Der vorherrschende Humustyp ist ein Grobmoder. Diese Humusform ist typisch für Standorte auf denen die Humuszersetzung aufgrund der geringen Temperatur gehemmt ist. Verstärkt wird die Tendenz zur Humusakkumulation dadurch, dass die Nadeln von *A.araucana* wegen ihrer speziellen Eigenschaften sehr schwer zersetzbar sind (s. Kap. 2.36). Weitgehend ohne Humusaufgabe sind die Rückegassen auf den Flächen mit Eingriffen. Hier findet sich nach Beobachtungen im Gelände auch keine Verjüngung oder Bodenvegetation.

In Tabelle 10 sind charakteristische Eigenschaften der verschiedenen Horizonte angegeben. Danach sind die Böden der Versuchsflächen sehr gut durchwurzelbar. Die Körnung des Bodens ist eher grob, was wegen der großen Wasserdurchlässigkeit eine schlechte Wasserspeicherfähigkeit mit sich bringt.

Horizont	Anteil von Feinwurzeln (%)	Gefüge	Anteil von Steinen (%)
A	20 - 45	lockergekrümelte, körnig feinsandig	10 - 15
AB	5 - 10	lockergekrümelte, lehmiger Sand	5 - 8
B1	2 - 5	lockergekrümelte, lehmiger Sand	2 - 5
B2	1	lockergekrümelte, körnig feinsandig	1 - 3

Tab. 10: Beschreibung der Eigenschaften der verschiedenen Profile des Bodens der Versuchsflächen

### 3.3 Datenaufnahme

Die Datenaufnahme erstreckte sich über drei Perioden. Die erste Aufnahmeperiode dauerte vom 15. Januar bis zum 15. März 1998, die zweite kurze Periode vom 8. Dezember bis 21. Dezember 1998 und die dritte und letzte Periode, vom 8. Januar bis zum 15. März 1999.

#### 3.31 Baumschicht

Bei Anlage der Versuchsflächen (1981-1982) waren vor der Behandlung, jeder Baum über 10 cm BHD nummeriert und folgende Parameter aufgenommen worden:

- Koordinaten des Einzelbaumstandortes
- Baumart
- Brusthöhendurchmesser

Nach 16 Jahren waren die Nummern auf den Bäumen kaum noch zu erkennen. Deshalb wurden bei den eigenen Aufnahmen zunächst mit Hilfe der ursprünglichen Informationen, die einzelnen Bäume im Gelände identifiziert und die Originalformulare überprüft. 1998 wurde an allen Bäumen die über 5 cm BHD aufwiesen, folgende Parameter aufgenommen:

- Brusthöhendurchmesser
- Höhe
- Kronenansatzhöhe
- Kronenradien
- Kronenfreiheit
- Geschlecht
- Stammqualität

Der **Brusthöhendurchmesser** (BHD) wurde mit Hilfe eines Umfangmessbands ermittelt. Bei Auftreten von Krümmungen, Zwiesel oder Verdickungen wurden die Messungen entsprechend der üblichen Inventuranleitungen vorgenommen (z.B. KRAMER und AKCA, 1995). Diese Erscheinungen traten hauptsächlich bei *N.pumilio* auf.

Die **Höhe** der Bäume und die **Kronenansatzhöhe** wurden mit Hilfe eines Suunto Höhenmessgerätes ermittelt. Es wurde nur die Ansatzhöhe der Hauptkrone gemessen. Bei *A.araucana* bedeutet dies, dass als Kronenansatz der unterste Quirl mit mindesten drei grünen Ästen berücksichtigt wurde (KRAMER und AKCA, 1995).

Bei jedem Baum wurden vier **Kronenradien** gemessen. Die Radien wurden an den Himmelsrichtungen (N, S, W, O) ausgerichtet und von Norden ausgehend im Uhrzeigersinn durchnummeriert. Auf jedem Messradius wurde der am äußersten Kronenrand liegende Punkt mit Hilfe eines Dachlots festgestellt und die Entfernung zum Baum aufgenommen. Später wurde bei jedem Kronenradius, der Stamradius addiert, um so eine genauere Messung zum Mittelpunkt des Baumes zu haben.

Um das Lichtangebot für die einzelnen Bäume zu erfassen, wurde durch eine einfache Klassifikation die **Freiheit der Kronen**, bei allen Bäumen über 10 cm, bestimmt. Die benutzten Klassen sind folgende:

- Kronenfreiheit 1: Freie Krone (nicht überschirmt)
- Kronenfreiheit 2: Bedrängte Krone (teilweise überschirmt)
- Kronenfreiheit 3: Überschirmte Krone (völlig überschirmt)

Das **Geschlecht** der *A.araucana* Bäume wurde im Gelände anhand des Behangs mit männlichen und weiblichen Zapfen bestimmt, die sich im Sommer leicht unterscheiden lassen (s. Kap. 2.16).

Für alle stehenden Bäume wurde außerdem die **Qualität des Stammes** festgestellt. Hierfür wurde jeder Stamm hinsichtlich **Gesundheit** und **Schaftform** beurteilt, also nur äußerlich angesprochen. Die dabei ausgeschiedenen Kategorien sind folgende:

Gesundheit

- Klasse 1: Gesundes Holz, ohne Fäulen und ohne Schaden
- Klasse 2: Anwesenheit von Fäulen oder von Schaden mit kleiner Ausdehnung
- Klasse 3: Baumstamm mit starken Fäulen oder Schaden

Schaftform

- Klasse 1: Fehlerfrei. Stammquerschnitt kreisförmig. Ohne Krümmung und ohne Zwiesel
- Klasse 2: Stammquerschnitt elliptisch. Schwache Krümmung
- Klasse 3: Baumstamm mit starken Schaftformfehlern

Bei der Bestimmung der Schaftform der *N.pumilio* Stämme war man nicht so streng wie bei den *A.araucana* Stämme, da die Laubbaumarten aus natürlichen Gründen nicht so gerade und kreisförmig sind wie die Nadelbaumarten. Die *A.araucana* Stämme haben von Natur aus im allgemeinen eine außergewöhnlich gute Form (s. Kap. 2.16). Entsprechend den oben genannten Kategorien von Gesundheit und Schaftform wurden die Qualitäten der Baumstämme durch folgende Kombinationstabelle bestimmt (s. Tab. 11):

1	2	B
1	3	C
2	1	C
2	2	C
2	3	C
3	1	D
3	2	D
3	3	D

**Tab. 11:** Kombinationstabelle von Gesundheits- und Schaftformmerkmale für die Bestimmung der Qualität der Baumstämmen von *A.araucana* und *N.pumilio*

*Durchmesserzuwachs*

Die BHD Werte der einzelnen Bäume wurden auf den neun Versuchsflächen in den Jahren 1982 und 1998 gemessen; somit ist es möglich den Zuwachs für diese Periode festzustellen.<sup>32</sup> Die BHD Messungen von 1982 wurden zwar alle auf 1,30 m Höhe realisiert, die genaue Stelle der Messung wurde aber leider nicht dauerhaft markiert<sup>33</sup>. Dies bedeutet, dass es nicht völlig sicher ist, dass beide BHD-Messungen an derselben Stelle durchgeführt wurden. Zur Überprüfung der Plausibilität der so genommenen Zuwachswerte wurden Bohrspäne entnommen, an denen der Zuwachs exakt bestimmt werden konnte. Außerdem konnten durch die Auswertung der Bohrspäne die Zuwächse der Bäume vor der Behandlung bestimmt werden.

---

<sup>32</sup> Dies entspricht praktisch der Schweizer Kontrollmethode, bei der die Waldaufnahme durch periodische Vollkluppungen der Bestände realisiert wird.

<sup>33</sup> Eine Voraussetzung für die richtige Anwendung der Schweizer Kontrollmethode ist, dass die BHD Messungen genau an der selben Höhe des Stammes realisiert werden. Hierfür wird die genaue Stelle der Messung am Baum dauerhaft markiert (SCHMID-HAAS, 1963).

Auf den neun Versuchsflächen wurden von jeder Baumart 20 Bohrspäne pro Kronenfreiheitsklasse entnommen, wobei Bäume unterschiedlicher Dimensionen berücksichtigt wurden. Die Gruppierung der Bohrspäne in statistisch einheitliche Teilkollektive wird in Kapitel 3.42 beschrieben.

Die Zuwachsbohrungen wurden in Brusthöhe (1,30 m) durchgeführt, wobei der PRESSLERsche Zuwachsbohrer benutzt wurde (vgl. KRAMER und AKCA, 1995). Jede Zuwachsbohrung wurde auf eine Eindringtiefe von 15 cm begrenzt; dieser Abschnitt erschien ausreichend für die Wiedergabe des Wachstums dieser Bäume vor den Eingriffen und nach der Anlage der Behandlungen.

### 3.32 Verjüngungsschicht

Für die Datenaufnahme der Verjüngung und Bodenvegetation wurde jede Versuchsfläche in 16 kleinere gleich große Teilparzellen eingeteilt. Jede Teilparzelle war  $625 \text{ m}^2$  groß. Die Orientierung und Nummerierung der Teilparzellen erfolgte innerhalb jedes Waldortes in gleicher Weise. In Los Quilmahues wurden die Flächen nach NO  $40^\circ$  ausgerichtet und in Los Chenques nach NO  $70^\circ$  (s. Abb. 5).

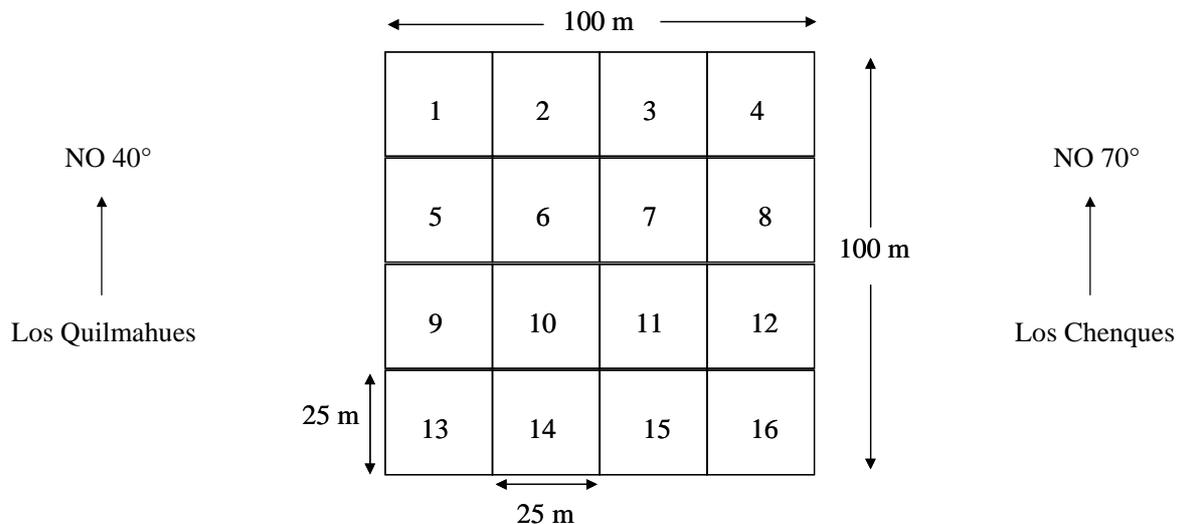


Abb. 5: Unterteilung der 1 Hektar großen Versuchsfläche in 16 je  $625 \text{ m}^2$  große Teilparzellen. Die Nummerierung gibt die tatsächliche Lage der Teilparzellen im Gelände wieder

Es war nicht möglich in der zur Verfügung stehenden Zeit auf allen Versuchsflächen auf allen 16 Teilparzellen Verjüngungsaufnahmen durchzuführen. Es wurde deshalb für die Aufnahme der Verjüngungsschicht aus den 16 Teilparzellen pro Versuchsfläche neun zufällig ausgewählt. Die Zufallsauswahl erfolgte für jede Versuchsfläche getrennt. Auf jeder ausgewählten Teilparzelle wurden 25 Verjüngungsstichproben systematisch verteilt, so dass pro Versuchsfläche 225 Verjüngungsstichproben gemessen wurden (s. Abb. 6).

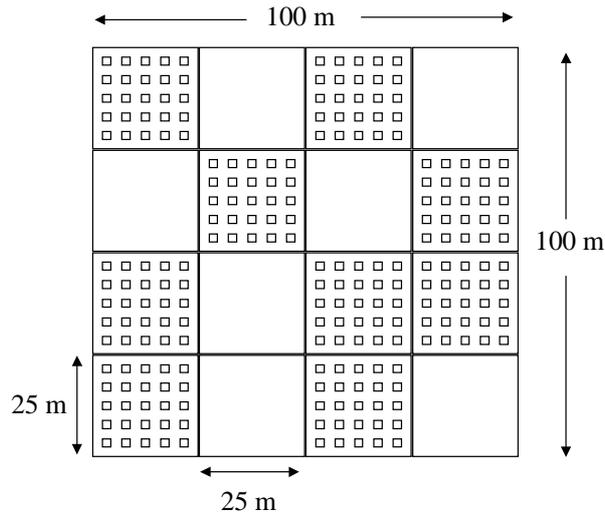


Abb. 6: Darstellung von neun zufällig ausgewählten Teilparzellen in denen jeweils 25 Verjüngungsstichproben systematisch angelegt wurden. In diesem Fall entsprechen die ausgewählten Teilparzellen den Nummern: 1, 3, 6, 8, 9, 11, 12, 13, und 15

Jede Verjüngungsstichprobe bedeckte eine Grundfläche von  $2,25 \text{ m}^2$  ( $1,5 \text{ m} * 1,5 \text{ m}$ ). Der Abstand zwischen den Mittelpunkten dieser Flächen betrug stets 5 m. Die Ausrichtung dieser Verjüngungsstichproben ist genau dieselbe wie bei den Teilparzellen bzw. Versuchsflächen (s. Abb. 7).

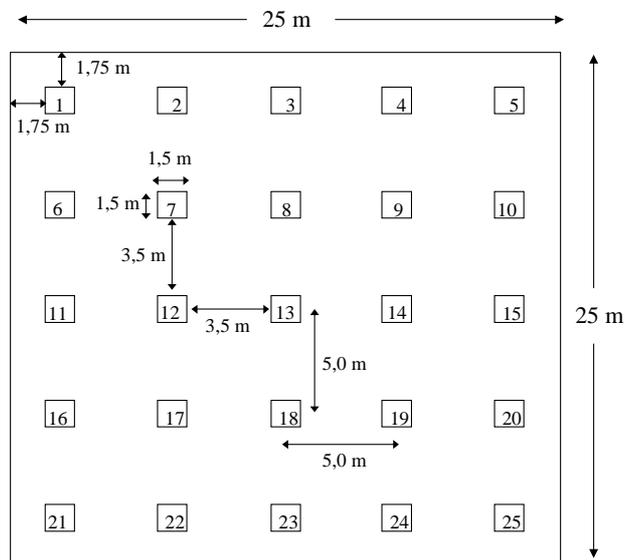


Abb. 7: Verteilung der 25 je  $2,25 \text{ m}^2$  großen Verjüngungsstichproben in einer ausgewählten Teilparzelle. Die Nummerierung der Verjüngungsstichproben erfolgte im Gelände wie in der Abbildung wiedergegeben.

Auf jeder der 25 Verjüngungsstichproben wurden folgende Daten aufgenommen:

- Anzahl der Verjüngungspflanzen pro Baumart
- Höhe dieser Pflanzen
- Bedeckungsgrad mit *Chusquea argentina*

Als **Verjüngungspflanze** wurden *A. araucana* und *N. pumilio* Individuen unter 5 cm BHD berücksichtigt.

Die **Höhe** der Verjüngungspflanzen wurde mit Hilfe eines Messbandes ermittelt. Bei jeder Pflanze wurde zusätzlich aufgenommen, ob sie sich unterhalb oder oberhalb von *Ch. argentina* befindet.

Der **Bedeckungsgrad von *Ch. argentina*** wurde in 5 % Stufen ermittelt.

Zusätzlich wurde in den neun mittleren Verjüngungsstichproben pro ausgewählte Teilparzelle, also an den Verjüngungsstichproben: 7, 8, 9, 12, 13, 14, 17, 18 und 19 (s. Abb. 7), eine intensivere Aufnahme durchgeführt. Folgende Parameter wurden an den vorkommenden Pflanzen bestimmt:

- Sprossbasisdurchmesser der Verjüngungspflanzen
- Vitalität der Verjüngungspflanzen
- Höhe von *Ch. argentina*

Der **Sprossbasisdurchmesser** der Verjüngungspflanzen wurde mit Hilfe eines Nonius mit einer Genauigkeit von 0,01 cm gemessen. Die Durchmessermessungen wurden stets 1 cm oberhalb der Bodenoberfläche realisiert.

Die **Vitalität** der Verjüngungspflanzen wurde nach einer einfachen Klassifikation ermittelt. Die benutzten Vitalitätsklassen waren folgende:

- Klasse 1: Sehr vital
- Klasse 2: Vital
- Klasse 3: Nicht vital

Die durchschnittliche und maximale **Höhe von *Ch. argentina*** wurde mit einem selbst hergestellten kalibrierten Maßstab gemessen. Bei der Ermittlung der Höhe wurden auch Pflanzen gemessen, die nicht unbedingt in der selben Verjüngungsstichprobe wuchsen, aber sie doch bedeckte.

### 3.4 Datenauswertung

#### 3.41 Analysen zur Struktur des Urwaldes

In diesem Kapitel wird zuerst die Methode zur Berechnung des repräsentativen Minimumareals wiedergegeben (s. Kap. 3.411) und danach werden die Tests zur Prüfung der Einheitlichkeit der Versuchsflächen beschrieben (s. Kap. 3.412).

##### 3.411 Minimumareal jeder Versuchsfläche

Um festzustellen, ob die ein Hektar großen Versuchsflächen zur Erhöhung der Stichprobenzahl in kleinere Teilflächen zerlegt werden können, wurde das minimale Areal bestimmt, das die Eigenschaften des Urwaldes hinsichtlich der Durchmesserstruktur noch repräsentiert. Hierzu

wurden innerhalb jeder Versuchsfläche immer größer werdende Teilflächen übereinandergelegt (s. Abb. 8, Verfahren 1), wobei die kleinste Fläche (625 m<sup>2</sup>) in der Mitte positioniert wurde. Anschließend wurde die Größe der jeweiligen Stichprobenflächen solange verdoppelt, bis sich die Gesamtfläche von einem Hektar ergab. Die Durchmesserstruktur jeder so ermittelten Stichprobenfläche wurde dann mit derjenigen aller anderen verglichen. Die kleinste Fläche, die sich nicht signifikant von den größeren unterschied, wurde als repräsentatives Minimumareal angenommen.

Die Stammzahlverteilungen auf Durchmesserklassen sind nominalskalierte Häufigkeitsverteilungen; für derartige Verteilungen ist der  $\chi^2$  - Test das gängige Prüfverfahren (HASELOFF und HOFFMANN, 1970; MATHER, 1972; SACHS, 1974; WEBER, 1986; KÖHLER *et al.*, 1992; CANAVOS, 1997), mit dem auch die oben aufgezählten Vergleiche vorgenommen wurden.

### **3.412 Einheitlichkeit der Versuchsflächen**

Nachdem das repräsentative Minimumareal für jede Versuchsfläche bestimmt war, wurde überprüft, ob möglicherweise bereits vor Versuchsbeginn signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Versuchsflächen bestanden. Hierzu wurde die Bestandesstruktur hinsichtlich Durchmesserstruktur und horizontalen Baumverteilungsmustern untersucht.

#### 3.412.1 Durchmesserstruktur

Zur Überprüfung der Einheitlichkeit der neun Versuchsflächen bezüglich der Durchmesserstruktur, wurde jede Versuchsfläche in 16 gleich große Teilparzellen mit einer Fläche von 625 m<sup>2</sup> untergliedert (s. Abb. 8, Verfahren 2). Die nächst größeren Flächen wurden gebildet, indem die Gesamtfläche in vier gleiche Teile (4 Teilparzellen) und in zwei gleiche Teile (8 Teilparzellen) geteilt wurde. Anschließend wurde jede der so gebildeten Teilflächen (s. Abb. 8, A-D) mit allen übrigen Teilflächen der gleichen Größe verglichen. Für die Analyse der 625 m<sup>2</sup> großen Flächen waren somit insgesamt 10.296 Einzelvergleiche (143 + 142 + 141 .... + 3 + 2 + 1) notwendig, bei den 2.500 m<sup>2</sup> Flächen 630 Vergleiche (35 + 34 .... + 2 + 1), bei den 5.000 m<sup>2</sup> großen Flächen 153 (17 + 16 .... + 2 + 1) und für die Analyse der ein Hektar großen Versuchsflächen waren insgesamt 36 Einzelvergleiche (8 + 7 .... + 2 + 1) erforderlich. Genauso wie bei der Bestimmung des Minimumareals wurden die Vergleiche anhand des  $\chi^2$  - Testes überprüft.

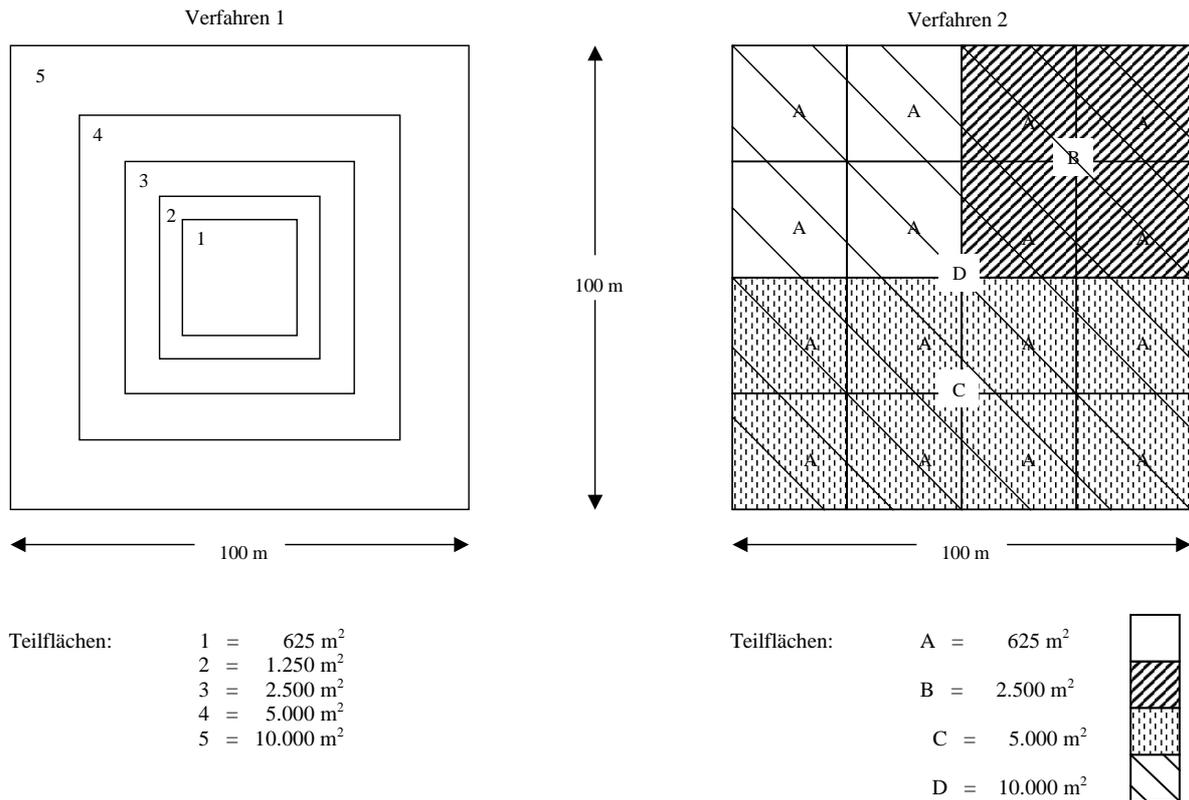


Abb. 8: Anordnung der Flächen innerhalb jeder Versuchsfläche für die Durchmesserstrukturanalysen. Die Anordnung des Verfahrens 1 diente zur Bestimmung des Minimumareals bei jeder Versuchsfläche und das Verfahren 2 diente zur Analyse der Einheitlichkeit der Versuchsflächen

### 3.412.2 Horizontale Baumverteilungsmuster

Das horizontale Baumverteilungsmuster der Bäume innerhalb der Versuchsflächen, wurde mit Hilfe des Verteilungsindex nach MORISITA (1959) bestimmt. Hierfür wird jede Versuchsfläche zunächst in mehrere Quadrate gleicher Flächengröße unterteilt. Für diese Quadrate wird dann der entsprechende Verteilungsindex nach folgender Formel berechnet:

$$I = q \cdot \sum_{i=1}^q \frac{n_i \cdot (n_i - 1)}{N \cdot (N - 1)}$$

Wobei:

I = Verteilungsindex für eine bestimmte Quadratgröße

q = Gesamtzahl der Quadrate

$n_i$  = Anzahl der Individuen im i-ten Quadrat

N = Gesamtzahl der Individuen in allen Quadraten

Bei einer zufälligen Verteilung der Individuen auf der Versuchsfläche nimmt der Verteilungsindex den Wert 1 an, d.h. jedes Individuum hat statistisch die gleiche Chance, in irgendeinem der Quadrate aufzutauschen. Liegt der Indexwert über 1, so deutet das auf eine geklumpfte Verteilung hin. Ein Indexwert unter 1 weist dagegen auf eine gleichmäßige Verteilung der Individuen hin.

Da der Indexwert von der Größe der vorkommenden Klumpungen abhängig ist, wurden durch fortschreitende Vergrößerungen des anfänglichen Quadrates, weitere Verteilungsindexe berechnet. Dadurch kann der unterschiedlichen Größe einer Klumpung Rechnung getragen werden. Die für die Berechnung des Verteilungsindex nach MORISITA (1959) verwendeten Quadratflächen sind in Tabelle 12 wiedergegeben.

Flächengröße der Quadrate (m <sup>2</sup> )	Seitenlänge (m)	Anzahl der Quadrate pro Versuchsfläche
25	5,0	400 - (20 * 20)
51	7,1	196 - (14 * 14)
100	10,0	100 - (10 * 10)
204	14,3	49 - (7 * 7)
400	20,0	25 - (5 * 5)
1.111	33,3	9 - (3 * 3)
2.500	50,0	4 - (2 * 2)

Tab. 12: Verwendete Quadratflächengrößen für die Berechnung des Verteilungsindex, mit den entsprechenden Seitenlängen sowie die sich ergebende Anzahl der Quadrate pro Versuchsfläche

Die horizontalen Baumverteilungsmuster innerhalb jeder Versuchsfläche wurde getrennt für jede Baumart sowie für Individuen mit BHD von 10-50 cm, 50-100 cm und 100-200 cm berechnet. Für die Bestimmung der Einheitlichkeit der Versuchsflächen, wurden die entsprechenden Verteilungsindizes mit Hilfe des  $\chi^2$  - Testes miteinander verglichen. Hierzu waren pro Vergleich 36 Tests erforderlich.

### 3.42 Bohrspananalyse

Wie im Kapitel 3.32 beschrieben, wurden zur Zuwachsbestimmung Bohrspäne von *A.araucana* und *N.pumilio* entnommen und analysiert. Um die Interpretation der Zuwachsresultate zu erleichtern, wurden die Bäume in statistisch einheitliche Teilkollektive gruppiert. Diese Analysen wurden für jede Behandlungsvariante getrennt durchgeführt. Die geprüften Kriterien für die Teilkollektivbildung waren folgende:

- Kronenfreiheit
- Kronenfreiheit pro BHD-Klassen<sup>34</sup>
- Kronenfreiheit pro Höhengschicht<sup>35</sup>

<sup>34</sup> Die getesteten BHD-Klassen sind folgende: 10 - 30 cm; 30 - 50 cm; 50 - 70 cm; 70 - 90 cm und > 90 cm.

<sup>35</sup> Die getesteten Höhengschichten sind folgende: 0 - 10 m; 10 - 20 m; 20 - 30 m und > 30 m.

Die jährlichen Zuwächse der Periode 1962-1997 der entsprechenden Teilkollektive wurden miteinander mittels des  $\chi^2$  - Testes verglichen und danach wurden die durchschnittlichen Zuwächse der Perioden 1962-1976, 1977-1982 und 1983-1997<sup>36</sup> anhand von Varianzanalysen getestet.

Der Einfluss der Behandlungen auf die BHD Zuwächse beider Baumarten wurde für die gebildeten Teilkollektive getrennt nach der „Zuwachs-Trend“ Methode (PRETZSCH und UTSCHIG, 1989) untersucht. Hierzu wurden die Zuwachsentwicklungen der Bäume auf den Versuchsflächen mit Eingriffen (zu beurteilende Teilkollektive) mit der Zuwachsentwicklung der entsprechenden Bäume auf den Kontrollflächen (Referenz Teilkollektive) verglichen. Diese Methode berücksichtigt, dass sich die Zuwachskurven der zu beurteilenden Bäume und der Referenzbäume eventuell schon vor der Anlage der Behandlungen auf einen unterschiedlichen Niveau bewegten. Dazu wurden über den durchschnittlichen Zuwachs in einer Referenzperiode vor der Anlage der Behandlung, in welcher die zu vergleichenden Zuwachskurven etwa parallel liefen, die Niveauunterschiede bestimmt. Die a priori vorhandenen Niveauunterschiede zwischen den Referenzbäumen und dem zu beurteilenden Kollektiv werden eliminiert, indem die jährlichen Zuwächse der Teilkollektive in Relation zu ihrem gruppenspezifischen Zuwachsniveau in der Referenzperiode gesetzt werden (erste Prozentuierung). Die errechneten Prozentwerte geben den gruppenspezifischen Zuwachstrend an. Der nach diesem Verfahren errechnete Zuwachstrend der Referenzbäume stellt den „normalen“ Zuwachstrend dar, der ohne den Einfluss der Behandlungen zu erwarten gewesen wäre. Danach wird der Zuwachstrend der Bäume auf den Flächen mit Eingriffen in Relation zum Zuwachstrend der Referenzbäume (Kontrollflächen) betrachtet (zweite Prozentuierung). Die Trendabweichungen zwischen den beiden Kurven geben den Einfluss der Behandlungen an.

### 3.43 Vorratsberechnung

Zur Berechnung des Vorrates von *A.araucana* und *N.pumilio* in den untersuchten Wäldern standen für die vorliegende Arbeit keine Funktionen zur Verfügung. Deshalb mussten aus dem eigenen Datenmaterial Vorratsangaben abgeleitet werden. Hierzu wurde für jeden einzelnen Baum das Volumen anhand folgender Formel berechnet:

$$\text{Vol. (m}^3\text{)} = \text{Grundfläche (m}^2\text{)} * \text{Baumhöhe (m)} * \text{Formzahl} \quad (\text{Gl. 1})$$

Die Grundfläche und die Höhe aller Bäume waren bekannt, nicht jedoch die Formzahl jeden Baumes. Aus diesem Grund wurde für beide Baumarten ein Formzahlmittelwert verwendet; 0,60 für *A.araucana* und 0,45 für *N.pumilio* (vgl. ORFILA, 1970; MUTARELLI und ORFILA, 1970; SCHMIDT, 1977; SCHMIDT *et al.*, 1980; MORALES, 1983; OJEDA, 1989). Da die Untersuchungsbäume eine sehr große Durchmesserspreitung aufwiesen, musste berücksichtigt werden, dass sich die Formzahl mit zunehmendem Durchmesser verändert. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde (nach dem hierzu keine Informationen für *A.araucana* und *N.pumilio* vorlagen), unterstellt, dass sich die Formzahlen bei diesen Arten ähnlich verändern wie bei *A.alba*

---

<sup>36</sup> Die Periode 1962-1976 entspricht 15 Jahren vor dem allerersten Eingriff (s. Kap. 3.21). Die Periode 1977-1982 entspricht den Jahren zwischen dem ersten Eingriff und der Anlage der Behandlungen und die Periode 1983-1997 entspricht 15 Jahren nach der Anlage der Behandlungen.

und *F.sylvatica*. Die entsprechenden Formzahlen wurden anhand der von KENNEL (1973) für *A.alba* und *F.sylvatica* ermittelten Formeln berechnet.

Formel für die Berechnung der Parameter von *A.alba*

$$\begin{aligned} a &= -7,41365 + (3,33667 * (LN BHD) + (-0,426419 * (LN BHD)^2)) \\ b &= 4,009980 + (-1,39533 * (LN BHD) + (0,165198 * (LN BHD)^2)) \\ c &= -0,321612 + (0,144010 * (LN BHD) + (-0,016546 * (LN BHD)^2)) \end{aligned}$$

Formel für die Berechnung der Parameter von *F.sylvatica*

$$\begin{aligned} a &= -2,7284 + (0,837563 * (LN BHD) + (-0,105843 * (LN BHD)^2)) \\ b &= 1,62283 + (-0,214812 * (LN BHD) + (0,028927 * (LN BHD)^2)) \\ c &= -0,087972 + (0,032567 * (LN BHD) + (-0,004463 * (LN BHD)^2)) \end{aligned}$$

Formel für die Berechnung der Formzahl

$$\text{Formzahl} = (\text{EXP} (a + (b * (LN H)) + (c * (LN H)^2))) / H \quad (\text{Gl. 2})$$

Das mit der so berechneten Formzahl kalkulierte Volumen für jeden Baum (s. Gl. 1) wurde dann mit dem Quotienten aus Formzahlmittelwert von *A.araucana* (=0,60) bzw. *N.pumilio* (=0,45) und berechnete Formzahl von *A.alba* bzw. *F.sylvatica* (s. Gl. 2) multipliziert.

Bei der Ermittlung des Vorrates vor und nach der Anlage der Behandlung ergaben sich Schwierigkeiten. Von 1982 sind zwar die Durchmesser aller Bäume bekannt, nicht jedoch die Baumhöhen. Um diese Situation zu beseitigen wurde die im Jahre 1998 auf den Kontrollflächen festgestellte Höhenkurve als repräsentativ für alle Versuchsflächen vor Versuchsbeginn angenommen. Diesem Ansatz liegt folgender Gedanke zu Grunde: Wie in Kapitel 4 gezeigt wird, befanden sich die Bestände der neun Versuchsflächen vor Versuchsbeginn in einem Plentergleichgewicht. Dies bedeutet, dass die Bestandeselemente in den neun Versuchsflächen vor Versuchsbeginn einen stationären Charakter aufwiesen. Dieses Fließgleichgewicht wurde auf den Flächen mit Eingriffen zerstört, während es auf den Kontrollflächen erhalten blieb. Das bedeutet, dass die im Jahre 1998 aufgenommenen Bestandeselemente auf den Kontrollflächen auch die Verhältnisse der Flächen vor Versuchsbeginn widerspiegeln. Die berechnete Höhenkurve der Kontrollflächen kann somit auch als repräsentativ für das Verhältnis Höhe-BHD der neun Versuchsflächen vor Versuchsbeginn unterstellt werden. Das Volumen jeden einzelnen Baumes konnte so auch für die Situation vor der Versuchsanlage kalkuliert werden. Um methodische bedingte Differenzen bei der Vorratermittlung zu beiden Zeitpunkten auszuschließen, wurden auch für die Volumenermittlung im Jahr 1998 die mittels der Höhenkurven ermittelten Werte zugrunde gelegt.

### 3.44 Analyse von Einzelbaumparametern

Die Einflüsse der waldbaulichen Behandlungen auf einen *A.araucana-N.pumilio* Wald wurden auf der Grundlage der erhobenen Baummerkmale analysiert. Hierfür wurde das Konzept „Analysen zur Bewertung waldbaulicher Maßnahmen“ (EL KATEB, 2000) verwendet. Dieses Konzept ist für die Gewinnung von Information in beschränkten Versuchszeiträumen sehr

geeignet. Grundlagen der Analysen waren nicht nur die Untersuchungen des Einflusses von Behandlungsmaßnahmen auf ein oder mehrere Baummerkmale, sondern darüber hinaus wurden:

- für jede Behandlungsvariante mehrere **Zusammenhänge** zwischen je zwei Baummerkmalen untersucht (s. Kap. 3.441).
- innerhalb jeder Behandlungsvariante (Grundgesamtheit), **Baumklassen** (Teilgesamtheit) definiert (s. Kap. 3.442).
- bei allen Zusammenhängen für die einzelnen Baumklassen **Regressionsgleichungen** berechnet und dann miteinander verglichen (s. Kap. 3.443).

Die Reaktion von *A.araucana* und *N.pumilio* auf die waldbaulichen Behandlungen konnte so differenziert nach Baumklassen (Straten) dargestellt werden. Auf dieser Grundlage lassen sich die Behandlungsvarianten bewerten und Empfehlungen ableiten. Die Auswertung erfolgte mit dem Programm „Araukarie“, das von El KATEB zur Verfügung gestellt wurde. Das Programm wurde unter Verwendung der Software SAS (Statistical Analysis System) erstellt.

### 3.441 Zusammenhänge

Die Wirkungen der Behandlungen auf *A.araucana* und *N.pumilio* wurden anhand von 17 verschiedenen Zusammenhängen überprüft. Diese Zusammenhänge sind folgende:

- |                               |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 1. Höhe : BHD                 |                                 |
| 2. h/d Wert : BHD             | 10. h/d Wert : Höhe             |
| 3. Kronenbreite : BHD         | 11. Kronenbreite : Höhe         |
| 4. Kronenlänge : BHD          | 12. Kronenlänge : Höhe          |
| 5. Bekronungsgrad : BHD       | 13. Bekronungsgrad : Höhe       |
| 6. Spreitungsgrad : BHD       | 14. Spreitungsgrad : Höhe       |
| 7. Plumpheitsgrad : BHD       | 15. Plumpheitsgrad : Höhe       |
| 8. Ausladungsverhältnis : BHD | 16. Ausladungsverhältnis : Höhe |
| 9. BHD Zuwachs : Ausgangs BHD | 17. BHD Zuwachs : Höhe          |

### 3.442 Baumklassen

Um die Auswirkungen der waldbaulichen Behandlungen möglich detailliert zu analysieren wurde entschieden, die erwähnten Zusammenhänge nicht nur für jede Behandlungsvariante zu untersuchen, sondern verschiedene Baumklassen innerhalb jeder Behandlungsvariante zu bilden und die Zusammenhänge für die einzelnen Baumklassen zu untersuchen (s. Kap. 3.432). Hierzu wurden zunächst zwei Kriterien für die Baumklassenbildung analysiert: die Höhenschicht und die Kronenfreiheit:

- Die **Höhenschicht** umfasste bei jeder Baumart vier Klassen,<sup>37</sup> was bedeutet, dass insgesamt 12 Klassen pro Baumart zu vergleichen waren (4 Höhenschichten \* 3 Behandlungsvarianten).
- Die **Kronenfreiheit** umfasste bei jeder Baumart drei Klassen (s. Kap. 3.32), was bedeutet, dass insgesamt 9 Klassen pro Baumart zu vergleichen waren (3 Kronenfreiheitsklassen \* 3 Behandlungsvarianten).

Von den beiden Kriterien wurde das jeweils homogenere und interpretierbarere ausgewählt. Dies konnte durch die Berechnung von Regressionskurven für die einzelnen Baumklassen und anschließenden Vergleich der Kurven erreicht werden (s. Kap. 3.443). Die Resultate dieser Analysen zeigten bei beiden Baumarten, dass sich die Klassifikation nach Kronenfreiheit aus statistischer Sicht als geeigneter erwies als die Klassifikation nach Höhenschichten. Der Grund hierfür waren die geringeren Überlappungen zwischen den einzelnen Klassen oder Straten, was zu einer wesentlichen Verringerung der Varianz geführt hat (vgl. EL KATEB, 2000).

Es hätte die Möglichkeit bestanden, die Regressionsgleichungen für jede einzelne Versuchsfläche zu berechnen; dann hätte die Zahl der Wiederholungen einbezogen werden müssen (also 9 Kronenfreiheitsklassen \* 3 Wiederholungen = 27 Kronenfreiheitsklassen pro Baumart; bzw. 12 Höhenklassen \* 3 Wiederholungen = 36 Höhenklassen pro Baumart). Die Resultate dieser Analysen wiesen in nur sehr wenigen Fällen signifikante Unterschiede zwischen den entsprechenden Versuchsflächen auf, wobei sich meistens die Fläche K-III von den anderen Kontrollflächen unterschied, sowie auch die Fläche M-III von den entsprechenden Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung. Die hohe Anzahl an Analysen, bei denen aus statistischer Sicht keine wesentlichen Differenzen zwischen Flächen mit gleicher Behandlungsvariante vorhanden waren, führte zu der Entscheidung die jeweiligen Versuchsflächen als Wiederholung zu betrachten. Aus diesem Grund wurde auf eine Analyse der einzelnen Versuchsflächen verzichtet und im weiteren nur mit den drei Behandlungsvarianten gearbeitet.

### ***3.443 Berechnung und Vergleich von Regressionsgleichungen***

Die Berechnungen und Vergleiche der Regressionsgleichungen der verschiedenen Baumklassen, sowie die Überprüfung der Modellvoraussetzungen wurden anhand folgender Vorgehensweise realisiert (vgl. EL KATEB, 2000). Zur Erläuterung des Verfahrens und zum besseren Verständnis der Ergebnisse wird das angewandte Auswertungsverfahren nachfolgend anhand des ausgewählten Kriterium „Kronenfreiheit“ erklärt.

#### *1. Plausibilitätsprüfung*

Zuerst wurden die Daten auf Plausibilität überprüft.

#### *2. Graphische Überprüfung*

Danach wurden alle untersuchten Zusammenhänge graphisch dargestellt. Daraus ergab sich eine Vorstellung von der Art des Zusammenhangs zwischen den untersuchten Variablen und es ließen

---

<sup>37</sup> Die Baumklassen waren folgende: 0-10 m; 10-20 m; 20-30 m und > 30 m.

sich Ausreißer und einflussreiche Beobachtungen erkennen. Diejenigen Werte, von denen zu erwarten war, dass sie bei späteren Transformationen immer noch als Ausreißer und einflussreiche Beobachtungen zu erkennen wären, wurden aus der Analyse herausgenommen.

### 3. Bildung des Regressionsmodells

Danach erfolgte die Bildung des Regressionsmodells, das bei Berücksichtigung von neun Klassen pro Baumart (3 Kronenfreiheitsklassen \* 3 Behandlungsvarianten) folgendermaßen lautet:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 Z1_i + \beta_3 Z2_i + \beta_4 Z3_i + \beta_5 Z4_i + \beta_6 Z5_i + \beta_7 Z6_i + \beta_8 Z7_i + \beta_9 Z8_i + \beta_{10} X_i Z1_i + \beta_{11} X_i Z2_i + \beta_{12} X_i Z3_i + \beta_{13} X_i Z4_i + \beta_{14} X_i Z5_i + \beta_{15} X_i Z6_i + \beta_{16} X_i Z7_i + \beta_{17} X_i Z8_i + \epsilon_i$$

(Gl. 3)

Wobei:

i	=	1,.....n
$\beta_0 - \beta_{17}$	=	Regressionskoeffizienten
$Y_i$	=	Regressand (abhängige Variable)
$X_i$	=	Regressor (unabhängige Variable)
$Z1_i - Z8_i$	=	Indikatorvariablen (s. Tab. 13)
$(X Z1)_i - (X Z8)_i$	=	Wechselwirkungen
$\epsilon_i$	=	normalverteilte Zufallsvariable $(0, \sigma^2)$

Die in Tabelle 13 dargestellten Codierungen<sup>38</sup> erlauben die Überprüfung von spezifischen Hypothesen für *A. araucana* und *N. pumilio*, die in Tabelle 14 wiedergegeben werden.

Für die vorliegende Arbeit wurden für beide Baumarten unterschiedliche Codierungen und somit unterschiedliche Hypothesen verwendet; dies ist aufgrund der unterschiedlichen Schattentoleranz von *A. araucana* und *N. pumilio* gerechtfertigt. Für die Schattenbaumart *A. araucana* wurde in erster Linie untersucht, ob die Bäume mit freien Kronen ein anderes Verhalten haben als diejenigen die nicht völlig frei stehen (Z1). Bei letzteren wurde überprüft ob sich bedrängte Individuen von überschirmten unterscheiden (Z2). Bezüglich der Behandlungsvarianten war es von Interesse zu untersuchen, ob die *A. araucana* Bäume auf die Eingriffe reagierten (Z3, Z5, Z7) und zweitens ob sich diese Reaktion zwischen den Versuchsflächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung unterscheidet (Z4, Z6, Z8).

Für *N. pumilio* waren die Hypothesen anders. Da diese Baumart lichtbedürftiger ist als die Konifere wurde in erster Linie untersucht, in wie weit sich die überschirmten Bäume anders verhalten als diejenigen die mehr Licht zur Verfügung haben (Z1). An zweiter Stelle wurde überprüft, ob sich die Bäume mit freien Kronen von denjenigen mit bedrängten Kronen

---

<sup>38</sup> Die Variablen der untersuchten Zusammenhänge (Kap. 3.431) sind intervallskalierte Merkmale, während die Baumklassen (s. Kap. 3.432) qualitative Variablen sind, die auf einem nominalskalierten Niveau liegen. Um beide Typen von Variablen gleichzeitig analysieren zu können muss der Anwendungsbereich der Regressionsrechnung, die nur intervallskalierte Variablen analysiert, erweitert werden. Das allgemeine lineare Modell (ALM) ist für solche Fälle der richtige Lösungsansatz. Die nominalskalierten Variablen werden in einer für die Regressionsanalyse geeigneten Form verschlüsselt. Hierzu werden künstliche Indikatorvariablen erzeugt, die alle Informationen der nominalskalierten Variablen in codierter Form enthalten (BORTZ, 1993).



Ausgehend von Gleichung 3 und den Codierungen der Indikatorvariablen (s. Tab. 13), ergeben sich die in Tabelle 15 wiedergegebenen Regressionsgleichungen für jede Baumklasse.

Baumart	Kronenfreiheit	Behandlung	Regressionsgleichungen		
<i>A.araucana</i>	1	K	$Y_i = (\beta_0 - 2\beta_2 + 2\beta_4)$	$+ X_i (\beta_1 + 2\beta_{10} + 2\beta_{12})$	$+ \varepsilon_i$
		M	$Y_i = (\beta_0 - 2\beta_2 - \beta_4 + \beta_5)$	$+ X_i (\beta_1 + 2\beta_{10} - \beta_{12} + \beta_{13})$	$+ \varepsilon_i$
		G	$Y_i = (\beta_0 - 2\beta_2 - \beta_4 - \beta_5)$	$+ X_i (\beta_1 + 2\beta_{10} - \beta_{12} - \beta_{13})$	$+ \varepsilon_i$
	2	K	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 - \beta_3 + 2\beta_6)$	$+ X_i (\beta_1 + \beta_{10} - \beta_{11} + 2\beta_{14})$	$+ \varepsilon_i$
		M	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 - \beta_3 - \beta_6 + \beta_7)$	$+ X_i (\beta_1 + \beta_{10} - \beta_{11} - \beta_{14} + \beta_{15})$	$+ \varepsilon_i$
		G	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 - \beta_3 - \beta_6 - \beta_7)$	$+ X_i (\beta_1 + \beta_{10} - \beta_{11} - \beta_{14} - \beta_{15})$	$+ \varepsilon_i$
	3	K	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 + \beta_3 + 2\beta_8)$	$+ X_i (\beta_1 + \beta_{10} + \beta_{11} + 2\beta_{16})$	$+ \varepsilon_i$
		M	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_8 + \beta_9)$	$+ X_i (\beta_1 + \beta_{10} + \beta_{11} - \beta_{16} + \beta_{17})$	$+ \varepsilon_i$
		G	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_8 - \beta_9)$	$+ X_i (\beta_1 + \beta_{10} + \beta_{11} - \beta_{16} - \beta_{17})$	$+ \varepsilon_i$
<i>N.pumilio</i>	1	K	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_8 - \beta_9)$	$+ X_i (\beta_1 + \beta_{10} + \beta_{11} - \beta_{16} - \beta_{17})$	$+ \varepsilon_i$
		M	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_8 + \beta_9)$	$+ X_i (\beta_1 + \beta_{10} + \beta_{11} - \beta_{16} + \beta_{17})$	$+ \varepsilon_i$
		G	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 + \beta_3 + 2\beta_8)$	$+ X_i (\beta_1 + \beta_{10} + \beta_{11} + 2\beta_{16})$	$+ \varepsilon_i$
	2	K	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 - \beta_3 - \beta_6 - \beta_7)$	$+ X_i (\beta_1 + \beta_{10} - \beta_{11} - \beta_{14} - \beta_{15})$	$+ \varepsilon_i$
		M	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 - \beta_3 - \beta_6 + \beta_7)$	$+ X_i (\beta_1 + \beta_{10} - \beta_{11} - \beta_{14} + \beta_{15})$	$+ \varepsilon_i$
		G	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 - \beta_3 + 2\beta_6)$	$+ X_i (\beta_1 + \beta_{10} - \beta_{11} + 2\beta_{14})$	$+ \varepsilon_i$
	3	K	$Y_i = (\beta_0 - 2\beta_2 - \beta_4 - \beta_5)$	$+ X_i (\beta_1 + 2\beta_{10} - \beta_{12} - \beta_{13})$	$+ \varepsilon_i$
		M	$Y_i = (\beta_0 - 2\beta_2 - \beta_4 + \beta_5)$	$+ X_i (\beta_1 + 2\beta_{10} - \beta_{12} + \beta_{13})$	$+ \varepsilon_i$
		G	$Y_i = (\beta_0 - 2\beta_2 + 2\beta_4)$	$+ X_i (\beta_1 + 2\beta_{10} + 2\beta_{12})$	$+ \varepsilon_i$

1 = Kronenfreiheit 1 (freie Krone)  
 2 = Kronenfreiheit 2 (bedrängte Krone)  
 3 = Kronenfreiheit 3 (überschirmte Krone)

K = Kontrolle  
 M = Mittlere Grundflächenhaltung  
 G = Geringe Grundflächenhaltung

Tab. 15: Regressionsgleichungen für *A.araucana* und *N.pumilio* für das Ausgangsmodell

#### 4. Transformationen

Nachdem das Regressionsmodell festgelegt war, wurde der Regressand gegenüber dem Regressor für die verschiedenen Baumklassen graphisch dargestellt. Dies war ein Hilfsmittel zur visuellen Entscheidung über die Art des Zusammenhangs bzw. über die Art der Transformation des Datenmaterials. Es wurden zunächst folgende linearisierenden Transformationen untersucht: Regressand und Regressor ohne Transformation (linearer Zusammenhang), Regressand logarithmiert (exponentieller Zusammenhang); Regressor logarithmiert (logarithmischer Zusammenhang) und Regressand und Regressor logarithmiert. Nach jeder Transformation wurden die Ausreißer entfernt und die Modellvoraussetzungen wieder überprüft. Zeigte eine Transformation gegenüber den anderen eine eindeutig höhere Kurvenanpassung, so wurde diese ausgewählt. Führten mehrere Transformationen gleichermaßen zu einer Verbesserung des linearen Zusammenhangs, dann wurde diejenige Transformation ausgewählt, die die höchste Anpassungsgüte<sup>40</sup> aufwies und die Voraussetzungen der linearen Regressionsanalyse nicht

<sup>40</sup> Für die Anpassungsgüte wurde das adjustierte Bestimmtheitsmaß verwendet. Das normale Bestimmtheitsmaß kann erhöht werden, indem einfach mehr Variablen im Regressionsmodell berücksichtigt werden. Dies wird mit der Adjustierung vermieden, denn der adjustierte R<sup>2</sup> tendiert zu einer Stabilisierung beim Erreichen einer angemessenen Anzahl von Variablen im Modell (FREUND und LITTELL, 1992).

verletzten (s. Punkt 6). Wurde bei einer der vorgenannten Transformationen die Modellannahme verletzt oder führten sie zu keiner guten Anpassung, wurden ein polynomischer Zusammenhang 2ten Grades getestet. Analog zur Gleichung 3, lautet das Regressionsmodell für polynomische Zusammenhänge 2ten Grades folgendermaßen:

$$\begin{aligned}
 Y_i = & \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \beta_3 Z1_i + \beta_4 Z2_i + \beta_5 Z3_i + \beta_6 Z4_i \\
 & + \beta_7 Z5_i + \beta_8 Z6_i + \beta_9 Z7_i + \beta_{10} Z8_i + \beta_{11} X_i Z1_i + \beta_{12} X_i Z2_i \\
 & + \beta_{13} X_i Z3_i + \beta_{14} X_i Z4_i + \beta_{15} X_i Z5_i + \beta_{16} X_i Z6_i + \beta_{17} X_i Z7_i \\
 & + \beta_{18} X_i Z8_i + \beta_{19} X_i^2 Z1_i + \beta_{20} X_i^2 Z2_i + \beta_{21} X_i^2 Z3_i + \beta_{22} X_i^2 Z4_i \\
 & + \beta_{23} X_i^2 Z5_i + \beta_{24} X_i^2 Z6_i + \beta_{25} X_i^2 Z7_i + \beta_{26} X_i^2 Z8_i + \varepsilon_i
 \end{aligned}$$

(Gl. 4)

### 5. Vergleich der neun Regressionsgleichungen

Nach der Festlegung der Art des Zusammenhangs erfolgte der Vergleich der Koeffizienten der Regressionsgleichungen der neun Baumklassen. Folgende Hypothesen wurden überprüft:<sup>41</sup>

#### Gleichheit der neun Regressionsgleichungen

$$H_0: \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9 = \beta_{10} = \beta_{11} = \beta_{12} = \beta_{13} = \beta_{14} = \beta_{15} = \beta_{16} = \beta_{17} = 0$$

Dabei wurde die multiple partielle F Statistik zur Testung herangezogen

F (Z1 , Z2 , Z3 , Z4 , Z5 , Z6 , Z7 , Z8 , X Z1 , X Z2 , X Z3 , X Z4 , X Z5 , X Z6 , X Z7 , X Z8 | X ), mit 16 und n1 + n2 + n3 + n4 + n5 + n6 + n7 + n8 + n9 - 16 Freiheitsgrade. Wurde H<sub>0</sub> nicht abgelehnt, wurde das Modell auf:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon_i$$

verkürzt.

#### Parallelität der neun Regressionsgleichungen

$$H_0: \beta_{10} = \beta_{11} = \beta_{12} = \beta_{13} = \beta_{14} = \beta_{15} = \beta_{16} = \beta_{17} = 0$$

Dabei wird die multiple partielle F Statistik zur Testung herangezogen

F (X Z1 , X Z2 , X Z3 , X Z4 , X Z5 , X Z6 , X Z7 , X Z8 | X , Z1 , Z2 , Z3 , Z4 , Z5 , Z6 , Z7 , Z8), mit 8 und n1 + n2 + n3 + n4 + n5 + n6 + n7 + n8 + n9 - 16 Freiheitsgrade. Wurde H<sub>0</sub> nicht abgelehnt, wurde das Modell auf:

$$\begin{aligned}
 Y = & \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 Z1_i + \beta_3 Z2_i + \beta_4 Z3_i + \beta_5 Z4_i + \beta_6 Z5_i + \beta_7 \\
 & Z6_i + \beta_8 Z7_i + \beta_9 Z8_i + \varepsilon_i
 \end{aligned}$$

verkürzt, wobei die folgenden Regressionsgleichungen für *A.araucana* und *N.pumilio* entstanden (s. Tab. 16).

<sup>41</sup> Die Parameter beziehen sich auf das Regressionsmodell der Gleichung 3.

Baumart	Kronenfreiheit	Behandlung	Regressionsgleichungen		
<i>A.araucana</i>	1	K	$Y_i = (\beta_0 - 2\beta_2 + 2\beta_4)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
		M	$Y_i = (\beta_0 - 2\beta_2 - \beta_4 + \beta_5)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
		G	$Y_i = (\beta_0 - 2\beta_2 - \beta_4 - \beta_5)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
	2	K	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 - \beta_3 + 2\beta_6)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
		M	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 - \beta_3 - \beta_6 + \beta_7)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
		G	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 - \beta_3 - \beta_6 - \beta_7)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
	3	K	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 + \beta_3 + 2\beta_8)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
		M	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_8 + \beta_9)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
		G	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_8 - \beta_9)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
<i>N.pumilio</i>	1	K	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_8 - \beta_9)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
		M	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_8 + \beta_9)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
		G	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 + \beta_3 + 2\beta_8)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
	2	K	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 - \beta_3 - \beta_6 - \beta_7)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
		M	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 - \beta_3 - \beta_6 + \beta_7)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
		G	$Y_i = (\beta_0 + \beta_2 - \beta_3 + 2\beta_6)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
	3	K	$Y_i = (\beta_0 - 2\beta_2 - \beta_4 - \beta_5)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
		M	$Y_i = (\beta_0 - 2\beta_2 - \beta_4 + \beta_5)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$
		G	$Y_i = (\beta_0 - 2\beta_2 + 2\beta_4)$	+	$\beta_1 X_i + \epsilon_i$

1 = Kronenfreiheit 1 (freie Krone)  
 2 = Kronenfreiheit 2 (bedrängte Krone)  
 3 = Kronenfreiheit 3 (überschirmte Krone)

K = Kontrolle  
 M = Mittlere Grundflächenhaltung  
 G = Geringe Grundflächenhaltung

Tab. 16: Regressionsgleichungen für *A.araucana* und *N.pumilio* bei Parallelität der entsprechenden neun Funktionen

*Gleichheit der Achsenabschnitte der neun Regressionsgleichungen*

$$H_0: \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9$$

Dabei wird die multiple partielle F Statistik zur Testung herangezogen

$F(Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8 | X, X Z_1, X Z_2, X Z_3, X Z_4, X Z_5, X Z_6, X Z_7, X Z_8)$ , mit 8 und  $n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6 + n_7 + n_8 + n_9 - 16$  Freiheitsgrade. Wurde  $H_0$  nicht abgelehnt, wurde das Modell auf:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_{10} X_i Z_{1i} + \beta_{11} X_i Z_{2i} + \beta_{12} X_i Z_{3i} + \beta_{13} X_i Z_{4i} + \beta_{14} X_i Z_{5i} + \beta_{15} X_i Z_{6i} + \beta_{16} X_i Z_{7i} + \beta_{17} X_i Z_{8i} + \epsilon_i$$

verkürzt, wobei die folgenden Regressionsgleichungen für *A.araucana* und *N.pumilio* entstanden (s. Tab. 17).

Baumart	Kronenfreiheit	Behandlung	Regressionsgleichungen		
<i>A.araucana</i>	1	K	$Y_i = + X_i (\beta_1 + 2\beta_{10} + 2\beta_{12}) + \epsilon_i$		
		M	$Y_i = + X_i (\beta_1 + 2\beta_{10} - \beta_{12} + \beta_{13}) + \epsilon_i$		
		G	$Y_i = + X_i (\beta_1 + 2\beta_{10} - \beta_{12} - \beta_{13}) + \epsilon_i$		
	2	K	$Y_i = + X_i (\beta_1 + \beta_{10} - \beta_{11} + 2\beta_{14}) + \epsilon_i$		
		M	$Y_i = + X_i (\beta_1 + \beta_{10} - \beta_{11} - \beta_{14} + \beta_{15}) + \epsilon_i$		
		G	$Y_i = + X_i (\beta_1 + \beta_{10} - \beta_{11} - \beta_{14} - \beta_{15}) + \epsilon_i$		
	3	K	$Y_i = + X_i (\beta_1 + \beta_{10} + \beta_{11} + 2\beta_{16}) + \epsilon_i$		
		M	$Y_i = + X_i (\beta_1 + \beta_{10} + \beta_{11} - \beta_{16} + \epsilon_i$		
		G	$Y_i = + X_i (\beta_1 + \beta_{10} + \beta_{11} - \beta_{16} - \beta_{17}) + \epsilon_i$		
<i>N.pumilio</i>	1	K	$Y_i = + X_i (\beta_1 + \beta_{10} + \beta_{11} - \beta_{16} - \beta_{17}) + \epsilon_i$		
		M	$Y_i = + X_i (\beta_1 + \beta_{10} + \beta_{11} - \beta_{16} + \epsilon_i$		
		G	$Y_i = + X_i (\beta_1 + \beta_{10} + \beta_{11} + 2\beta_{16}) + \epsilon_i$		
	2	K	$Y_i = + X_i (\beta_1 + \beta_{10} - \beta_{11} - \beta_{14} - \beta_{15}) + \epsilon_i$		
		M	$Y_i = + X_i (\beta_1 + \beta_{10} - \beta_{11} - \beta_{14} + \beta_{15}) + \epsilon_i$		
		G	$Y_i = + X_i (\beta_1 + \beta_{10} - \beta_{11} + 2\beta_{14}) + \epsilon_i$		
	3	K	$Y_i = + X_i (\beta_1 + 2\beta_{10} - \beta_{12} - \beta_{13}) + \epsilon_i$		
		M	$Y_i = + X_i (\beta_1 + 2\beta_{10} - \beta_{12} + \beta_{13}) + \epsilon_i$		
		G	$Y_i = + X_i (\beta_1 + 2\beta_{10} + 2\beta_{12}) + \epsilon_i$		

1 = Kronenfreiheit 1 (freie Krone)  
 2 = Kronenfreiheit 2 (bedrängte Krone)  
 3 = Kronenfreiheit 3 (überschirmte Krone)

K = Kontrolle  
 M = Mittlere Grundflächenhaltung  
 G = Geringe Grundflächenhaltung

Tab. 17: Regressionsgleichungen für *A.araucana* und *N.pumilio* bei Gleichheit der Achsenabschnitte und keiner Parallelität der entsprechenden neun Funktionen

Bei der Ablehnung der vorherigen Hypothesen, wurde weiter geprüft, welche Baumklassen sich bezüglich Steigung, Achsenabschnitt oder beidem sich nicht voneinander unterschieden. Entsprechend der Ergebnisse konnte die Anzahl der Regressionsgleichungen reduziert werden.

### 6. Residualanalyse

Die resultierenden Regressionsgleichungen waren nur gültig, wenn keine grobe Verletzung des linearen Modells vorlag. Dies wurde mittels einer Residualanalyse überprüft (vgl. DRAPER und SMITH, 1981; HARTUNG und ELPET, 1986; CANAVOS, 1997). Ausreißer und einflussreiche Beobachtungen wurden herausgenommen und die Prämissen des Regressionsansatzes wurden wieder untersucht um festzustellen, dass keine grobe Abweichung von der Modellvoraussetzung vorlag. Diesbezüglich wurde die Homoskedastizität und die Normalität der Daten getestet, wofür die studentisierten Residuen berechnet und gegen die Schätzwerte der Regressanden und der Regressoren graphisch dargestellt wurden. War die Streubreite der Residuen homogen, d.h. Bandstreifen konstanter Breite und horizontalem Verlauf, deutete das auf homogene Varianz der Residuen und Unabhängigkeit vom Regressor hin. Waren die Daten auch normalverteilt, dann durften nicht mehr als 5 % außerhalb des Wertebereiches von 1,96 und -1,96 liegen. Die Normalität wurde auch anhand des Normal Probability Plot untersucht. Eine Abweichung von den erwähnten Voraussetzungen deuteten auf eine Verletzung der Modellannahme hin (vgl. EL KATEB, 1991), so dass das Modell verworfen wurde. In der Folge wurde weiter nach der richtigen Art der Transformation getestet und die Analysen noch einmal durchgeführt. War jedoch keine Verletzung vorhanden, wurden noch einmal die Hypothesen unter Punkt 5 geprüft..

### 7. Darstellung der Regressionskurven

Die endgültigen Regressionskurven wurden ohne Transformation der Achsen graphisch dargestellt und dementsprechend die Ergebnisse interpretiert.

### 3.45 Horizontale Verteilungsmuster der Verjüngung

Die horizontalen Verteilungsmuster der *A. araucana* und *N. pumilio* Verjüngung wurden mit Hilfe der Poisson-Verteilungs-Methode und der Varianz/Mittelwert-Quotient-Methode analysiert. Diese beiden Verfahren haben sich im Bereich der Stichprobeflächenmethoden als die geeignetsten für die Verteilungsanalyse bewährt (DONOSO, 1993).

Die Poisson-Verteilungs-Methode beruht darauf, dass die bei Stichprobenaufnahmen in Verjüngungsflächen aufgenommenen Pflanzenzahlen (Frequenzen) einer Poisson-Verteilung folgen, wenn die Verjüngungspflanzen auf der Aufnahme­fläche zufällig verteilt sind (KERSHAW, 1973; WHITTAKER, 1975; CANAVOS, 1997). Hierfür werden die festgestellten Frequenzen der Verjüngung mit den erwarteten Frequenzen für den Fall einer Poisson-Verteilung verglichen. Die Signifikanz der Abweichung der beobachteten Daten von den Erwartungswerten wird über dem  $\chi^2$  - Test festgestellt.<sup>42</sup> Die mathematische Serie der Poisson-Verteilung ist folgende:

$$f = e^{-m}, me^{-m}, m^2 e^{-m} / 2!, m^3 e^{-m} / 3!, m^4 e^{-m} / 4!, \dots$$

Wobei:

f = relative Parzellenfrequenz, die 0; 1; 2; 3;... Pflanzen enthält

m = Durchschnitt der Pflanzenanzahl pro Parzelle

e = Basis des natürlichen Logarithmus

! = Fakultätsindex

Folgen die erhobenen Pflanzenzahlen nicht einer Poisson-Verteilung, dann wird mit Hilfe der Varianz/Mittelwert Quotient Methode festgestellt, ob das Verteilungsmuster regelmäßig oder geklumpt ist (KERSHAW, 1973). Bei Poisson-Verteilungen sind die Varianz und der Mittelwert gleich groß, was bedeutet, dass der Klumpungsindex den Wert 1 hat. Ist der gefundene Wert signifikant größer als 1, so kann auf eine geklump­te Verteilung geschlossen werden, während bei Werten unter 1 ein regelmäßiges Verteilungsmuster vorliegt.

Für die Verjüngungsverteilungsanalyse wurden alle 225 Verjüngungsstichproben pro Versuchsfläche verwendet (s. Kap. 3.33). Die Analysen wurden getrennt für jede Baumart und Höhenklasse pro Versuchsfläche durchgeführt. Die Vergleiche der mit den Klumpungsindizes gebildeten Häufigkeitsverteilungen, wurden mit Hilfe des  $\chi^2$  - Test realisiert.

---

<sup>42</sup> Bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$ .

### 3.46 Einfluss von *Chusquea argentina* auf die Verjüngung

Der Einfluss von *Chusquea argentina* auf die Verjüngung von *A.araucana* und *N.pumilio* wurde mittels des  $\chi^2$  - Anpassungstests untersucht. Hierfür wurde bei jeder Verjüngungsstichprobe die Anwesenheit von *A.araucana*, *N.pumilio* und *Ch.argentina* berücksichtigt. Diese Ergebnisse wurden in einer 2 \* 2 Kontingenztabelle (s. Tab. 18) angeordnet und dann der  $\chi^2$  - Wert, mit folgender Formel, berechnet (HASELOFF und HOFFMANN, 1970; SACHS, 1974; WEBER, 1986; KÖHLER *et al.*, 1992; CANAVOS, 1997):

$$\chi^2 - \text{Wert} = \frac{(a \cdot d - b \cdot c)^2 \cdot n}{(a + b) \cdot (c + d) \cdot (a + c) \cdot (b + d)}$$

		<i>Ch.argentina</i>		
		Anwesend	Abwesend	
<i>A.araucana</i> / <i>N.pumilio</i>	Anwesend	a	b	a+b
	Abwesend	c	d	c+d
		a+c	b+d	n

Tab. 18: 2 \* 2 Kontingenztabelle für die Berechnung des  $\chi^2$  - Testes, bei der Bestimmung des Einflusses von *Ch.argentina* auf die *A.araucana* und *N.pumilio* Verjüngung

## 4 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt folgendermaßen:

- In Kapitel 4.1 werden die **Urwaldstrukturen** der untersuchten *A. araucana* Wälder analysiert. Dabei wird zum Einen geprüft, ob die ein Hektar großen Versuchsflächen zur Erhöhung der Stichprobenzahl in kleinere Teilflächen zerlegt werden können, bzw. die Minimumaufnahmefläche verkleinert werden kann. Zum anderen wird analysiert ob die neun Versuchsflächen zu Versuchsbeginn einheitlich genug waren, um die Einflüsse der Behandlungen korrekt interpretieren zu können.
- Die Auswirkungen der **waldbaulichen Behandlungen** auf die *A. araucana* Urwälder werden in Kapitel 4.2 wiedergegeben, wobei zuerst die Baumschicht (s. Kap. 4.21) untersucht wird und anschließend auf die Verjüngungsschicht eingegangen wird (s. Kap. 4.22). Es soll schon an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die Baumschicht intensiver bearbeitet wurde als die Verjüngungsschicht. Für die Baumschicht erfolgt daher sowohl eine Analyse auf Bestandesebene (s. Kap. 4.211) als auch eine Analyse von Einzelbaumparametern (s. Kap. 4.212).

### 4.1 Analysen zur Struktur des Urwaldes

In diesem Kapitel werden zuerst die Ergebnisse bezüglich des repräsentativen Minimumareals für jede Versuchsfläche wiedergegeben und danach werden die Resultate zur Einheitlichkeit zwischen den Versuchsflächen dargestellt. Hierzu wurden die Durchmesserstrukturen und die horizontalen Baumverteilungsmuster innerhalb jeder Versuchsfläche vor der Anlage der Behandlungen untersucht.

#### 4.11 Minimumareal jeder Versuchsfläche

Wälder werden aus arbeitstechnischen Gründen zumeist nicht auf ganzen Flächen, sondern stichprobenweise auf Teilflächen aufgenommen. Diesbezüglich ist eine große Anzahl von Stichproben empfehlenswert, da bei den statistischen Analysen der geschätzte Wert dem wahren Wert näher kommt, je mehr Messwerte zugrunde liegen. In der vorliegenden Arbeit wurden jedoch nur neun Versuchsflächen untersucht, die aber mit einem Hektar außerordentlich groß sind. Um festzustellen, ob die Versuchsflächen zur Erhöhung der Stichprobenzahl in kleinere Teilflächen zerlegt werden können, wurde für jede Fläche das Minimumareal bestimmt, das die Eigenschaften des Urwaldes hinsichtlich der Durchmesserstruktur noch repräsentiert (s. Kap. 3.411). In Tabelle 19 sind die Ergebnisse der Vergleiche zwischen den verschiedenen großen Teilflächen mit den jeweils größeren Flächen innerhalb einer Versuchsfläche wiedergegeben.

Wie aus Tabelle 19 zu sehen ist, wurde bei den neun Versuchsflächen (= 100 %) festgestellt, dass sich die Durchmesserstrukturen der 625 m<sup>2</sup> und 1.250 m<sup>2</sup> großen Flächen von den jeweils größeren Flächen höchst signifikant unterscheiden. Das bedeutet, dass solche Stichprobengrößen nicht ausreichen um die Durchmesserstruktur des Bestandes repräsentativ wiederzugeben. Bei den Strukturvergleichen der 2.500 m<sup>2</sup> großen Flächen mit den 5.000 m<sup>2</sup> und 10.000 m<sup>2</sup> Flächen

ergaben sich ebenfalls signifikante Unterschiede, wobei bei zwei Versuchsflächen (K-II, M-II) bzw. einer Versuchsfläche (M-II) das Signifikanzniveau niedriger war.

Bei den Vergleichen der 5.000 m<sup>2</sup> großen Flächen mit den entsprechenden ein Hektar großen Flächen, konnte bei zwei Versuchsflächen (K-II, M-II) die Nullhypothese der Gleichheit der Durchmesserstrukturen nicht abgelehnt werden, d.h., dass auf diesen beiden Flächen ein halber Hektar als Minimumareal ausreichend ist. Da jedoch bei sieben Versuchsflächen dies nicht der Fall ist, wurde für alle weiteren Untersuchungen die Flächengröße von einem Hektar zugrunde gelegt. Für diese letzten Flächen kann allerdings anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht gesagt werden, ob mit der Flächengröße von einem Hektar das repräsentative Minimumareal erreicht ist. Hierzu müsste man die ein Hektar großen Versuchsflächen mit Flächen die über einem Hektar groß sind vergleichen.

Flächengröße (m <sup>2</sup> )	Signifikanzniveau	2			
		1.250	2.500	5.000	10.000
625	**	0 %	0 %	0 %	0 %
	*	0 %	0 %	0 %	0 %
	n.s.	0 %	0 %	0 %	0 %
1.250	**	-	0 %	0 %	0 %
	*	-	0 %	0 %	0 %
	n.s.	-	0 %	0 %	0 %
2.500	**	-	-	22 %	11 %
	*	-	-	0 %	0 %
	n.s.	-	-	0 %	0 %
5.000	**	-	-	-	11 %
	*	-	-	-	0 %
	n.s.	-	-	-	22 %

Signifikanzniveau : \*\*\* = höchst signifikant - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,001  
 \*\* = hoch signifikant - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01  
 \* = signifikant - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05  
 n.s. = nicht signifikant

Tab. 19: Prozentanteil der Vergleiche, für die sich beim Test auf Unterschiede der Durchmesserstruktur von verschieden großen Flächen *innerhalb* jeder Versuchsfläche, unterschiedliche Signifikanzniveaus ergaben

#### 4.12 Einheitlichkeit zwischen den Versuchsflächen

Im vorherigen Kapitel wurde festgestellt, dass für die repräsentative Abbildung der Waldstruktur *innerhalb* einer Versuchsfläche in einigen Fällen ein Areal von einem halben Hektar nötig ist. In den meisten Fällen ist jedoch mindestens ein Hektar notwendig. Letzteres bedeutet jedoch nicht, dass der Bestandaufbau der neun Versuchsflächen gleich war, da die *A. araucana* Urwälder trotz der Zusammensetzung aus den gleichen Mischbaumarten, sehr unterschiedliche Waldstrukturen aufweisen können. Aus diesem Grund soll in diesem Kapitel überprüft werden, ob sich die Urwaldstruktur *zwischen* den neun Versuchsflächen unterschied. Die Waldstrukturen der Flächen wurden anhand der Durchmesserstruktur (s. Kap. 4.121) und der horizontalen Baumverteilungsmuster (s. Kap. 4.122) untersucht.

#### 4.121 Durchmesserstruktur

In Tabelle 20 sind für die getesteten Flächengrößen die Ergebnisse der Vergleiche zwischen den Versuchsflächen wiedergegeben. Daraus ist zu entnehmen, dass die signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsflächen mit zunehmender Flächengröße abnehmen. Bei den Strukturvergleichen zwischen den 625 m<sup>2</sup> großen Flächen wird die Hypothese auf Gleichheit der Stammzahlverteilung in 97 % der Fälle mit höchster Signifikanz abgelehnt. Nur bei 62 Vergleichen (= 0,6 %) ist das Signifikanzniveau der  $\chi^2$ -Teste nicht signifikant.

Dies ändert sich bei den Vergleichen von Flächen mit zunehmender Größe. Bei den Durchmesserstrukturvergleichen zwischen den 2.500 m<sup>2</sup> großen Flächen ist die Nullhypothese in 7,6 % der Fälle nicht abzulehnen und bei den 5.000 m<sup>2</sup> großen Flächen liegt der Anteil bei 24,8 % (s. Tab. 20).

Signifikanzniveau	Flächengröße (m <sup>2</sup> )			
	625	2.500	5.000	10.000
***	97,97 %	73,65 %	54,25 %	13,89 %
**	0,81 %	14,76 %	7,19 %	5,56 %
*	0,62 %	3,97 %	13,73 %	2,78 %
n.s.	0,60 %	7,62 %	24,84 %	77,78 %

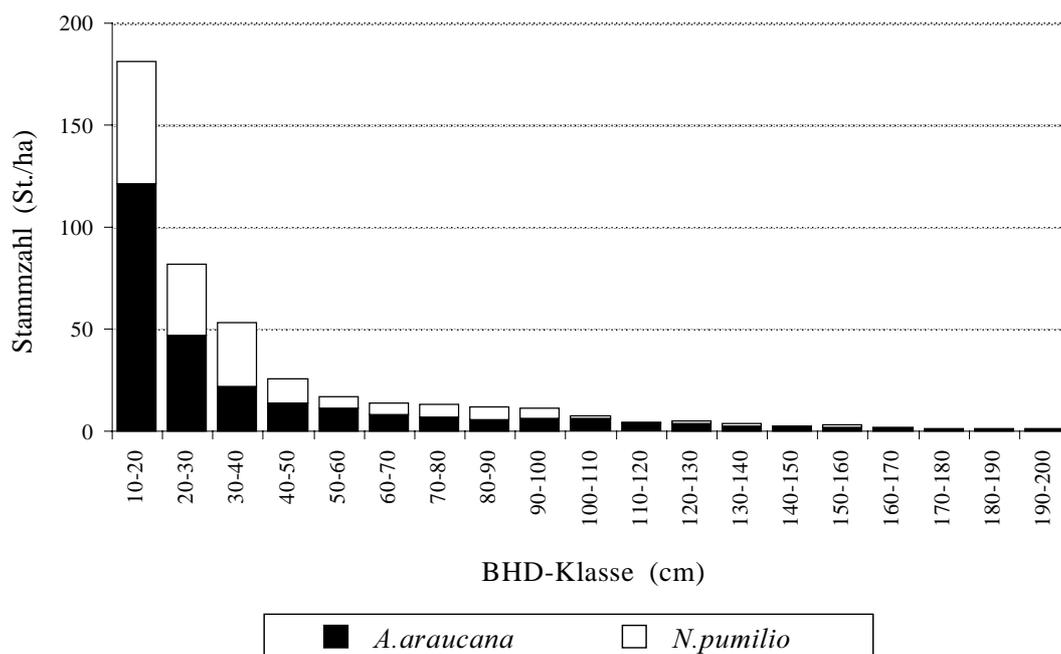
Signifikanzniveau :  
 \*\*\* = höchst signifikant - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,001  
 \*\* = hoch signifikant - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01  
 \* = signifikant - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05  
 n.s. = nicht signifikant

**Tab. 20:** Prozentanteil der Vergleiche, für die sich beim Test auf Unterschiede der Durchmesserstruktur von verschiedenen großen Flächen *zwischen* den neun Versuchsflächen, unterschiedliche Signifikanzniveaus ergaben

Die Strukturvergleiche zwischen den ein Hektar großen Versuchsflächen weisen eine höhere Homogenität der Stammzahlverteilungen auf. In diesem Fall waren 28 von 36  $\chi^2$ -Tests (= 78 %) nicht signifikant, was bedeutet, dass die Hypothese auf Gleichheit der Waldstruktur in diesen Fällen nicht abgelehnt werden kann.

Wegen der Tendenz dieser Ergebnisse ist zu vermuten, dass bei Strukturvergleichen von Flächen über einem Hektar Größe, diese Hypothese überwiegend nicht abzulehnen wäre. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Versuchsflächen sind in ihrer Durchmesserstruktur zwar nicht ganz homogen, aber in 80 % der Fälle sind keine Unterschiede nachzuweisen. Aus diesem Grund ist es zulässig, die Ausgangssituation der Durchmesserstruktur mit einer einzigen Darstellung zu beschreiben und auf eine Einzeldarstellung der neun Versuchsflächen zu verzichten.

In Abbildung 9 ist die durchschnittliche Durchmesserstruktur der neun Versuchsflächen vor der Anlage der Behandlungen dargestellt. Wie aus dieser Abbildung 9 zu entnehmen ist, weist die Durchmesserstruktur dieses Urwaldes eine deutliche Plenterverteilung auf, wobei Bäume bis zu 200 cm BHD vorhanden sind. Es wird an dieser Stelle schon darauf hingewiesen, dass das Vorkommen einer solchen Durchmesserstruktur im Urwald darauf hindeuten könnte, dass der Wald sich im Fließgleichgewicht befindet (s. Kap. 5.2).



**Abb. 9:** Durchschnittliche Stammzahlverteilung auf Durchmesserklassen der neun Versuchsflächen vor der Anlage der Behandlungen

#### 4.122 Horizontale Baumverteilungsmuster

Die Karten der Versuchsflächen, in denen die Stammfußkoordinaten der Bäume ersichtlich sind, ermöglichen einen ersten Einblick in die horizontalen Baumverteilungsmuster von *A. araucana* und *N. pumilio* in den untersuchten Urwaldbeständen. Für die Beurteilung der horizontalen Verteilungsmuster wurde das Verfahren von MORISITA (1959) verwendet (s. Kap. 3.412.2). Diese Methode ist allerdings recht arbeitsintensiv, da sie eine Kartierung oder zumindest eine Zuordnung der Bäume zu den kleinsten verwendeten Quadratflächen voraussetzt.

In Tabelle 21 sind für die getesteten BHD-Klassen die Ergebnisse der Vergleiche der horizontalen Baumverteilungsindizes zwischen den Versuchsflächen wiedergegeben. Daraus ist zu entnehmen, dass die Vergleiche zwischen den Versuchsflächen in der überwiegenden Anzahl der Fälle keine signifikanten Unterschiede ergaben. Die Hypothese der Gleichheit der Morisita-Indizes war bei *A. araucana* in 97 % und bei *N. pumilio* in 92 % nicht abzulehnen (s. Tab. 21). Die geringsten Anteile mit nicht signifikantem Niveau der  $\chi^2$ -Tests, ergaben sich bei *A. araucana* und *N. pumilio* bei den Vergleichen zwischen den BHD-Klassen 10-50 cm. Im Gegensatz dazu wurde bei den Vergleichen zwischen den BHD-Klassen 100-200 cm die Gleichheit der *A. araucana* Verteilungen nur in zwei Fällen abgelehnt (1 Vergleich entspricht 2,8 %). Die wenigen existierenden *N. pumilio* Bäume mit BHD Dimensionen über 100 cm, ergaben keine interpretierbaren Ergebnisse.

Baumart	Signifikanzniveau	BHD-Klassen (cm)			
		10-50	50-100	100-200	Gesamt
<i>A. araucana</i>	***	2,78 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
	**	2,78 %	5,56 %	2,78 %	2,78 %
	*	5,56 %	2,78 %	2,78 %	0,00 %
	n.s.	88,89 %	91,67 %	94,44 %	97,22 %
<i>N. pumilio</i>	***	5,56 %	2,78 %	-	2,78 %
	**	2,78 %	5,56 %	-	2,78 %
	*	8,33 %	5,56 %	-	2,78 %
	n.s.	83,33 %	86,11 %	-	91,67 %

Signifikanzniveau :   \*\*\* = höchst signifikant   - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,001  
                              \*\* = hoch signifikant       - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01  
                              \* = signifikant               - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05  
                              n.s. = nicht signifikant

Tab. 21: Prozentanteil der Vergleiche, für die sich beim Test auf Unterschiede der horizontalen Baumverteilungsindizes zwischen den neun Versuchsflächen, unterschiedliche Signifikanzniveaus ergaben

Die Kurven des Morisita-Indizes für die entsprechenden BHD-Klassen von *A. araucana* und *N. pumilio* werden in Abbildung 10 dargestellt. Aus dieser Abbildung ist zu entnehmen, dass die Verteilungen mit zunehmender Flächengröße zufälliger werden. Die horizontale Linie bei dem Indexwert 1 deutet auf eine hypothetische völlig zufällige Verteilung hin.

Auffallend in Abbildung 10 ist, dass die *A. araucana* Individuen der BHD-Klassen 10-50 cm sogar bei den Analysen der 2.500 m<sup>2</sup> großen Flächen noch geklumpt auftreten, was in erster Linie auf eine sehr stark gruppierte Etablierung zurückzuführen ist.

Die *A. araucana* Bäume der BHD-Klasse 50-100 cm treten ebenfalls noch geklumpt auf, wenn auch nicht mehr so deutlich wie die Individuen unter BHD 50 cm. Ab einer Flächengröße von 1.111 m<sup>2</sup> ist sogar eine zufällige Verteilung nachzuweisen. Dies deutet auf Konkurrenzverhältnisse hin, bei denen sich nur noch wenige Individuen durchsetzen können. In Bezug auf die dicksten *A. araucana* Bäume (BHD > 100 cm) ist eine gleichmäßige Verteilung bis zu einer Flächengröße von 1.111 m<sup>2</sup> festzustellen. Diese Verteilung lässt den Schluss zu, dass die größten Bäume andere Individuen unterdrückt haben und den zur Verfügung stehenden Raum alleine ausnützen, wozu sie einen Mindestabstand voneinander einhalten.

Die geklumpfte Verteilung auf bis zu 400 m<sup>2</sup> großen Flächen der *N. pumilio* Bäume mit BHD unter 50 cm, deutet auf eine Lückenetablierung innerhalb des Waldes hin. Diese Laubbaumart hat in den *A. araucana* Wäldern nur durch eine zahlreiche und aggressive Besiedlung der freien Flächen eine Durchsetzungschance gegenüber *A. araucana*. Die etablierten *N. pumilio* Individuen üben ihrerseits eine starke Konkurrenz aus, weswegen sich nur wenige Bäume durchsetzen können. Dies ist an der fast zufälligen Verteilung der größeren Individuen abzulesen, was im übrigen auch auf eine zufällige Lückenbildung innerhalb des Waldes hindeutet.

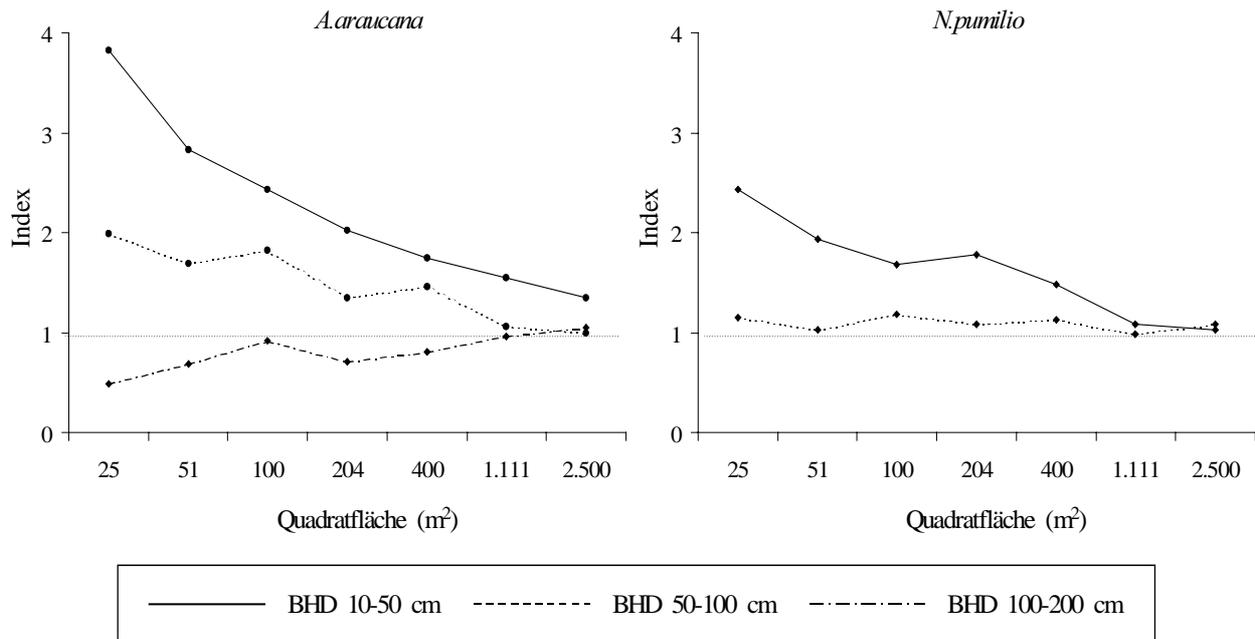


Abb. 10: Kurven des durchschnittlichen Morisita Indexes für die BHD-Klassen 10-50 cm, 50-100 cm und 100-200 cm für *A. araucana* und *N. pumilio*

## 4.2 Auswirkungen der waldbaulichen Behandlungen

Der Einfluss der waldbaulichen Behandlungen auf den *A. araucana* Urwald wurde anhand von Reaktionen und Zusammenhängen in der Baumschicht (s. Kap. 4.21) sowie auch in der Verjüngungsschicht (s. Kap. 4.22) untersucht.

### 4.21 Baumschicht

In diesem Kapitel werden die Reaktionen der Baumschicht auf die Eingriffe zunächst in deskriptiver Weise wiedergegeben (s. Kap. 4.211). Danach werden die Resultate der analytischen Untersuchungen auf der Grundlage von Baummerkmalen mitgeteilt (s. Kap. 4.212). Zum Zweck der Vergleichbarkeit mit den Daten von 1982 wurde bei der Auswertung der Daten von 1998 die gleiche Kluppschwelle von 10 cm BHD zu Grunde gelegt.

#### 4.211 Analyse auf Bestandesebene

Wie in den vorangegangenen Kapiteln festgestellt, unterschieden sich die verschiedenen Versuchsflächen vor der Anlage der Behandlungen nicht hinsichtlich Standort und Waldstruktur. In Kapitel 3.442 wurde auch gezeigt, dass aus statistischer Sicht die Versuchsflächen innerhalb einer Behandlungsvariante als Wiederholung betrachtet werden können. Deshalb werden in diesem Kapitel die Resultate nicht für die einzelnen Versuchsflächen gruppiert, sondern nach den entsprechenden Behandlungsvarianten.

4.211.1 Stammzahl

Vor der Anlage der Behandlungen lag die Stammzahl auf den Versuchsflächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung bei 477 und 467 Bäumen pro Hektar (s. Tab. 22 und Anhang 1). Wie schon erwähnt, wurden die waldbauliche Eingriffe vorwiegend in den höheren BHD-Klassen vorgenommen, was bedeutet, dass die angestrebte Grundflächenreduzierung erreicht werden konnte ohne allzu viele Bäume zu entnehmen. Trotz der Eingriffe war nach der Anlage der Behandlungen die Stammzahl auf den Versuchsflächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung 8,7 bzw. 5,6 % höher als auf den Kontrollflächen.

Behandlung		Stammzahl (St./ha)		
		<i>A.araucana</i>	<i>N.pumilio</i>	Gesamt
Kontrolle	Stammzahl 1982	193	184	377
	Stammzahl 1998	197	150	347
	Stammzahlveränderung 1982-1998	4	-34	-30
	+ Abgestorbene Bäume 1982-1998	8	36	44
	= Einwuchs 1982-1998	12	2	14
Mittlere Grundflächenhaltung	Stammzahl vor der Behandlung	305	172	477
	- Entnahme	26	41	67
	= Stammzahl nach der Behandlung - 1982	279	131	410
	Stammzahl 1998	286	113	399
	Stammzahlveränderung 1982-1998	7	-18	-11
	+ Abgestorbene Bäume 1982-1998	11	33	44
= Einwuchs 1982-1998	18	15	33	
Geringe Grundflächenhaltung	Stammzahl vor der Behandlung	305	162	467
	- Entnahme	60	9	69
	= Stammzahl nach der Behandlung - 1982	245	153	398
	Stammzahl 1998	273	223	496
	Stammzahlveränderung 1982-1998	28	70	98
	+ Abgestorbene Bäume 1982-1998	11	31	42
= Einwuchs 1982-1998	39	101	140	

Tab. 22: Stammzahlveränderung von *A.araucana* und *N.pumilio* auf den Versuchsflächen

Während der Periode 1982-1998 hat sich die Stammzahl auf allen Versuchsflächen verändert. Im Jahr 1998 waren auf den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung 8,0 bzw. 2,7 % weniger Bäume pro Hektar vorhanden als 1982. Auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung ist dagegen die Gesamtstammzahl um 24,6 % gestiegen. Das bedeutet, dass auf den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung im allgemeinen mehr Bäume abgestorben als eingewachsen sind und auf den Versuchsflächen mit geringer Grundflächenhaltung dies umgekehrt war (s. Tab. 22).

Betrachtet man die Baumarten getrennt, kann man feststellen, dass die Stammzahl von *A.araucana* in der Periode 1982-1998 bei allen drei Behandlungsvarianten angestiegen ist. Allerdings ist auf den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung die Differenz zwischen abgegangenen und eingewachsenen *A.araucana* Individuen nur gering. 1998 sind auf

diesen Flächen 2,1 bzw. 2,5 % mehr Bäume vorhanden. Auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung hat dagegen die Stammzahl um 11,5 % zugenommen hat (s. Tab. 22).

Hinsichtlich der Veränderung der Gesamtstammzahl von *N.pumilio* ist festzustellen, dass 1998 auf den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung 18,5 bzw. 13,7 % weniger Individuen vorhanden sind als 1982. Auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung ist dies anders; hier ist die Stammzahl von *N.pumilio* Bäumen um 45,8 % gestiegen (s. Tab. 22).

Betrachtet man nur die Abgänge in der Periode 1982-1998 wird festgestellt, dass sie bei den drei Behandlungsvarianten sehr ähnlich waren; 4 % bei *A.araucana* und zwischen 20 und 25 % bei *N.pumilio* (s. Tab. 22). Beim Einwuchs<sup>43</sup> sind die Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten wesentlich ausgeprägter.

Auf den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung haben 12 bzw. 18 *A.araucana* Bäume pro Hektar die Kluppschwelle von 10 cm überschritten, während es auf den Versuchsflächen mit geringer Grundflächenhaltung 39 St./ha waren. Dies entspricht bezogen auf die Ausgangsstammzahl im Jahr 1982, 6,0 % des Einwuchses auf den Kontrollflächen, 6,5 % auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung und 16,0 % auf denen mit geringer Grundflächenhaltung. Bei *N.pumilio* sind die Einwuchsdifferenzen sogar größer. Auf den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung sind drei bzw. 15 Bäume eingewachsen, während auf den Versuchsflächen mit geringer Grundflächenhaltung 101 *N.pumilio* Individuen pro Hektar die Kluppschwelle von 10 cm überschritten haben. Dies entspricht 1,4 bzw. 11,5 und 66,0 % der Ausgangsstammzahl im Jahr 1982 (s. Tab. 22).

In Abbildung 11 sind die Stammzahlverteilungen der drei Behandlungsvarianten für 1982 und 1998 wiedergegeben, wobei die Durchmesserverteilungen des Jahres 1982 den Stand nach der Anlage der waldbaulichen Maßnahmen wiedergeben. Wie aus Abbildung 11 zu entnehmen ist, sind nach den Eingriffen immer noch die plenterartigen Durchmesserstrukturen auf den Versuchsflächen zu erkennen (vgl. Abb. 9 und Abb. 11). Andeutungsweise ist in Abbildung 11 auch zu erkennen, dass nach der Anlage der Maßnahmen die Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung nicht mehr ganz so starkholzreich sind wie die Kontrollflächen, weil wie schon erwähnt, auf den Flächen mit Eingriffen hauptsächlich dicke Bäume entnommen wurden.

Auf den ersten Blick scheinen sich die Plenterverteilungen von 1982 und 1998 nicht zu unterscheiden; eine Veränderung in diesem Zeitraum scheint nicht stattgefunden zu haben (s. Abb. 11). Erst bei einer genaueren Betrachtung der Unterschiede zwischen 1982 und 1998, wie sie in Abbildung 12 dargestellt sind, zeigen sich Entwicklungstendenzen. Während auf den

---

<sup>43</sup> 1998 wurden auch die Bäume zwischen BHD 5 und 10 cm aufgenommen. In Bezug auf diese Bäume kann jedoch von Einwuchs nicht die Rede sein, denn sie wurden 1982 nicht aufgenommen. Die Stammzahldifferenz dieser Individuen ist jedoch zwischen den Behandlungsvarianten in 1998 sehr groß. Auf den Kontrollflächen sind 79 St./ha *A.araucana* und 62 St./ha *N.pumilio* Bäume zwischen BHD 5 und 10 cm vorhanden, auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung 125 St./ha *A.araucana* und 98 St./ha *N.pumilio* Bäume und auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung sind es schon 184 St./ha *A.araucana* und 283 St./ha *N.pumilio* Bäume die einen BHD zwischen 5 und 10 cm aufweisen.

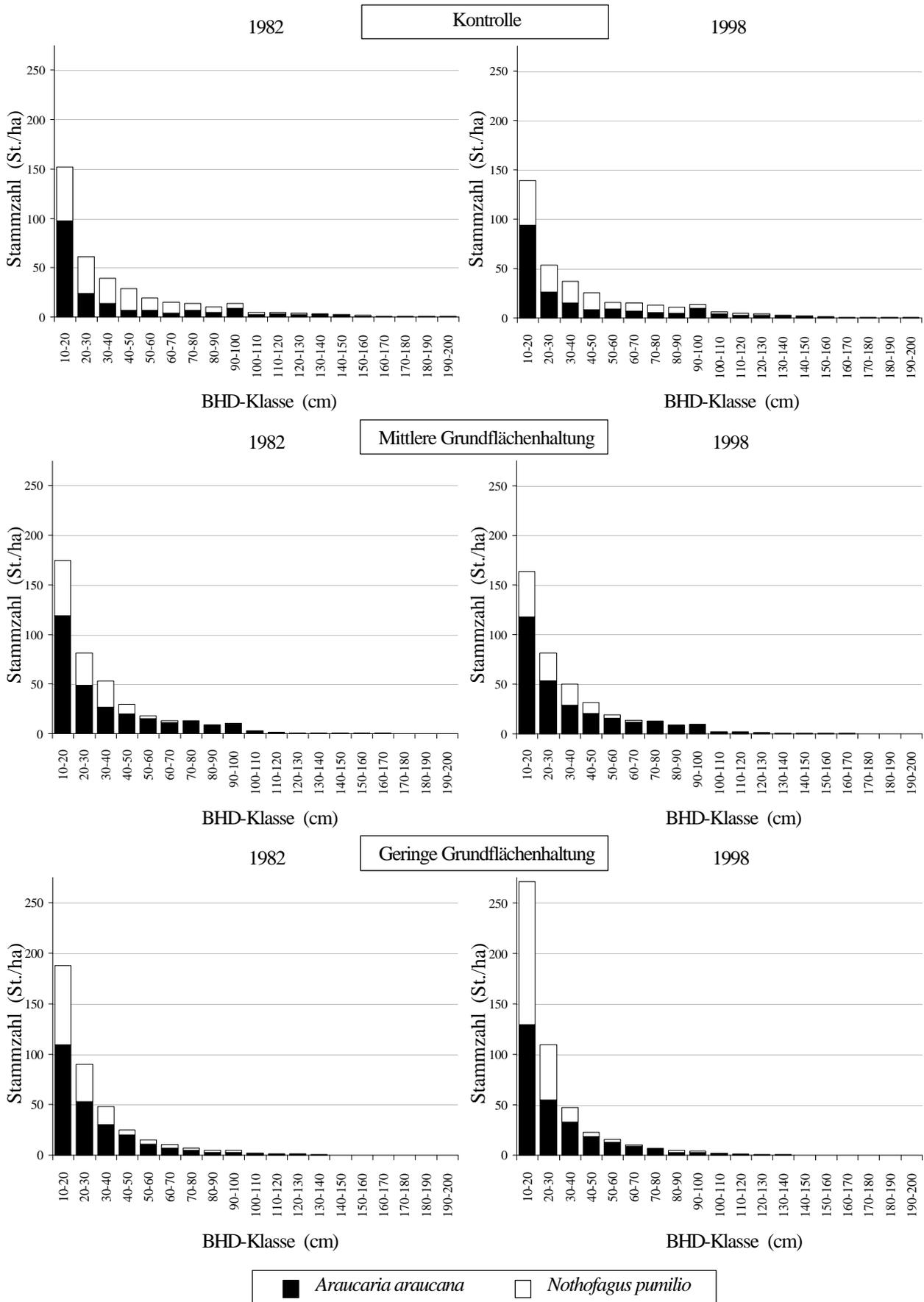


Abb. 11: Stammzahlverteilungen auf Durchmesserklassen in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung, nach der Behandlung 1982 und im Jahr 1998

Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung v.a. *N.pumilio* Bäume in den unteren BHD-Stufe ausgefallen sind, sind auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung sehr viele Bäume in den unteren BHD-Klassen hinzugekommen. Auf den letztgenannten Flächen enthält die niedrigste BHD-Klasse 1998 63 St./ha von *N.pumilio* und 17 St./ha von *A.araucana* mehr als 1982. Gleichzeitig sind aus dieser Stufe in der Beobachtungsperiode 18 St./ha *N.pumilio* in die nächsthöhere Stufe eingewachsen. In den größeren BHD-Klassen sind hauptsächlich *N.pumilio* Bäume ausgeschieden (s. Abb. 12). Trotz der starken Stammzahlveränderungen in den kleineren BHD-Klassen auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung, ist 1998 noch immer ein Plentergefüge vorhanden (s. Abb. 11).

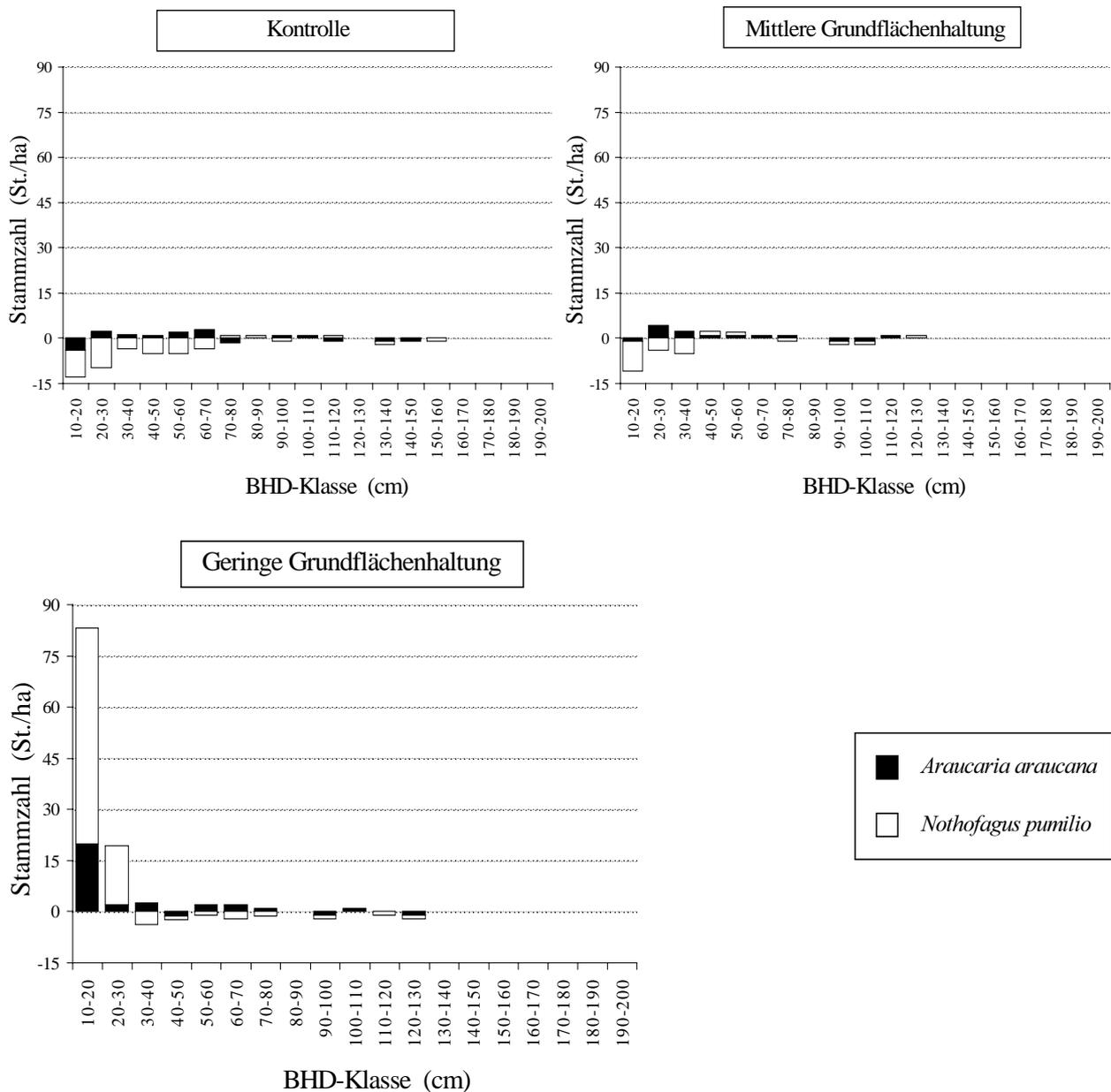


Abb. 12: Stammzahlveränderung von *A.araucana* und *N.pumilio* zwischen 1982 (nach der Anlage der Behandlung) und 1998 nach BHD-Klassen

4.211.2 Grundfläche

Vor den Eingriffen schwankte die durchschnittliche Grundfläche der Versuchsflächen der drei Behandlungsvarianten zwischen 78,4 und 85,8 m<sup>2</sup>/ha (s. Tab. 23). Anders als bei der Stammzahl waren bei der Grundfläche nach den Eingriffen wie beabsichtigt deutliche Unterschiede zwischen den Behandlungen festzustellen. Die Grundfläche der Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung war gegenüber der Kontrolle um 31,8 % niedriger und bei denen mit geringer Grundflächenhaltung um 52,5 %. Dazu ist zu bemerken, dass der Unterschied zwischen den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung vor allem auf die erheblich geringere Grundfläche von *N.pumilio* zurückzuführen ist. Hinsichtlich der Versuchsflächen mit geringer Grundflächenhaltung waren Unterschiede bei beiden Baumarten vorhanden. (s. Tab. 23).

Betrachtet man den Unterschied der Grundfläche zwischen 1982 und 1998 auf den Kontrollflächen, so ist hinsichtlich der Gesamtgrundfläche keine Änderung festzustellen, das heißt jedoch nicht, dass keine Veränderungen stattgefunden haben. *A.araucana* konnte ihren Anteil ausbauen, während *N.pumilio* im gleichen Umfang an Grundfläche verloren hat (s. Tab. 23).

Behandlung		Grundfläche (m <sup>2</sup> /ha)		
		<i>A.araucana</i>	<i>N.pumilio</i>	Gesamt
Kontrolle	Grundfläche 1982	46,8	31,6	78,4
	Grundfläche 1998	49,2	28,8	78,0
	Grundflächenveränderung 1982-1998	2,4	-2,8	-0,4
	+ Abgestorbene Bäume 1982-1998	1,4	5,2	6,6
	= Zuwachs 1982-1998	3,8	2,4	6,2
Mittlere Grundflächenhaltung	Grundfläche vor Behandlung	70,9	14,9	85,8
	- Entnahme	27,1	5,2	32,3
	= Grundfläche nach Behandlung - 1982	43,8	9,7	53,5
	Grundfläche 1998	47,0	9,6	56,6
	Grundflächenveränderung 1982-1998	3,2	-0,1	3,1
Geringe Grundflächenhaltung	+ Abgestorbene Bäume 1982-1998	2,2	2,4	4,6
	= Zuwachs 1982-1998	5,4	2,3	7,7
	Grundfläche vor Behandlung	66,5	12,8	79,3
	- Entnahme	41,3	0,7	42,0
	= Grundfläche nach Behandlung - 1982	25,2	12,1	37,3
	Grundfläche 1998	28,7	12,0	40,7
	Grundflächenveränderung 1982-1998	3,5	-0,1	3,4
	+ Abgestorbene Bäume 1982-1998	1,7	3,7	5,4
	= Zuwachs 1982-1998	5,2	3,6	8,8

Tab. 23: Grundflächenveränderung von *A.araucana* und *N.pumilio* auf den Versuchsflächen

Auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung hat die Gesamtgrundfläche um etwas mehr als 3 m<sup>2</sup>/ha zugenommen. Die Zunahme ist in erster Linie auf den Zuwachs bei

*A. araucana* zurückzuführen. Die Grundfläche von *N. pumilio* blieb hingegen auf den Flächen mit Eingriffen unverändert; hier wurde der Zuwachs durch die ausgeschiedenen Bäume egalisiert.

Betrachtet man den Grundflächenzuwachs der Periode getrennt nach Baumarten, lässt sich feststellen, dass sich bei *A. araucana* die Zuwächse auf den Flächen mit Eingriffen kaum voneinander unterscheiden und deutlich über dem der Kontrollflächen liegen. Bei *N. pumilio* dagegen ist die Grundflächenzunahme nur auf den Versuchsflächen mit geringer Grundflächenhaltung größer als bei der Kontrolle (s. Tab. 23).

In Tabelle 24 werden die Durchmesser der Grundflächenmittelstämme wiedergegeben. Vor Versuchsbeginn unterschieden sich die Durchmesser der drei Behandlungsvarianten bei *A. araucana* nur unwesentlich. Bei *N. pumilio* dagegen wies die Kontrolle einen deutlich höheren Wert auf als die beiden anderen Behandlungsvarianten. Durch die Eingriffe wurde der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes deutlich abgesenkt und zwar umso mehr je geringer die Grundflächenhaltung war (s. Tab.24).

Behandlung		Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (cm)		
		<i>A. araucana</i>	<i>N. pumilio</i>	Gesamt
Kontrolle	Vor der Behandlung	55,6	46,8	51,5
	Nach der Behandlung - 1982	55,6	46,8	51,5
	1998	56,4	49,5	53,5
	Differenz	0,8	2,7	2,0
Mittlere Grundflächenhaltung	Vor der Behandlung	54,4	33,2	47,9
	Nach der Behandlung - 1982	44,7	30,6	40,8
	1998	45,7	32,9	42,5
	Differenz	1,0	2,3	1,7
Geringe Grundflächenhaltung	Vor der Behandlung	52,7	31,7	46,5
	Nach der Behandlung - 1982	36,2	31,6	34,5
	1998	36,6	26,1	32,3
	Differenz	0,4	-5,5	-2,2

Tab. 24: Grundflächenmittelstammdurchmesser in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung, nach der Anlage der Behandlung (1982) und in 1998

Im Beobachtungszeitraum ist der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes auf den Kontrollflächen um 2 cm und auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung um 1,7 gestiegen, auf denen mit geringer Grundflächenhaltung dagegen um 2,2 cm gesunken (s. Tab. 24). Betrachtet man die Baumarten getrennt wird festgestellt, dass der Durchmesser von *A. araucana* stets gestiegen ist, am stärksten auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Grundfläche zugenommen hat, während der Einwuchs gering blieb (s. Tab. 22 und Tab. 23). Bei *N. pumilio* ist auf den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung der Durchmesser ebenfalls gestiegen, während auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung der Durchmesser ziemlich stark (um 5,5 cm) abgenommen hat. Letzteres ist auf den heftigen Einwuchs von Individuen in die kleinste BHD-Klasse und auf das Absterben von größeren Bäumen zurückzuführen (s. Tab. 22 und Tab. 23).

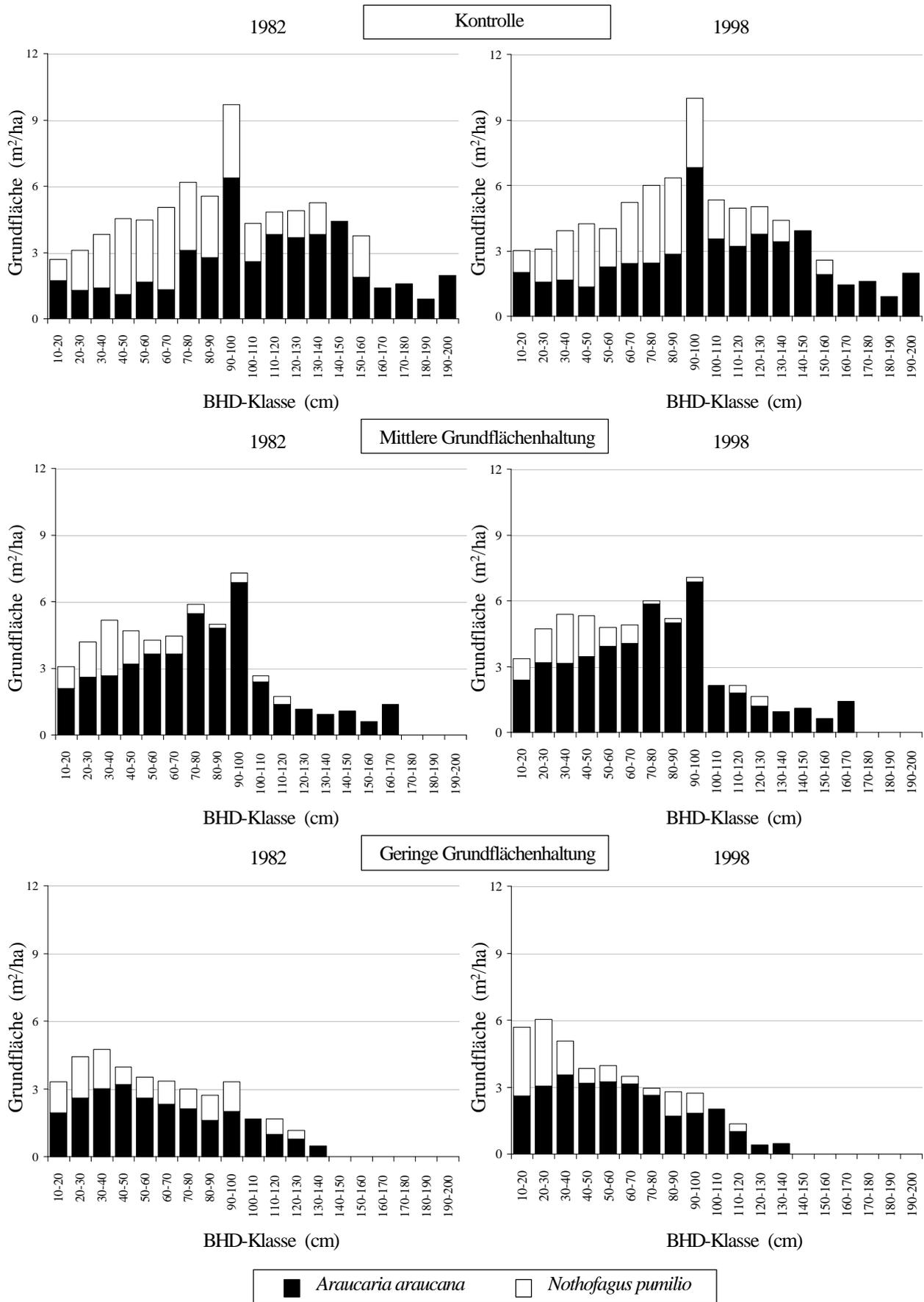


Abb. 13: Grundflächenverteilungen auf Durchmesserklassen in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung, nach der Behandlung 1982 und im Jahr 1998

In Abbildung 13 wird die Grundflächenverteilung auf Durchmesserklassen der drei Behandlungsvarianten wiedergegeben. Genauso wie in Abbildung 3 im Kapitel 3.22 ist hier anhand der Kontrolle zu erkennen, dass in den Urwaldstrukturen der höchste Grundflächenwert in der BHD-Klasse 90-100 cm gegeben ist. Bemerkenswert ist, dass der BHD-Bereich über 90 cm nur 10 % der Bäume enthält (s. Abb. 11), jedoch 55 % der Gesamtgrundfläche konzentriert (s. Abb. 13). Dies letzte ist praktisch nur auf *A.araucana* zurückzuführen, denn *N.pumilio* ist stärker in den BHD-Klassen unter 100 cm repräsentiert. Wie schon mehrmals erwähnt, wurden die waldbaulichen Eingriffe vorwiegend in den höheren BHD-Klassen vorgenommen. Deshalb stellt auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung der BHD-Bereich über 90 cm nur noch 31 % der Grundfläche dar und auf denen mit geringer Grundflächenhaltung 21 %.

In Abbildung 14 sind nur die Veränderungen der Grundflächenverteilung auf Durchmesserklassen während der Periode 1982-1998 wiedergegeben.

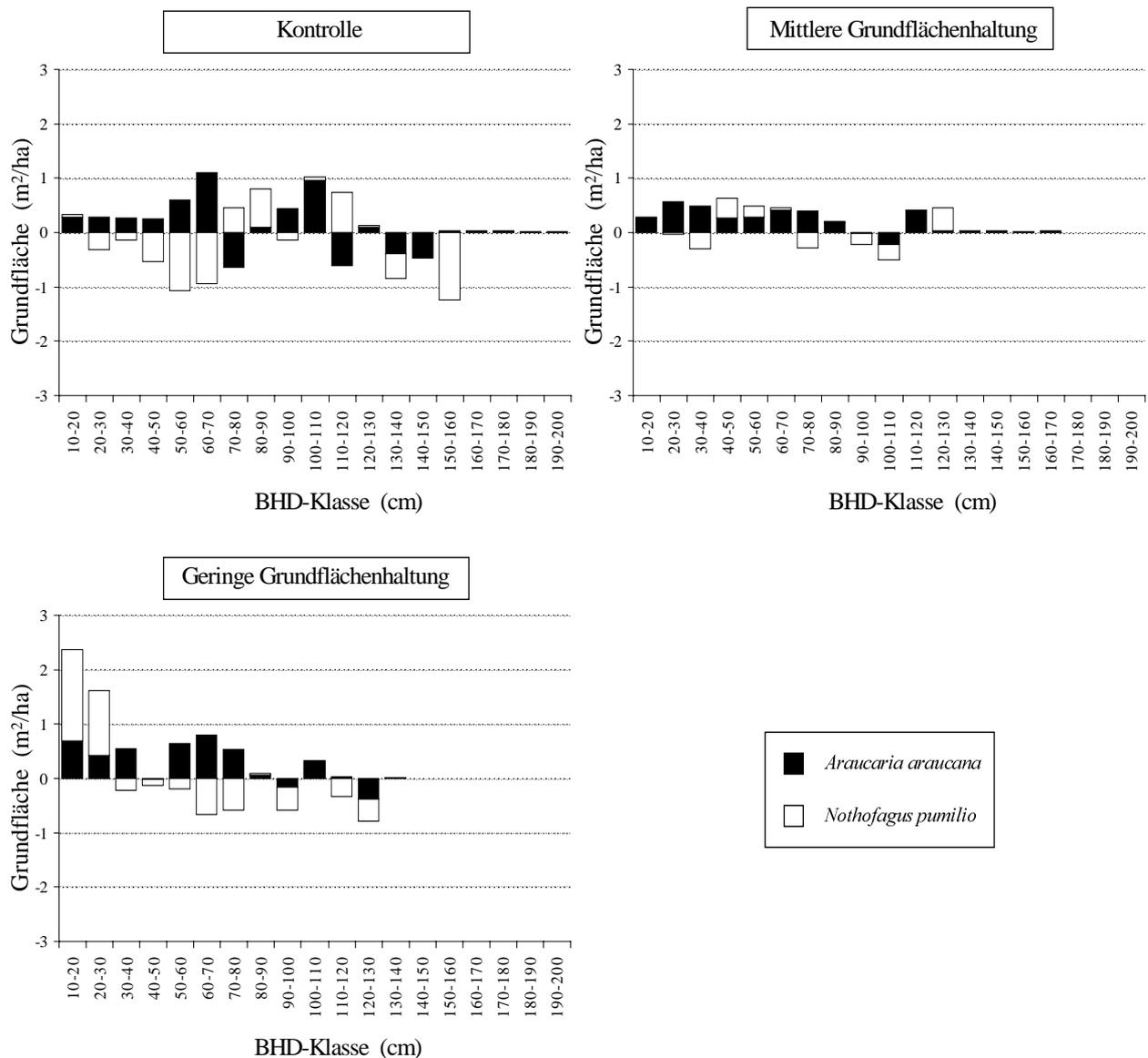


Abb. 14: Grundflächenveränderung von *A.araucana* und *N.pumilio* zwischen 1982 (nach der Anlage der Behandlung) und 1998 nach BHD-Klassen

In Abbildung 14 kommt die unveränderte Gesamtgrundfläche auf den Kontrollflächen gut zum Ausdruck. Der Gesamtgrundflächeneinwuchs der BHD-Klassen entspricht dem Grundflächen-  
auswuchs. Bei getrennter Betrachtung der Baumarten ist zu erkennen, dass die Grundfläche von *A.araucana* fast durchweg zunimmt und diejenige von *N.pumilio* abnimmt. Der Umfang dieser Zu- und Abnahme ist der gleiche.

Auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung sind die Veränderungen der Grundflächenverteilung in den einzelnen Durchmesserklassen absolut gesehen geringer als auf den Kontrollflächen. Die in Tabelle 23 erwähnte Grundflächenzunahme auf diesen Flächen, ist in Abbildung 14 gut nachzuvollziehen. Wie zu erkennen, ist die Zunahme praktisch nur auf *A.araucana* zurückzuführen, während *N.pumilio* im Gleichgewicht blieb.

Genauso wie bei den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung ist es bei den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung, die Grundflächenzunahme auf *A.araucana* zurückzuführen, denn *N.pumilio* blieb während der Periode im Gleichgewicht. Anders als auf den anderen Flächen ist hier jedoch die größte Änderung in den kleineren BHD-Klassen gegeben, was hauptsächlich auf den starken Einwuchs der Laubbaumart zurückzuführen ist. Die Zunahme in diesen Stufen wird aber durch die abgestorbene Grundfläche der höheren BHD-Klassen von *N.pumilio* kompensiert.

#### 4.211.3 Höhe

Die Höhen wurden nur im Jahr 1998 vollständig aufgenommen; aus dem Jahr 1982 liegen nur unvollständige Höhenmessungen vor. Ein Vergleich zwischen den beiden Aufnahmejahren ist deshalb nicht möglich. Allerdings können die einzelnen Behandlungsvarianten im Jahr 1998 verglichen werden.

##### Stammzahlverteilung auf Höhenklassen

Auf den Kontrollflächen sind die Bäume<sup>44</sup> recht gleichmäßig auf die verschiedenen Höhenklassen verteilt (s. Abb. 15). Im Bereich der Höhenklassen von 10 bis 25 m bestehen keine großen Unterschiede in der Gesamtstammzahl. Die Stufe 5-10 m ist leicht mit mehr Bäumen vertreten. Betrachtet man jedoch die beiden Baumarten getrennt, so zeigen sich deutliche Unterschiede. Bei *A.araucana* weist die Höhenklasse 5-10 m die höchsten Zahlen auf und sinkt mit zunehmender Höhenstufe ab, bei *N.pumilio* steigt sie dagegen bis zur Höhenklasse 20-25 m an und fällt danach abrupt ab.

Auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung hat *A.araucana* den selben Typ von Verteilung wie auf den Kontrollflächen, nur sind in jeder Stufe mehr Bäume vorhanden, hauptsächlich in der Höhenstufe 5-10 m. *N.pumilio* hat eine sehr regelmäßige Verteilung zwischen den Stufen 5-10 m und 15-20 m, mit 29 St./ha pro Stufe. Anders als auf den Kontrollflächen, spiegelt die Höhenverteilung dieser Flächen eine klare Plenterstruktur wieder. Die Höhestufe 0-5 m ist in diesem Fall nicht repräsentativ, denn es wurden ja nur Bäume ab einer Kluppschwelle von BHD 10 cm berücksichtigt.

Auf den Versuchsflächen mit geringer Grundflächenhaltung ist ebenfalls ein plenterartiger Verteilungstyp nachzuvollziehen, die Anzahl der Individuen der Höhenstufe 5-10 m ist jedoch

---

<sup>44</sup> Kluppschwelle = BHD 10 cm.

wesentlich größer als auf den Flächen der anderen Behandlungsvarianten. *A.araucana* hat in der Höhenstufe 5-10 m im Vergleich zu den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung 187 bzw. 122 % mehr Bäume. Bei *N.pumilio* ist diese Differenz noch größer: hier liegen die entsprechenden Prozentanteile bei 770 bzw. 436 % (s. Abb. 15).

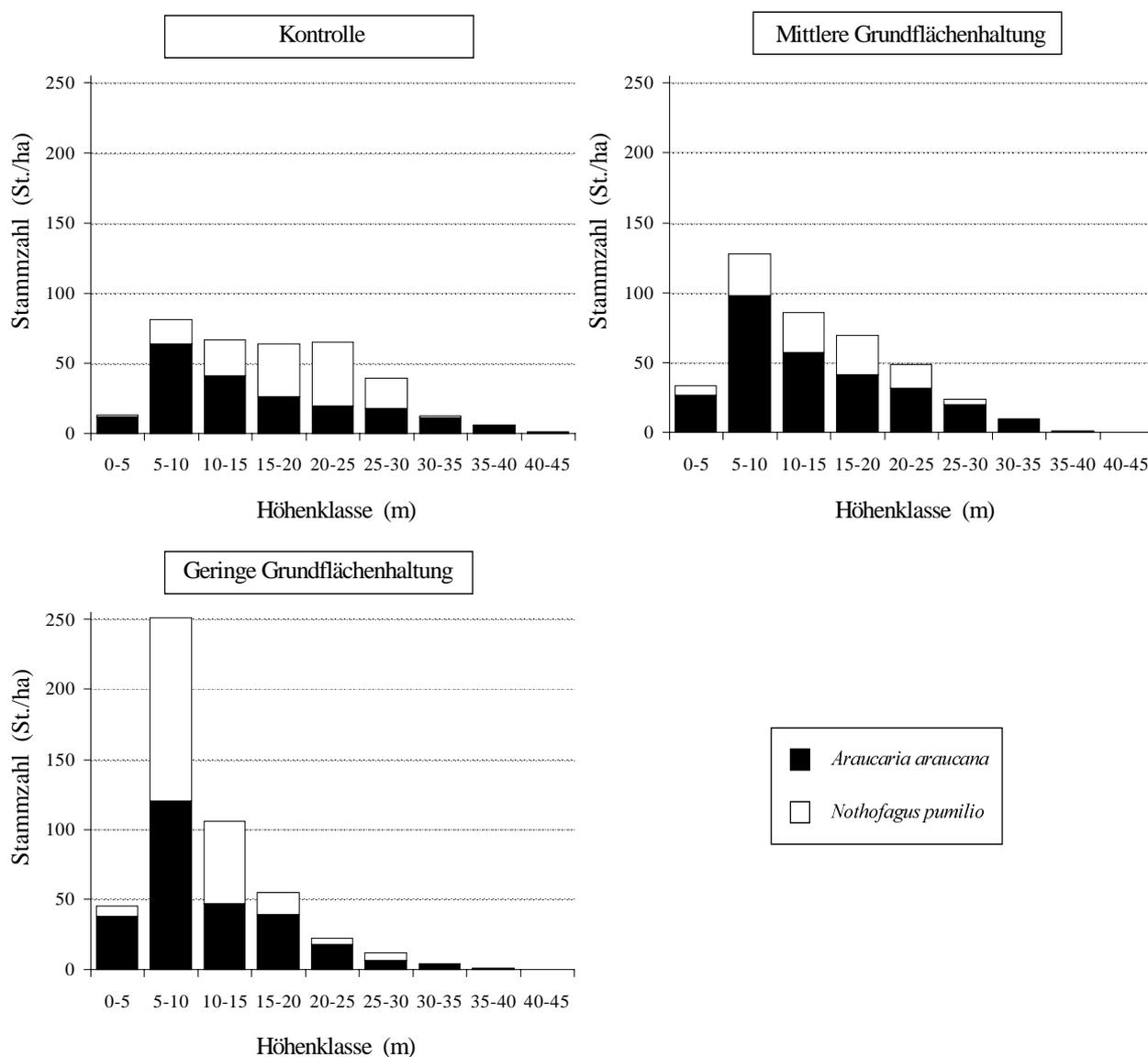


Abb. 15: Stammanzahlverteilungen auf Höhenklassen in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung

### Grundflächenverteilung auf Höhenklassen

Betrachtet man die Anteile der Grundflächen in den Höhenklassen, so ist auf den Kontrollflächen zu bemerken, dass die Höhenstufen ab 20-25 m 84 % der gesamten Grundfläche von *A.araucana* bzw. 76 % von *N.pumilio* enthalten (s. Abb. 16). Ab der Stufe 30-35 m ist *N.pumilio* natürlich kaum vertreten, denn Bäume dieser Baumart waren nicht so hoch. Weiter fällt auf, dass auf den Kontrollflächen beide Baumarten eine ähnliche Verteilung aufweisen. Das bedeutet, dass die wenigeren *A.araucana* Bäume in den mittleren Höhengschichten (s. Abb. 15) ziemlich dick sein

müssen, um die zahlreichere Anzahl von *N.pumilio* Individuen bezüglich der Grundfläche auszugleichen.

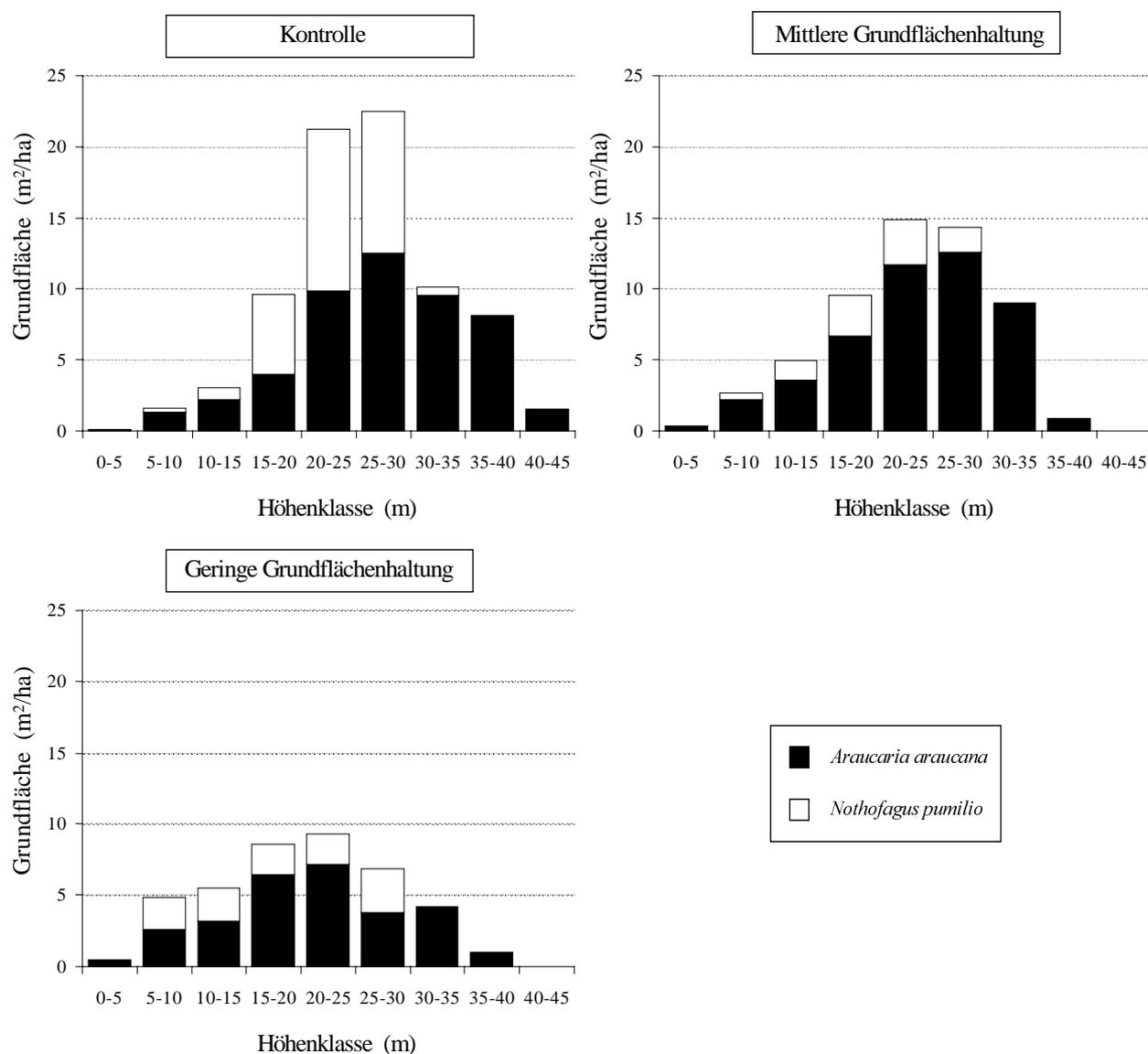


Abb. 16: Grundflächenverteilungen auf Höhenklassen in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung

Auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung ist die Verteilung bei *A.araucana* nahezu identisch mit derjenigen der Kontrollflächen, jedoch sind die Höhenklassen (mit Ausnahme der Stufen von 25 bis 35 m) stärker besetzt. Bei *N.pumilio* sind die Höhenklassen 20-25 und 25-30 m deutlich schwächer vertreten als auf den Kontrollflächen.

Auf den Versuchsfächen mit geringer Grundflächenhaltung sind die oberen Höhenklassen (ab 20 m) wesentlich schwächer repräsentiert als auf den Flächen der anderen Behandlungsvarianten (s. Abb. 16). Die Grundflächenverteilung von *A.araucana* ist bis zur Stufe 15-20 m mit derjenigen der Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung sehr ähnlich. Bei *N.pumilio* ist die große Zahl von Bäumen in der Stufe 5-10 m (s. Abb. 15) bei der Grundflächenverteilung auch erkennbar. Im

Vergleich zu den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung weist die Stufe 5-10 m auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung, 713 bzw. 460 % mehr Grundfläche von *N.pumilio* auf.

#### 4.211.4 Vorrat

Für die Bestimmung des Vorrates waren leider keine Volumenfunktionen vorhanden. Trotzdem wurde mittels der im Kapitel 3.43 beschriebenen Methode Vorratsangaben berechnet. Es wird darauf hingewiesen, dass die in diesem Kapitel angegebenen Vorratswerte als grobe Schätzungen angesehen werden müssen.

Vor den Eingriffen schwankte der durchschnittliche Vorrat der Versuchsflächen der drei Behandlungsvarianten zwischen 1.207 und 1.355 m<sup>3</sup>/ha (s. Tab. 25). Nach den Eingriffen war der Vorrat auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung gegenüber den Kontrollflächen um 37 % niedriger. Dieser Unterschied ist vor allem auf den erheblich geringeren Vorrat von *N.pumilio* zurückzuführen ist. Auf den Versuchsflächen mit geringer Grundflächenhaltung war nach den Eingriffen der Vorrat gegenüber der Kontrolle um 62 % niedriger. Hier waren Vorratsunterschiede bei beiden Baumarten vorhanden (s. Tab. 25).

Behandlung		Vorrat (m <sup>3</sup> /ha) , gerundete Werte		
		<i>A.araucana</i>	<i>N.pumilio</i>	Gesamt
Kontrolle	Vorrat 1982	855	352	1207
	Vorrat 1998	880	323	1203
	Vorratsveränderung 1982-1998	26	-29	-4
	+ Abgestorbene Bäume 1982-1998	20	57	77
	= Zuwachs 1982-1998	46	28	73
	Jährlicher Zuwachs	2,9	1,7	4,6
Mittlere Grundflächenhaltung	Vorrat vor der Behandlung	1205	150	1355
	- Entnahme	536	62	598
	= Vorrat nach der Behandlung - 1982	669	88	758
	Vorrat 1998	709	87	796
	Vorratsveränderung 1982-1998	40	-1	39
	+ Abgestorbene Bäume 1982-1998	20	25	45
	= Zuwachs 1982-1998	59	24	83
Jährlicher Zuwachs	3,7	1,5	5,2	
Geringe Grundflächenhaltung	Vorrat vor der Behandlung	1122	128	1250
	- Entnahme	786	10	795
	= Vorrat nach der Behandlung - 1982	337	118	455
	Vorrat 1998	374	97	471
	Vorratsveränderung 1982-1998	37	-21	16
	+ Abgestorbene Bäume 1982-1998	15	47	62
	= Zuwachs 1982-1998	53	26	78
Jährlicher Zuwachs	3,3	1,6	4,9	

Tab. 25: Vorratveränderung von *A.araucana* und *N.pumilio* auf den Versuchsflächen

In der Periode 1982-1998 ist mit  $-4 \text{ m}^3/\text{ha}$  auf den Kontrollflächen hinsichtlich des Gesamtvorrates praktisch keine Änderung festzustellen. Allerdings hat in den 16 Jahren der Anteil von *A.araucana* zugenommen, während *N.pumilio* in annähernd gleichen Umfang an Vorrat verloren hat (s. Tab. 25).

Auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung hat der Gesamtvorrat in der Periode 1982-1998 um 39 bzw.  $16 \text{ m}^3/\text{ha}$  zugenommen. Diese Zunahme ist nur auf *A.araucana* zurückzuführen, denn der Vorratsanteil von *N.pumilio* blieb auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung unverändert und auf denen mit geringer Grundflächenhaltung hat er abgenommen.

Betrachtet man die jährlichen Vorratszunahmen der Periode getrennt nach Baumarten, wird festgestellt, dass *A.araucana* auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung am stärksten zunahm. Der Vorratszuwachs betrug auf diesen Flächen  $3,7 \text{ m}^3/\text{ha,a}$  und war damit gegenüber den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung um  $0,4 \text{ m}^3/\text{ha,a}$  größer und gegenüber den Kontrollflächen um  $0,8 \text{ m}^3/\text{ha,a}$ . Hinsichtlich des jährlichen Vorratszuwachses von *N.pumilio* waren keine wesentlichen Differenzen zwischen den Behandlungsvarianten gegeben, es schwankte zwischen  $1,5$  und  $1,7 \text{ m}^3/\text{ha,a}$  (s. Tab. 25).

In Abbildung 17 wird die Verteilung des Vorrates nach Durchmesserklassen der drei Behandlungsvarianten wiedergegeben. Noch ausgeprägter als bei der Grundflächenverteilung in den Kontrollflächen kommt hier zum Ausdruck, dass die 10 % Individuen mit BHD über 90 cm 66 % des gesamten Vorrates repräsentieren. Auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung stellt der BHD-Bereich über 90 cm nur noch 41 % des Vorrates dar und auf denen mit geringer Grundflächenhaltung 31 % (s. Abb. 17).

Die Veränderungen der Vorratsverteilung auf Durchmesserklassen in der Periode 1982-1998 sind aus Abbildung 17 sehr mühsam nachzuvollziehen. In Abbildung 18 sind deshalb nur die Veränderungen pro BHD-Klasse wiedergegeben.

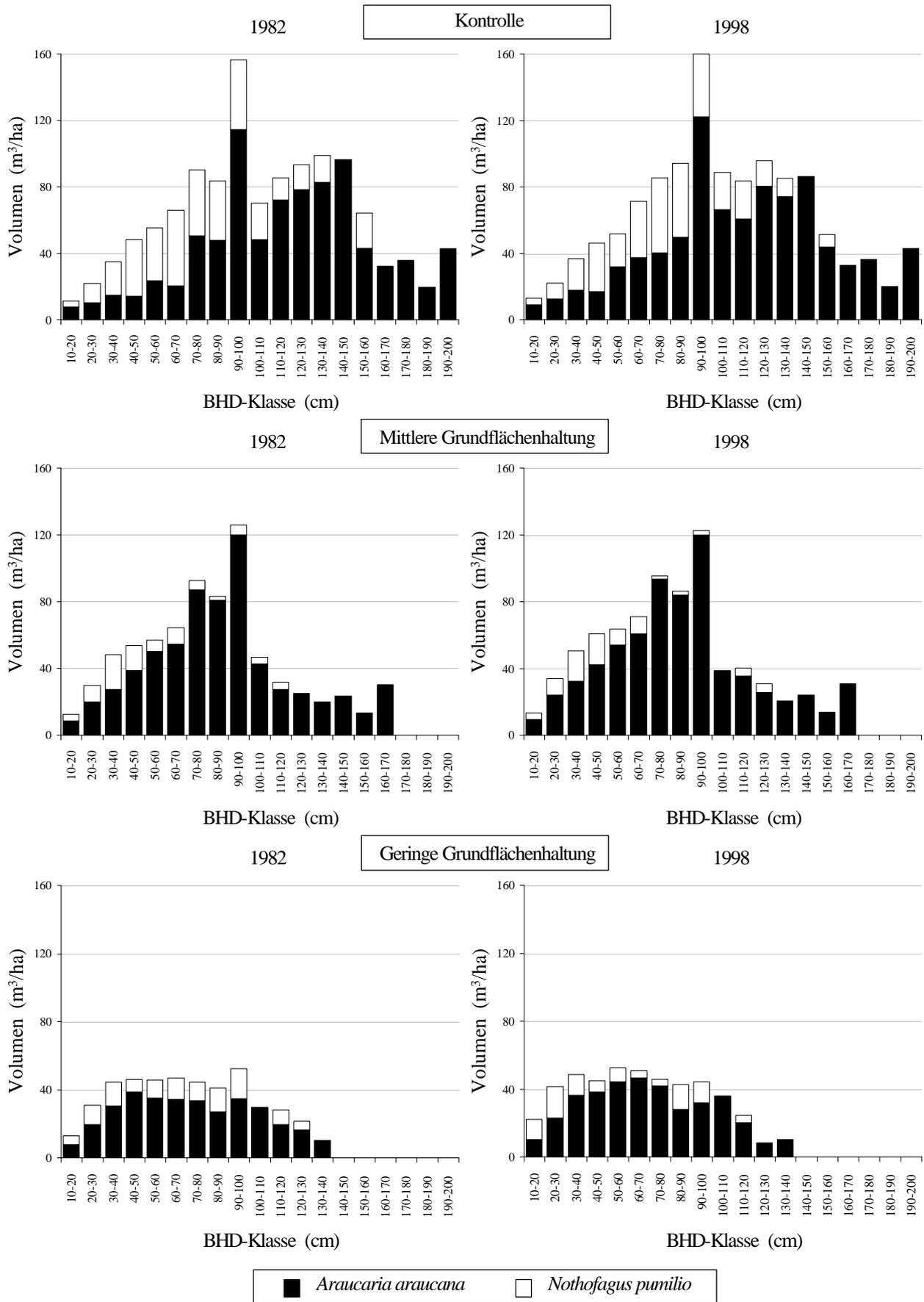


Abb. 17: Vorratverteilungen auf Durchmesserklassen in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung, nach der Behandlung 1982 und im Jahr 1998

Die Vorratsveränderung auf Durchmesserklassen stimmt selbstverständlich mit der Grundflächenveränderung sehr gut überein (vgl. Abb. 14 und Abb. 18). Allerdings ist zu bemerken, dass im Vergleich zur Grundfläche bei den Vorratsveränderungen die größeren BHD-Klassen eine relativ stärkere Bedeutung aufweisen. Umgekehrt verlieren die kleineren BHD-Klassen an Bedeutung.

In Abbildung 18 ist der in der Periode 1982-1998 praktisch unverändert gebliebene Vorrat auf den Kontrollflächen gut nachzuvollziehen. Der gesamte Vorratseinwuchs der BHD-Klassen ist nur um 4 m<sup>3</sup> geringer als der Vorratsauswuchs. Betrachtet man die Baumarten getrennt, so ist zu erkennen, dass im allgemeinen der Vorrat von *A.araucana* zunimmt und der von *N.pumilio* abnimmt.

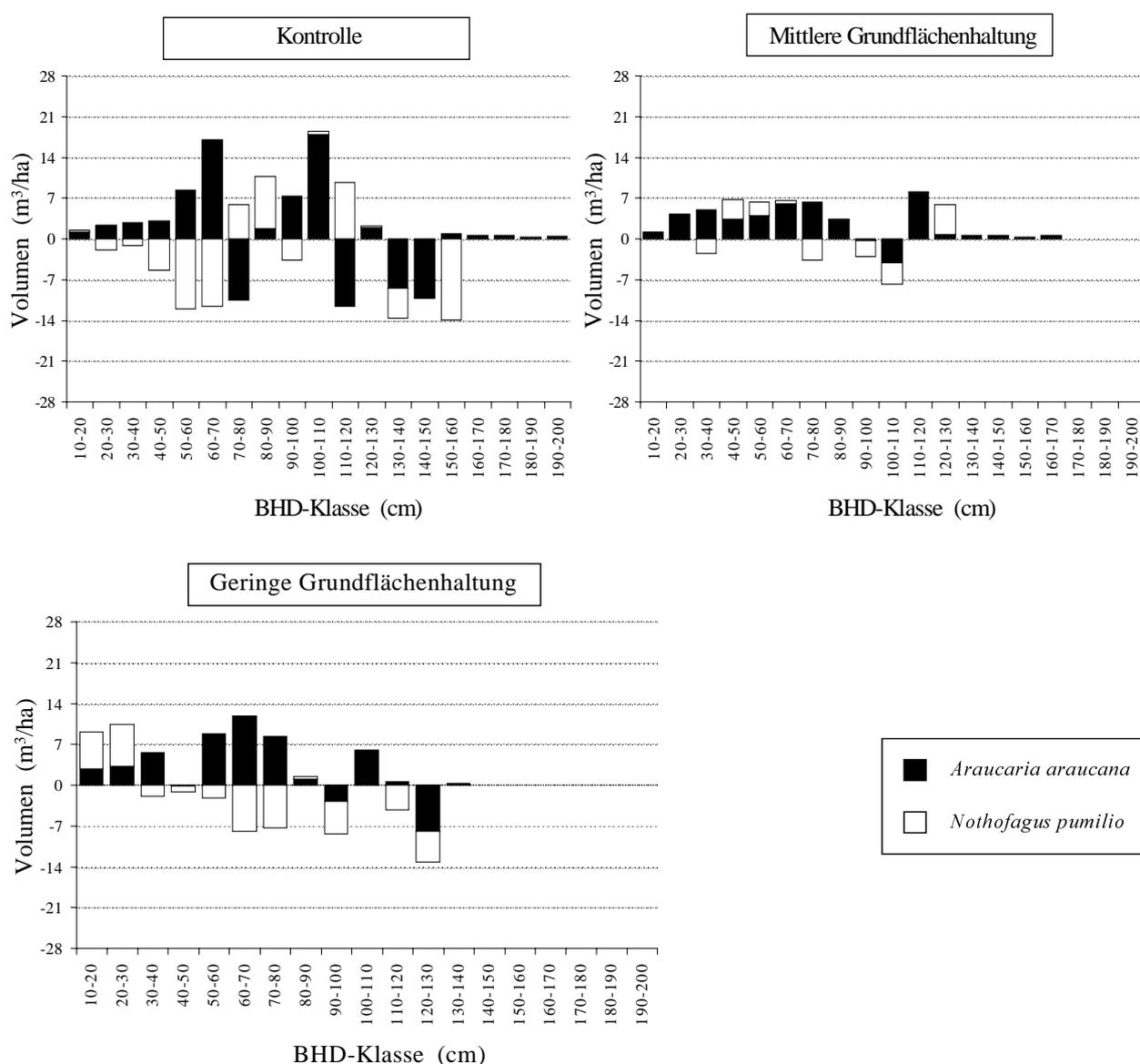


Abb. 18: Vorratsveränderung von *A.araucana* und *N.pumilio* zwischen 1982 (nach der Anlage der Behandlung) und 1998 nach BHD-Klassen

Auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung sind die Vorratsveränderungen geringer als auf den Kontrollflächen. In beiden Fällen sind die Vorratszunahmen auf *A.araucana* zurückzuführen. *N.pumilio* bleibt auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung im Gleichgewicht, während auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung der Vorrat abnimmt. Anders als bei der Grundflächenveränderung auf den zuletzt genannten Flächen (s. Abb. 14), kompensiert hier der Vorratseinwuchs der kleinen BHD-Klassen nicht den Verlust der größeren Bäume.

#### 4.311.5 Kronengrundrissform

Um einen Einblick in die Ausbildung der Kronen von *A.araucana* und *N.pumilio* in plenterartigen Wäldern zu erhalten, wurde für alle aufgenommenen Kronen die Grundrissform<sup>45</sup> berechnet. In der Abbildung 19 sind die durchschnittlichen Werte für beide Baumarten nach Höhenstufen dargestellt. Danach sind die Kronen der *A.araucana* Bäumen im allgemeinen ausgerundeter als diejenigen von *N.pumilio*, da die Konifere niedrigere Werte aufweist. Die allgemein höheren Werte von *N.pumilio* sind durch ihr Lichtbedürfnis zu erklären, denn sie ist stärker phototrop als *A.araucana*.

Ein Einfluss der Behandlungen auf die Kronengrundrissform ist nur bei *N.pumilio* zu erkennen. Auf den Flächen mit Eingriffen, fördert das bessere Lichtangebot in den unteren Höhengstufen bei den *N.pumilio* Bäumen eine stärkere einseitige Kronenentwicklung. In den oberen Schichten der Flächen mit geringer Grundflächenhaltung ist dagegen das Licht für *N.pumilio* schon so ausreichend, dass sogar die Kronen ausgerundeter sind als auf den Kontrollflächen (s. Abb. 19).

Bei beiden Baumarten ist jedoch die Tendenz der Grundrisswerte in Anhängigkeit von der Höhe sehr ähnlich. Im allgemeinen sind die Kronen in der Unterschicht rund, in der Mittelschicht eher oval und in der Oberschicht wieder runder. In der Unterschicht sind die meisten Bäume überschirmt, d.h. direktes Sonnenlicht gelangt in diese Schicht selbst durch die Kronenlücken nur selten. Diese Individuen sind also hauptsächlich auf diffuses Licht angewiesen und deshalb sind auch ihre Kronen gut ausgerundet (geringe Grundrisswerte). In den mittleren Höhengstufen nimmt der Anteil an direktem Sonnenlicht zu, jedoch trifft meistens das Licht die Bäume nur einseitig, was dann zu einer einseitigen Kronenausbildung führt. In der oberen Schicht, lässt natürlich die Überschirmung bzw. auch die Konkurrenz nach und die Kronen können sich nach allen Seiten entwickeln.

---

<sup>45</sup> „Die Grundrissform ist das Verhältnis des größten Kronendurchmessers zu dem in seiner Mitte rechtwinklig stehenden“ (MITSCHERLICH, 1961).

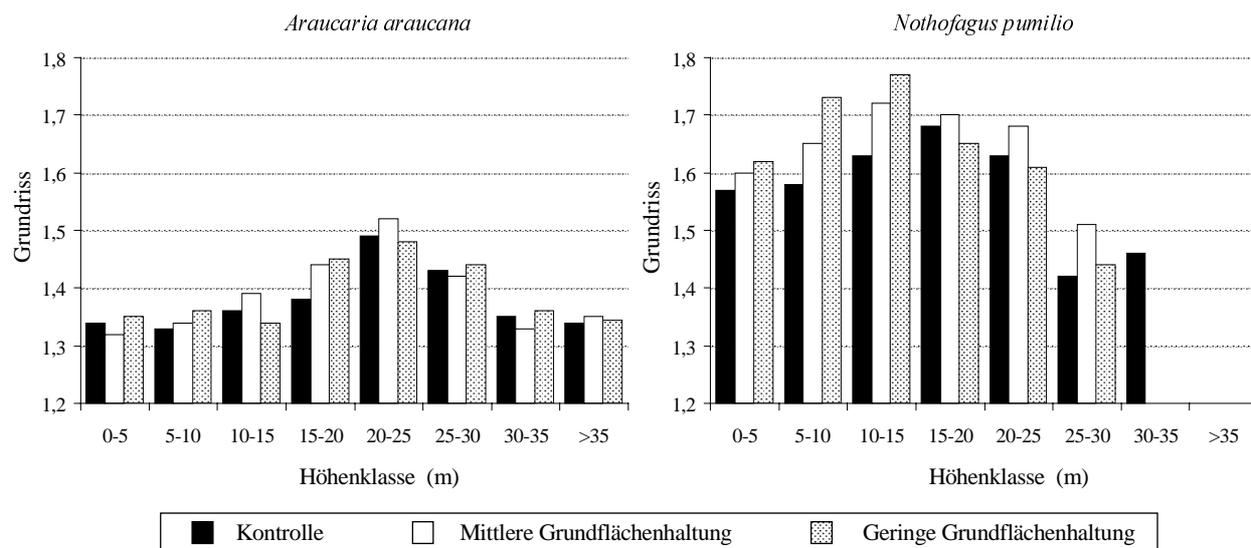


Abb. 19: Grundrissform der Kronen von den *A.araucana*- und *N.pumilio* Bäumen in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung

#### 4.211.6 Verhältnis weiblicher und männlicher *A.araucana* Bäume

Wie im Kapitel 2.16 dargestellt, ist *A.araucana* meistens zweihäusig. Die weiblichen Bäume tragen Zapfen mit schweren ungeflügelten Samen. Der wichtigste Ausbreitungsmechanismus dieser Baumart ist die Barochorie, d.h. das Fallenlassen der Samen. Die Verjüngung befindet sich deshalb in der Regel in der Nähe von weiblichen Bäumen. Deshalb ist es für eine Untersuchung von waldbaulichen Behandlungen in *A.araucana* Wäldern sehr wichtig, die Geschlechter der Bäume zu berücksichtigen.

Auf den Kontrollflächen<sup>46</sup> waren im Durchschnitt 13,5 % der *A.araucana* Bäume mit männlichen Zapfen behängt, 10,3 % mit weiblichen Zapfen und 0,7 % mit beiden (s. Tab 26). Die übrigen Individuen trugen keine Zapfen, so dass das Geschlecht nicht bestimmbar war. Die Minimal- und Maximalhöhen der fruktifizierenden männlichen und weiblichen Bäume unterscheiden sich nicht wesentlich. Im Durchschnitt sind jedoch die weiblichen Bäume 3,0 m höher. Bezüglich des Durchmessers sind die männlichen fruktifizierenden Bäume im Durchschnitt 89 cm dick, während die weiblichen Individuen einen durchschnittlichen BHD von 106 cm aufweisen.

Beim Vergleich der Behandlungsvarianten fällt zunächst auf, dass auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung keine einhäusigen Bäume vorhanden waren (s. Tab. 26). Darüber hinaus weisen im Vergleich zur Kontrolle, die Flächen mit Eingriffen mehr fruktifizierende Bäume auf. Auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung fruktifizierten 30 Bäume pro Hektar mehr als auf den Kontrollflächen und auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung waren es 25 Bäume pro Hektar mehr.

Die zapfentragenden Bäume auf den Flächen mit Eingriffen weisen jedoch im Vergleich zu den Kontrollflächen deutlich geringere durchschnittliche Durchmesser und Höhen auf (s. Tab. 26). Dies ist auch aus Abbildung 20 zu entnehmen. Bei den drei Behandlungsvarianten sind die mit

<sup>46</sup> Die Kontrollfläche K-III wies die niedrigste Anzahl von fruktifizierenden Bäume auf, hauptsächlich von weiblichen Individuen.

weiblichen- und männlichen Bäumen am stärksten besetzten Höhenklassen stets die gleichen, wobei diese Höhenklasse mit zunehmender Eingriffsstärke abnimmt. Betrachtet man die prozentuellen Anteile im rechten Teil der Abbildung 20, so wird auch deutlich, dass der Anteil der fruktifizierenden Bäume in den Höhenstufen-Bereichen zwischen 10 und 25 m mit zunehmender Eingriffsstärke ansteigt. Außerdem ist die Höhenklasse 5-10 m, die bei den Kontrollflächen gar nicht besetzt ist, auf den Flächen mit Eingriffen schon von fruktifizierenden weiblichen und männlichen Bäumen besetzt. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass der mit zunehmender Eingriffsstärke verbundener stärkere Lichtgenuss zur Fruktifikation auch von kleineren Bäume führt.

Behandlung	Geschlecht	Stammzahl (St./ha)	Gesamtstamm- zahlanteil (%)	BHD (cm)			Höhe (m)		
				Min.	Max.	Ø	Min.	Max.	Ø
Kontrolle	Männlich	27	13,5	20,1	162,5	88,6	13,1	40,9	26,1
	Weiblich	20	10,3	22,2	194,1	105,6	13,5	40,1	29,1
	Einhäusig	1	0,7	61,3	95,8	87,9	24,7	27,9	25,0
	Gesamt	48	24,4	20,1	194,1	96,5	13,1	40,9	26,9
Mittlere Grundflächen- haltung	Männlich	46	16,1	17,9	124,1	58,9	9,0	34,6	21,8
	Weiblich	32	11,1	20,6	157,3	67,8	9,8	38,2	23,3
	Einhäusig	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Gesamt	78	27,2	17,9	157,3	61,2	8,6	38,2	22,4
Geringe Grundflächen- haltung	Männlich	33	11,8	15,6	122,9	50,2	8,8	32,8	19,3
	Weiblich	40	14,8	16,5	137,6	57,2	8,2	37,4	20,0
	Einhäusig	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Gesamt	73	26,4	15,6	137,6	54,0	8,2	37,4	19,7

Tab. 26: Anteil männlicher, weiblicher und einhäusiger Bäume getrennt nach Behandlungsvariante

Wie aus Abbildung 20 zu sehen ist, überwiegen auf den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung die männlichen fruktifizierende Bäume, wobei jedoch auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung alle Höhenstufen, mit Ausnahme der über 30 m, wesentlich stärker besetzt sind. Die Höhenstufen 10-15, 15-20 und 20-25 m sind jeweils mit drei mal so vielen männlichen fruktifizierenden Bäumen besetzt wie die Kontrollflächen, während bezüglich den weiblichen fruktifizierenden Bäumen hauptsächlich die Höhenstufen 15-20 und 20-25 m stärker besetzt sind.

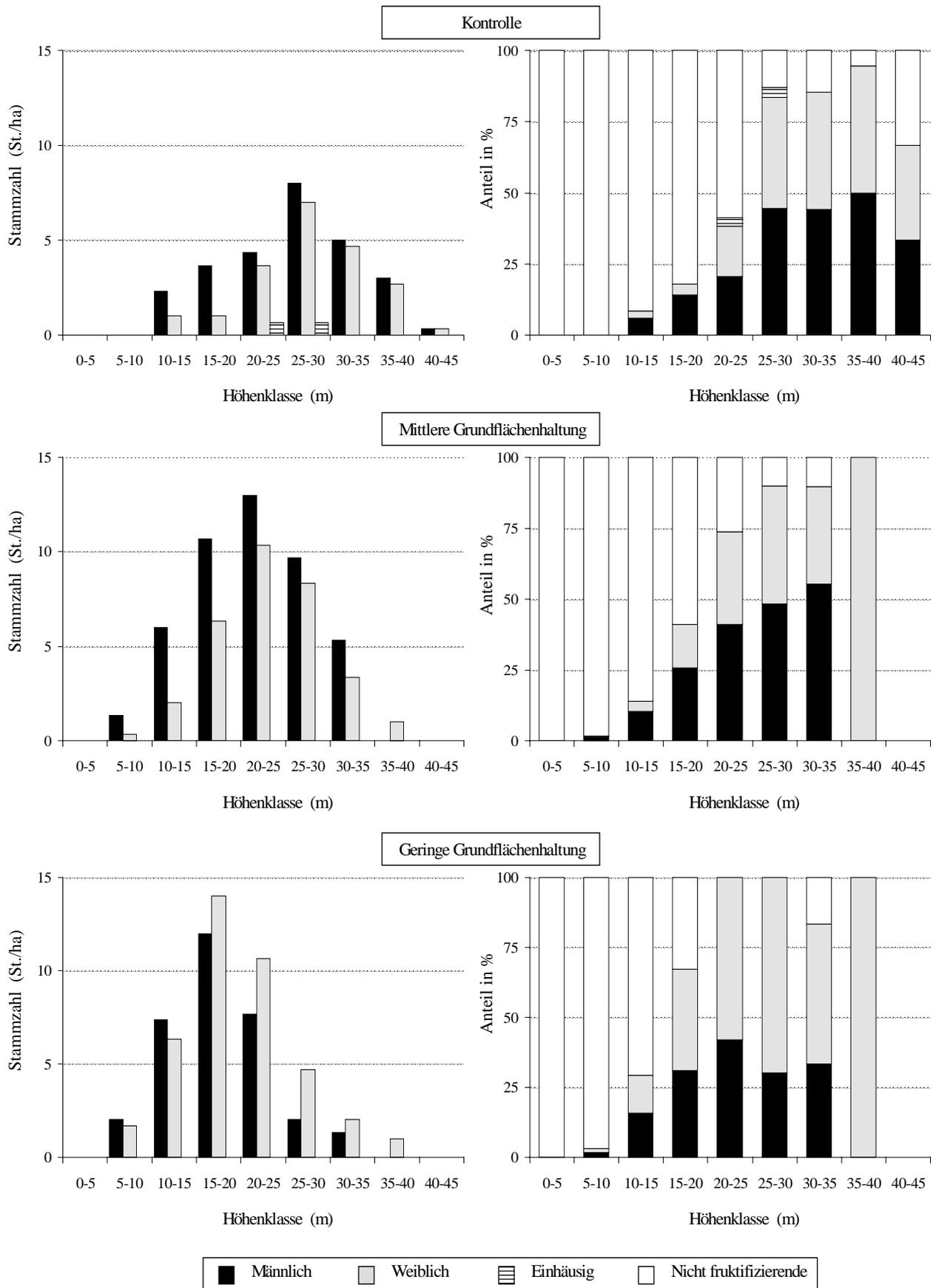


Abb. 20: Anzahl fruktifizierender *A. araucana* Bäume in den verschiedenen Höhenklassen (links) und Anteil der fruktifizierenden *A. araucana* Bäume an der Gesamtstammzahl in den verschiedenen Höhenklassen (rechts)

Auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung sind auch mehr männliche fruchtragende Bäume als auf den Kontrollflächen vorhanden. Der wesentliche Unterschied zur Kontrolle und auch zu den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung liegt jedoch an der größeren Zahl von weiblichen fruktifizierenden Bäumen. Auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung sind sogar ab der Höhenklasse 15-20 m stets mehr weibliche als männliche fruchtragende Bäume pro Höhenstufe vorhanden.

#### 4.211.7 Stammqualität

Für forstwirtschaftliche Überlegungen und Entscheidungen ist das produzierte Holz die entscheidende Größe. Diese Volumenproduktion ist jedoch nur eine von zwei Produktionsgrößen, denn zwar wird Holz nach Festmetern verkauft, jedoch ist der dafür gezahlte Preis abhängig von der Qualität des Holzes. Um einen Einblick in den Zustand des Holzes von *A.araucana* und *N.pumilio* in diesen Wäldern zu haben, wurden für alle stehenden Bäume die Gesundheit und die Schaftform der Stämme erfasst. Durch die Kombination beider Merkmale kann die für die Verwendung entscheidende endgültige Stammqualität festgestellt werden (Güteklasse) (s. Kap. 3.31).

##### Gesundheit und Schaftform

In Tabelle 27 sind der Gesundheitszustand und die Schaftform von *A.araucana* und *N.pumilio* dargestellt. In allen drei Behandlungsvarianten wiesen stets über 60 % der *A.araucana* Bäume gesunde und fehlerfreie Stämme auf. Bei der Konifere sind im allgemeinen bezüglich Gesundheitszustand und Schaftform keine Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten festzustellen. Auffallend ist, dass die Anteile der entsprechenden Gesundheits- und Schaftformklassen sehr ähnlich sind. Das heißt jedoch nicht, dass Gesundheitszustand und Schaftform bei den einzelnen *A.araucana* Bäumen unmittelbar miteinander korreliert sind. Vielmehr konnten gesunde Stämme auch sehr schlechte Schaftformen aufweisen und kranke sehr gute.

Sowohl Gesundheit, als auch Schaftform sind bei *N.pumilio* deutlich schlechter als bei *A.araucana*, wobei jedoch bei der Laubbaumart die Schaftform der Stämme im allgemeinen besser ist als die Gesundheit. Betrachtet man die Qualitätsmerkmale zwischen den Behandlungsvarianten, so kann man feststellen, dass zwischen den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung keine wesentlichen Unterschiede bezüglich Gesundheit und Schaftform vorhanden sind. Auf den Versuchsflächen mit geringer Grundflächenhaltung wiesen jedoch die *N.pumilio* Bäume im Vergleich zu den anderen Flächen bessere Gesundheit- und Schaftformen auf. Hier zeigten 52 % der Stämme keine Fäulen und 66 % waren fehlerfrei (s. Tab. 27). Der höhere Anteil von besseren Stämmen auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung ist auf den Einwuchs zurückzuführen (s. Abb. 21), denn diese Individuen wiesen überwiegend gesunde und/oder fehlerfreie Stämme auf.

Baumart	Qualitätsmerkmal	Klasse	Kontrolle		Mittlere Grundflächenhaltung		Geringe Grundflächenhaltung	
			St.(ha)	%	St.(ha)	%	St.(ha)	%
<i>A.araucana</i>	Gesundheit	1	125	63,5	187	65,4	180	65,9
		2	54	27,4	74	25,9	73	26,7
		3	18	9,1	25	8,7	20	7,3
		Gesamt	197	100,0	286	100,0	273	100,0
	Schaftform	1	128	65,0	194	67,8	166	60,8
		2	46	23,4	65	22,7	75	27,5
		3	23	11,7	27	9,4	32	11,7
		Gesamt	197	100,0	286	100,0	273	100,0
<i>N.pumilio</i>	Gesundheit	1	33	22,0	27	23,9	116	52,0
		2	81	54,0	64	56,6	63	28,3
		3	36	24,0	22	19,5	44	19,7
		Gesamt	150	100,0	113	100,0	223	100,0
	Schaftform	1	62	41,3	56	49,6	147	65,9
		2	57	38,0	38	33,6	39	17,5
		3	31	20,7	19	16,8	37	16,6
		Gesamt	150	100,0	113	100,0	223	100,0

Gesundheit

Schaftform

Klasse 1: Gesundes Holz, ohne Fäulen und ohne Schaden

Klasse 1: Fehlerfrei. Stammquerschnitt kreisförmig. Ohne Krümmung und ohne Zwiesel

Klasse 2: Anwesenheit von Fäulen oder von Schaden mit kleiner Ausdehnung

Klasse 2: Stammquerschnitt elliptisch. Schwache Krümmung

Klasse 3: Baumstamm mit starken Fäulen oder Schaden

Klasse 3: Baumstamm mit starken Schaftformfehlern

Tab. 27: Anzahl und Anteile der *A.araucana* und *N.pumilio* Stämme nach ihren Gesundheits- und Schaftformzuständen in den Kontrollflächen und denen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung

### Güteklassen

Um die Stammqualität im Hinblick auf Holzverwendung beurteilen zu können müssen Gesundheit und Schaftform zusammen berücksichtigt werden. In Tabelle 28 sind aus beiden Merkmalen hergeleiteten Stammqualitäten als Güteklassen ausgewiesen. Wie nach den Werten in Tabelle 27 mitgeteilten Daten zu erwarten war, ist die Qualität der Stämme von *A.araucana* deutlich besser als die von *N.pumilio*.

Bei *A.araucana* sind die Anteile der Güteklassen zwischen den Behandlungsvarianten nicht allzu unterschiedlich, jedoch nicht mehr so ähnlich wie bei getrennter Betrachtung von Gesundheit und Schaftform. Der größte Unterschied von 9,4 % Punkte ergibt sich für die Anteile der Güteklasse A zwischen den Kontrollflächen und denen mit geringer Grundflächenhaltung. Bemerkenswert ist, dass mindestens etwa 40 % der *A.araucana* Stämme stets gesund und fehlerfrei (Güteklasse A) sind; nur wenige Stämme (unter 10 %) sind nicht verwendbar und wurden der Güteklasse D zu gerechnet.

Bei *N.pumilio* sind die Stammqualitäten der Bäume auf den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung sehr ähnlich. Auf diesen Versuchsflächen wiesen zwischen 10 und 12 % der Stämme einen sehr guten Gesundheitszustand und auch eine sehr gute Schaftform auf (Güteklasse A). Die meisten *N.pumilio* Stämme sind jedoch der Güteklasse C zuzuordnen, d.h.

dass die Holzverwendung dieser Stämme nur mit Einschränkung möglich ist. Die Flächen mit geringer Grundflächenhaltung zeigen dagegen andere Anteile der Güteklassen. Hier sind im Vergleich zu den anderen beiden Behandlungsvarianten die Prozente der Klassen A und B größer. Ein Drittel der Stämme sind sogar vollkommend gesund und auch fehlerfrei (s. Tab. 28). Wie aus Abbildung 21 zu sehen, ist dies hauptsächlich auf den Einwuchs zurückzuführen.

Baumart	Güteklasse	Kontrolle		Mittlere Grundflächenhaltung		Geringe Grundflächenhaltung	
		St.(ha)	%	St.(ha)	%	St.(ha)	%
<i>A.araucana</i>	A	76	38,6	128	44,8	131	48,0
	B	47	23,9	56	19,6	46	16,8
	C	56	28,4	77	26,9	76	27,8
	D	18	9,1	25	8,7	20	7,3
	Gesamt	197	100,0	286	100,0	273	100,0
<i>N.pumilio</i>	A	16	10,7	14	12,4	74	33,2
	B	13	8,7	8	7,1	39	17,5
	C	85	56,7	69	61,1	66	29,6
	D	36	24,0	22	19,5	44	19,7
	Gesamt	150	100,0	113	100,0	223	100,0

Tab. 28: Anzahl und Anteile der *A.araucana* und *N.pumilio* Bäume nach ihrer Stammqualität als Güteklasse in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung

In Abbildung 21 sind die Verteilungen der Güteklassenanteile auf Durchmesserklassen für die Versuchsflächen der drei Behandlungsvarianten dargestellt. Wie aus Abbildung 21 zu entnehmen ist, sind die Verteilungen auf den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung sehr ähnlich. Dagegen weist die Verteilung auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung Unterschiede auf.

Auf den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung steigt bei *A.araucana* die Anteile der Güteklasse A im mittleren BHD-Bereich an, wobei jedoch zu bemerken ist, dass in allen Durchmesserklassen mindestens 30 % der Stämme vollkommend gesund und ganz fehlerfrei sind. Weiter auffallend ist, dass in den größeren BHD-Klassen die Anteile der Stämme mit Güteklasse D zunehmen, wobei jedoch stets holzverwendbare dicke Bäume vorhanden sind.

Auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung gibt es im Vergleich zu den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung zwei Unterschiede: In der kleinsten BHD-Klasse ist der Anteil von gesunden und fehlerfreien Stämmen (Güteklasse A) größer und in den BHD-Klassen ab 110 cm sind nur noch Stämme der Klassen C und D präsent. Der erste Unterschied liegt am Einwuchs von Bäumen mit guter Stammqualität und die zweite Differenz liegt an den Eingriffen selbst, denn es wurde bei der Holzernte im Jahr 1982 Bäume mit besseren Holzqualitäten entnommen.

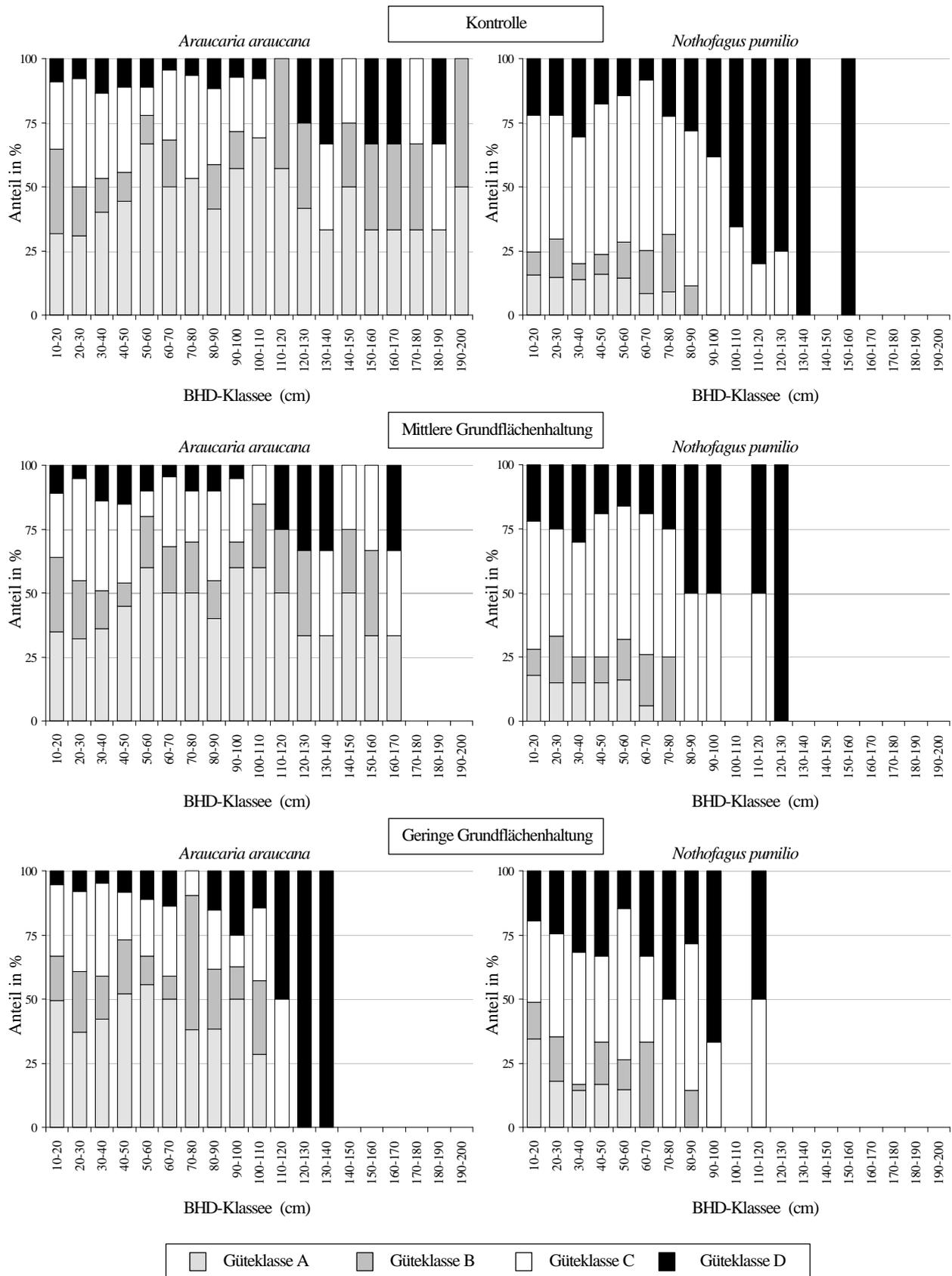


Abb. 21: Anteilverteilung auf Durchmesserklassen der *A.araucana* und *N.pumilio* Bäume nach ihrer Stammqualität in den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer

Die im Vergleich zu *A. araucana* schlechtere Qualität der *N. pumilio* Stämme ist in Abbildung 21 sehr gut zu erkennen. *N. pumilio* Bäume mit Güteklassen A oder B sind nur bis zur BHD-Klasse 80-90 cm vorhanden, wobei der gemeinsame Anteil dieser beiden Güteklassen praktisch stets unter 25 % liegt. Auf den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung entspricht der größte Anteil der Güteklasse C (vgl. Tab. 28). Ab der BHD-Klasse 70-80 cm sind die Stämme von *N. pumilio* überwiegend nicht verwertbar.

Auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung ist im Vergleich zu den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung der Anteil von *N. pumilio* Stämmen der Güteklasse A in der kleinsten BHD-Klasse größer. Das heißt, dass der im allgemeinen größere Anteil von fehlerfreien *N. pumilio* Stämmen mit gesundem Holz auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung (vgl. Tab. 28) nur auf dem Einwuchs zurückzuführen ist. Genauso wie auf den Flächen der anderen beiden Behandlungsvarianten sind hier in den größeren BHD-Klassen praktisch nur Bäume der Güteklassen C und D zu finden (s. Abb. 21). Der kleine Anteil der Güteklasse B in der BHD-Klasse 80-90 cm entspricht einem von den in dieser Klasse vorhandenen sieben *N. pumilio* Bäumen auf den drei Versuchsflächen mit geringer Grundflächenhaltung.

#### **4.212 Analyse von Einzelbaumparametern**

In diesem Kapitel werden die Resultate der Analysen zu den Auswirkungen der waldbaulichen Behandlungen auf die Entwicklung von *A. araucana* und *N. pumilio* anhand verschiedener Zusammenhänge zwischen zwei Baumparametern wiedergegeben.

Wie schon erwähnt, befindet sich der untersuchte *A. araucana* Plenterurwald mit sehr großer Wahrscheinlichkeit im Fließgleichgewicht. Das bedeutet, dass die Bestandesverhältnisse einen stationären Charakter aufweisen. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die wesentlichen Bestandesscharakteristika sich mit der Zeit nicht drastisch verändern. Deshalb wird unterstellt, dass die in diesem Kapitel analysierten Verhältnisse auf den Kontrollflächen auch die Verhältnisse widerspiegeln, die in der Vergangenheit auf den neun Versuchsflächen anzutreffen waren. Solange kein katastrophales Ereignis diesen Gleichgewichtszustand ändert, werden die wiedergegebenen Regressionskurven der Zusammenhänge für die Kontrollflächen auch Geltung haben. Inwieweit die waldbaulichen Behandlungen die Zusammenhänge des Urwaldes beeinflussen, wird anhand der Regressionskurven der Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung festgestellt. Differenzen zu den Regressionskurven der Kontrollflächen werden als Verschiebungen bezeichnet, die auf die waldbaulichen Maßnahmen zurückzuführen sind.

Um die folgende Darstellung der Ergebnisse nicht zu überfrachten, gleichzeitig aber einen detaillierten Einblick in das methodische Vorgehen zu geben, werden die Resultate für *A. araucana* nur anhand des ersten Zusammenhanges, nämlich „Höhe:BHD“ ausführlich präsentiert. Bei den anderen Zusammenhängen werden nur die endgültigen Regressionsgleichungen beider Baumarten graphisch dargestellt. Die entsprechenden statistischen Ergebnisse dieser Zusammenhänge und Streudiagramme werden im Anhang 2, 3 und 4 wiedergegeben. Es wird darauf hingewiesen, dass für ein gutes Verständnis dieses Kapitels die

Codierungen (s. Tab. 13 im Kap. 3.443) und die entsprechenden spezifischen Hypothesen (s. Tab. 14 im Kap. 3.443) von sehr großer Bedeutung sind.

Die ausgewählten Transformationen

Für jeden Zusammenhang pro Baumart wurden verschiedene Transformationen errechnet und es wurde diejenige ausgewählt, die die höchste Anpassungsgüte aufwies und die Voraussetzungen der linearen Regressionsanalyse nicht verletzen (s. Kap. 3.443). Die endgültig ausgewählten Transformationen sind in Tabelle 29 zusammengestellt.

Bei allen Zusammenhängen ließen sich die gleichen Transformationen für *A.araucana* und *N.pumilio* berechnen. Die untersuchten Zusammenhänge wiesen lineare, exponentielle, logarithmische und polynomische Beziehungen 2ten Grades auf. In den meisten Fällen erwies sich für die Zusammenhänge zwischen einer bestimmten abhängigen Variablen und dem BHD bzw. der Höhe, dieselbe Transformation als geeignet. Nur bei der Kronenbreite, der Kronenlänge und dem Bekronungsgrad wurde für die Beziehung zum BHD bzw. Höhe jeweils eine andere Transformation ausgewählt (s. Tab. 29).

Hypothesentestung

Die in diesem Kapitel präsentierten Zusammenhänge weisen einen gemeinsamen Befund auf: In allen Fällen wurden die Hypothesen welche die Koinzidenz, Parallelität und Achsenabschnitte der neun Regressionsgleichungen überprüften (s. Punkt 5 im Kap. 3.443), mit höchster Signifikanz abgelehnt. Dieses Ergebnis erhöht die Bedeutung der spezifischen Hypothesen der entsprechenden Codierungen (s. Tab. 14 im Kap. 3.443).

Zusammenhang		Ausgewählte Regressionsmodelle	
Abhängige Variable	Unabhängige Variable	Y	X
Höhe	BHD	(Y)	(X) + (X <sup>2</sup> )
h/d		(Y)	LN (X)
Kronenbreite		(Y)	(X)
Kronenlänge		(Y)	(X)
Bekronungsgrad		(Y)	(X)
Spreitungsgrad		(Y)	(X) + (X <sup>2</sup> )
Plumpheitsgrad		(Y)	LN (X)
Ausladungsverhältnis		(Y)	LN (X)
BHD-Zuwachs		Ausgangs BHD	(Y)
h/d	Höhe	(Y)	LN (X)
Kronenbreite		LN (Y)	(X)
Kronenlänge		LN (Y)	(X)
Bekronungsgrad		(Y)	(X) + (X <sup>2</sup> )
Spreitungsgrad		(Y)	(X) + (X <sup>2</sup> )
Plumpheitsgrad		(Y)	LN (X)
Ausladungsverhältnis		(Y)	LN (X)
BHD-Zuwachs		(Y)	(X) + (X <sup>2</sup> )

Tab. 29: Die ausgewählten Transformationen für die untersuchten waldbaulichen Zusammenhänge

## 4.212.1 Höhenkurve

In Abbildung 22 wird für *A.araucana* und *N.pumilio* das Streudiagramm für den Zusammenhang zwischen Höhe und BHD für alle aufgenommenen Bäume dargestellt. Bei beiden Baumarten nimmt die Streuung mit zunehmenden BHD zu. Die Höhe der Bäume nimmt mit zunehmenden BHD zu, bei *A.araucana* jedoch nicht so schnell wie bei *N.pumilio*. Im BHD-Bereich zwischen 35 und 45 cm haben die *A.araucana* Bäume im Durchschnitt eine Höhe von 15,2 m erreicht, während *N.pumilio* im selben BHD-Bereich im Durchschnitt schon 20,1 m erreicht hat. Die größeren Höhen werden jedoch von der Konifere erreicht. Die maximale Baumhöhe betrug bei *A.araucana* 40,9 m und bei *N.pumilio* 30,9 m. Bei *N.pumilio* war eine deutliche Kulmination des Kurvenverlaufs bei etwa 25 m Höhe zu erkennen (s. Abb. 22).

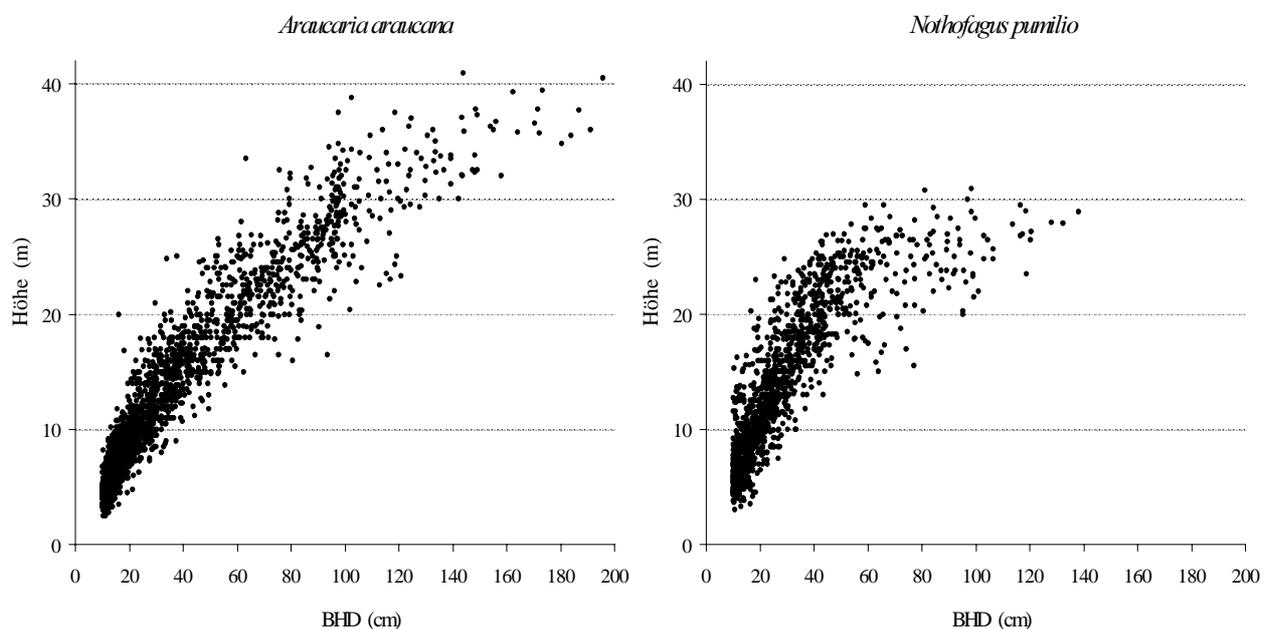


Abb. 22 : Streudiagramme für den Zusammenhang zwischen Höhe und BHD bei *A.araucana* und *N.pumilio*

Die Höhenstreuung über dem BHD ließ sich bei beiden Baumarten durch ein polynomisches Regressionsmodell 2ten Grades ausgleichen. Die Anpassung des Modells an die Daten von *A.araucana* und *N.pumilio* wies eine hohe Güte auf (s. Tab. 30) und die durchgeführten Residualanalysen haben keine Abweichungen von der Modellannahme gezeigt. In Abbildung 23 sind als Beispiel die studentisierten Residuen gegen die Schätzwerte des Regressanden (Höhe) und des Regressors (BHD) für *A.araucana* dargestellt.

Wie aus Abbildung 23 zu entnehmen ist, sind keine Anhaltspunkte für Abweichungen von den Modellannahmen (Normalität und Homoskedastizität) vorhanden (s. Punkt 6 im Kap. 3.443). Die Normalitätsannahme wird nicht abgelehnt, da 97 % der normierten Residuen zwischen -1,96 und 1,96 liegen. Von den Werten die außerhalb dieser Grenze liegen, befinden sich 1,3 % unter -1,96 und 1,7 % oberhalb 1,96. Außerdem deutet der Normal Probability Plot auf eine völlig normale Verteilung hin. Beide Darstellungen zeigen auch homogene Residuenverläufe, d.h. dass

die Bandbreite der studentisierten Residuen über das gesamte Höhen- bzw. BHD-Spektrum nahezu gleich ist. Die Varianz ist also homogen und unabhängig vom Regressor.

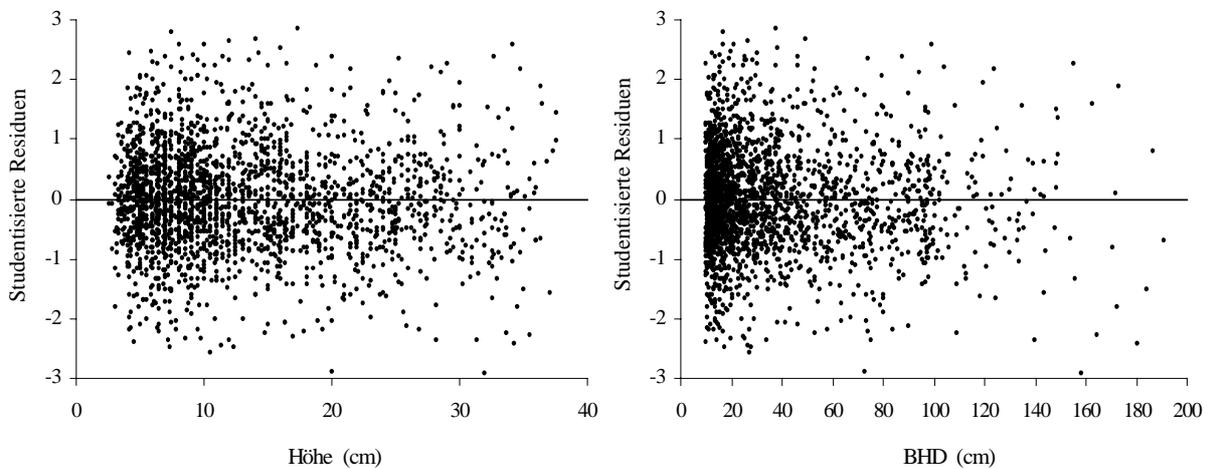


Abb. 23 : Graphische Darstellung der studentisierten Residuen in Abhängigkeit von den geschätzten Höhenwerten und von dem BHD, für den Zusammenhang Höhe:BHD von *A. araucana*

Die in Abbildung 23 dargestellten Residuenverläufe entsprechen dem in Abbildung 24 wiedergegebenen Zusammenhang zwischen Höhe und BHD. Die in Abbildung 24 dargestellten Kurven repräsentieren die neun untersuchten Baumklassen oder Straten, also die 3 Kronenfreiheitsklassen pro Behandlungsvariante (s. Kap. 3.442).

Die in Abbildung 24 wiedergegebenen Regressionsgleichungen deuten auf geringe Differenzen zwischen einigen Straten hin. Das Zusammenfassen von Regressionsgleichungen kann jedoch nur erfolgen, wenn sich die Faktoren der einzelnen Regressionsgleichungen nicht signifikant voneinander unterscheiden. Das angewandte Verfahren erzeugt die zur Prüfung erforderlichen Kennwerte. Hierzu wurden die Achsenabschnitte, die Parallelität und die Koinzidenz zwischen den Regressionsgleichungen untersucht. In Tabelle 30 werden die Parameter und Signifikanzniveaus der mit den formulierten spezifischen Hypothesen errechneten Indikatorvariablen und Wechselwirkungen des ausgewählten Regressionsmodells wiedergegeben und in Tabelle 31 werden die Regressionskoeffizienten der entgültigen Gleichungen von *A. araucana* und *N. pumilio* für den Zusammenhang Höhe:BHD wiedergegeben. Um diese Regressionsgleichungen zu erzeugen wurden die Parameter der Indikatorvariablen und Wechselwirkungen nach den entsprechenden spezifischen Hypothesen umcodiert (s. Tab. 15 im Kap. 3.443).

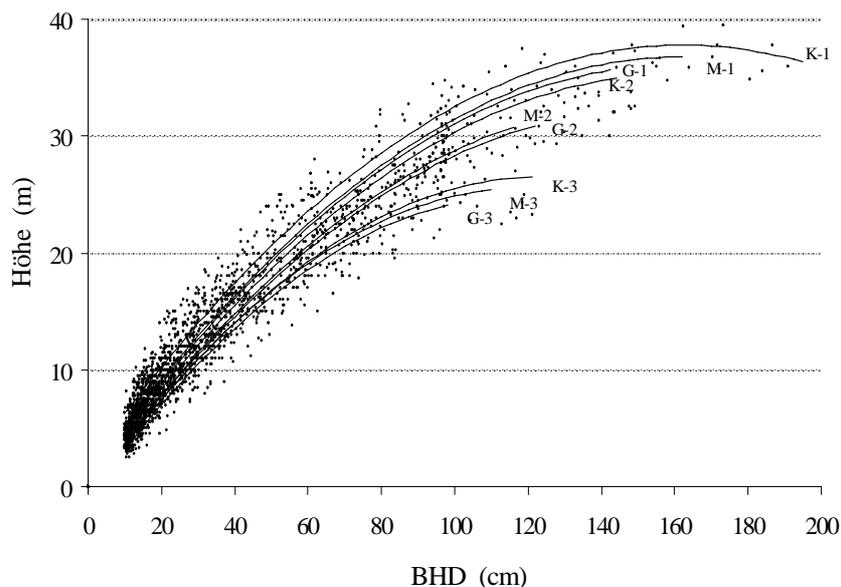


Abb. 24: Regressionsgleichungen des Zusammenhangs Höhe:BHD von *A. araucana* für die neun untersuchten Klassen (3 Kronenfreiheitsklassen \* 3 Behandlungsvarianten), mit dem zugehörigen Streudiagramm der Einzelbaumwerten nach Eliminierung der Ausreißer

K = Kontrolle	1 = Kronenfreiheit 1 (freie Krone)
M = Mittlere Grundflächenhaltung	2 = Kronenfreiheit 2 (bedrängte Krone)
G = Geringe Grundflächenhaltung	3 = Kronenfreiheit 3 (überschirmte Krone)

Bei beiden Baumarten wird die Nullhypothese (es besteht kein Zusammenhang zwischen der abhängigen und der unabhängigen Variable [theoretischer F-Wert ist größer als der errechnete globale F-Wert]) mit höchster Signifikanz abgelehnt (s. Tab. 30).

Wie aus Tabelle 30 zu entnehmen ist, sind die Indikatorvariablen Z3 und Z5 von *A. araucana* signifikant, was bedeutet, dass die Achsenabschnitte der Höhenkurven bei den Bäumen mit freier und bedrängter Krone Differenzen zwischen den Kontrollflächen und denen mit Eingriffen aufweisen. Die Höhenkurven der Bäume mit freier Krone sind jedoch parallel, denn die Wechselwirkungen  $X Z3$  und  $X^2 Z3$  sind nicht signifikant. Bei den Bäumen mit bedrängter Krone ist nur die Wechselwirkung  $X^2 Z5$  signifikant. Die entsprechenden Parameter der Bäume mit Kronenfreiheit 3 sind alle nicht signifikant und deswegen sind auch die Regressionsgleichungen der 3 Behandlungen für diese Bäume koinzident (s. Tab. 31 und Abb. 25). Die Wechselwirkung  $X Z2$ , welche die Koeffizienten  $b_1$  der Regressionsgleichungen von den *A. araucana* Bäume mit Kronenfreiheit 2 und 3 vergleicht, lässt sich als nicht signifikant ausweisen (s. Tab. 30). Deshalb ist der Parameter  $b_1$  bei den sechs Regressionsgleichungen identisch (s. Tab. 31).

## Ergebnisse

Zusammenhang		Höhe – BHD	
Baumart		<i>A.araucana</i>	<i>N.pumilio</i>
Ausgewählte Transformation	Y X	Y Polynom 2ten Grades	Y Polynom 2ten Grades
adjustierter $R^2$		0,949	0,911
F Global		***	***

Indikatorvariablen und Wechselwirkungen	Signifikanzniveau	Parameter	Signifikanzniveau	Parameter
b0	***	0,12621	***	3,43030
X	***	0,43876	***	0,57641
X <sup>2</sup>	***	-0,00154	***	-0,00349
Z1	***	-0,44264	***	-0,90265
Z2	***	-0,24907	***	-1,21393
Z3	*	0,35895	n.s.	
Z4	n.s.		n.s.	
Z5	*	0,12343	**	-0,26204
Z6	n.s.		n.s.	
Z7	n.s.		***	-0,41848
Z8	n.s.		n.s.	
X Z1	**	-0,00152	***	-0,01242
X Z2	n.s.		***	-0,01418
X Z3	n.s.		n.s.	
X Z4	n.s.		n.s.	
X Z5	n.s.		n.s.	
X Z6	n.s.		n.s.	
X Z7	n.s.		*	0,00314
X Z8	n.s.		n.s.	
X <sup>2</sup> Z1	**	-0,00009	***	0,00033
X <sup>2</sup> Z2	**	-0,00020	***	0,00035
X <sup>2</sup> Z3	n.s.		n.s.	
X <sup>2</sup> Z4	n.s.		n.s.	
X <sup>2</sup> Z5	*	0,00003	n.s.	
X <sup>2</sup> Z6	n.s.		n.s.	
X <sup>2</sup> Z7	n.s.		n.s.	
X <sup>2</sup> Z8	n.s.		n.s.	

Signifikanzniveau :  
 \*\*\* = höchst signifikant - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,001  
 \*\* = hoch signifikant - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01  
 \* = signifikant - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05  
 n.s. = nicht signifikant

Tab. 30: Statistische Ergebnisse des Regressionsmodells für den Zusammenhang Höhe:BHD für *A.araucana* und *N.pumilio*

Bei *N.pumilio* wurde eine andere Codierung benutzt (s. Tab. 13 im Kap. 3.443) und so entstanden auch andere Hypothesen (s. Tab. 14 im Kap. 3.443). Dementsprechend haben dann bei dieser Baumart die Indikatorvariablen und Wechselwirkungen eine andere Bedeutung als bei *A.araucana*. In diesem Fall beziehen sich die Indikatorvariablen Z3, Z4 und die Wechselwirkungen X Z3, X Z4, X<sup>2</sup> Z3 und X<sup>2</sup> Z4 auf die Bäume mit Kronenfreiheit 3, welche wegen den nicht signifikanten Niveaus dieser Variablen (s. Tab. 30), eine von den Behandlungsvarianten unabhängige Höhenbeziehung zum BHD aufweisen. Die Indikatorvariablen Z5 und Z7 sind jedoch hoch signifikant bzw. höchstens signifikant. Dies deutet darauf hin, dass bei den *N.pumilio* Bäumen mit freier und bedrängter Krone, der

Achsenabschnittskoeffizient der Höhenkurve der Flächen mit geringer Grundflächenhaltung sich von dem der Kurve der Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung unterscheidet. Bei den bedrängten Bäumen sind jedoch die Höhenkurven der drei Behandlungsvarianten parallel, denn die Wechselwirkungen  $X Z_5$ ,  $X Z_6$ ,  $X^2 Z_5$  und  $X^2 Z_6$  sind nicht signifikant (s. Tab.30, Tab. 31 und Abb. 25).

Baumart	Behandlung	Kronenfreiheit	$b_0$	$b_1$	$b_2$
<i>A. araucana</i>	Kontrolle	1	1,72940	0,44181	-0,00136
		2	0,17950	0,43724	-0,00136
		3	-0,56550	0,43724	-0,00183
	Mittlere Grundflächenhaltung	1	0,65255	0,44181	-0,00136
		2	-0,19080	0,43724	-0,00147
		3	-0,56550	0,43724	-0,00183
	Geringe Grundflächenhaltung	1	0,65255	0,44181	-0,00136
		2	-0,19080	0,43724	-0,00147
		3	-0,56550	0,43724	-0,00183
<i>N. pumilio</i>	Kontrolle	1	1,73220	0,54667	-0,00281
		2	1,73220	0,54667	-0,00281
		3	0,47676	0,55608	-0,00281
	Mittlere Grundflächenhaltung	1	4,00362	0,57817	-0,00350
		2	4,00362	0,57817	-0,00350
		3	3,21750	0,57817	-0,00350
	Geringe Grundflächenhaltung	1	5,23559	0,60125	-0,00415
		2	5,23559	0,60125	-0,00415
		3	5,23559	0,60125	-0,00415

Tab. 31: Achsenabschnitt ( $b_0$ ) und Koeffizienten ( $b_1$ ,  $b_2$ ) der Regressionsgleichungen des Zusammenhangs Höhe:BHD für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlung für *A. araucana* und *N. pumilio*

In Abbildung 25 sind die errechneten Regressionsgleichungen dargestellt. Der allgemeine Unterschied zwischen beiden Baumarten beim Zusammenhang Höhe:BHD ist schon sehr deutlich aus den Streudiagrammen in Abbildung 22 nachzuvollziehen. In Abbildung 25 werden jedoch die Zusammenhänge zwischen den Kronenfreiheitsklassen und den Behandlungsvarianten nachvollziehbar.

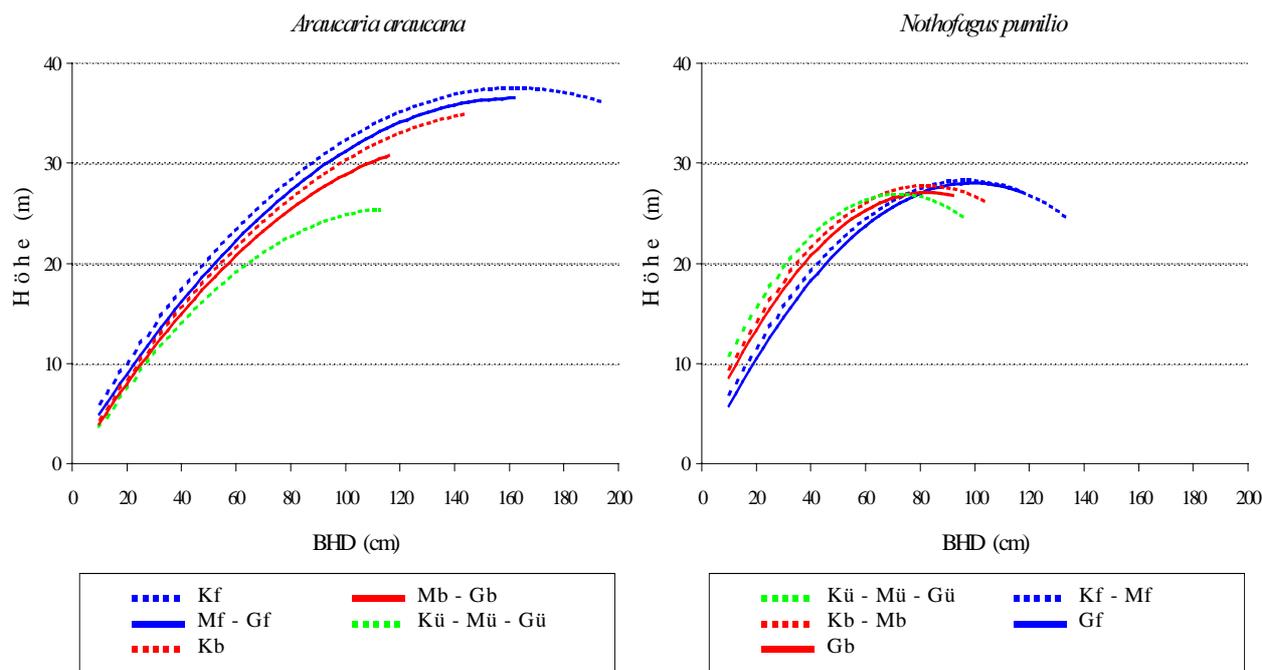


Abb. 25 : Höhenkurven von *A. araucana* und *N. pumilio* für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlung

K = Kontrolle	f = freie Krone	(Kronenfreiheit 1)
M = Mittlere Grundflächenhaltung	b = bedrängte Krone	(Kronenfreiheit 2)
G = Geringe Grundflächenhaltung	ü = überschirmte Krone	(Kronenfreiheit 3)

Bei beiden Baumarten lassen sich statistisch jeweils fünf Höhenkurven unterscheiden (s. Abb. 25). Die blauen Linien stellen die Bäume mit freien Kronen dar, die roten Linien die mit bedrängten und die grünen Linien repräsentieren die Individuen mit überschirmter Krone. Die gestrichelten Linien repräsentieren stets die Bäume der Kontrollflächen, wobei sie in den Fällen einer statistischen Koinzidenz auch Flächen mit Eingriffen darstellen können. Die durchgezogenen Linien stehen stets für Flächen mit Eingriffen. Diese Form der Darstellung wurde in der vorliegenden Arbeit für alle Abbildungen dieses Typs, d.h. von Zusammenhängen zwischen zwei Baumparametern, gewählt.

Wie schon erwähnt, werden die Bestandesverhältnisse in den Kontrollflächen als gleichbleibend angesehen, d.h., dass die Bestandeshöhenkurve dieser Behandlungsvariante sich mit der Zeit nicht verändert. Das gilt auch für die entsprechenden Höhenkurven der verschiedenen Kronenfreiheitsklassen, da das Überschirmungsverhältnis in diesen Wäldern ebenfalls einen stationären Charakter hat. Das heißt jedoch keinesfalls, dass sich die Überschirmung der einzelnen Bäume mit der Zeit nicht verändert. Die Kronenfreiheit ist bei allen Bäumen ein dynamischer Prozess, sich aber in Wäldern die ein Plentergleichgewicht aufweisen im Durchschnitt nicht verändert.

Diesbezüglich fällt auf, dass das Verhältnis der Höhenkurven von den Kronenfreiheitsklassen bei beiden Baumarten genau umgekehrt ist (s. Abb. 25). Bei *A. araucana* weisen die Bäume mit freier Krone die höchste Kurve auf, während bei *N. pumilio* die Kurve der überschirmten Individuen am steilsten ansteigt. Das bedeutet, dass bei gegebener Höhe die *A. araucana* Bäume mit überschirmter Krone im Durchschnitt dicker sind als diejenigen mit freier Krone. Bei *N. pumilio*

sind im Durchschnitt die Individuen mit freier Krone am dicksten. Es wird schon an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die unterschiedlichen Lichttoleranzen und Lebensalter der beiden Baumarten die prinzipiellen Faktoren sind, die zu den entsprechenden Beziehungen Höhe:BHD führen. Im Kapitel 5.2 wird ausführlich darüber diskutiert.

In Bezug auf metrische Höhenunterschiede zwischen den Bäumen mit unterschiedlicher Kronenfreiheit auf den Kontrollflächen wird festgestellt, dass im untersten BHD-Bereich die Differenzen bei *A.araucana* geringer sind als bei *N.pumilio*. Die durchschnittliche Höhendifferenz zwischen 10 cm dicken Bäumen mit freier und überschirmter Krone beträgt bei *A.araucana* 2,4 m, während bei *N.pumilio* diese Differenz 3,9 m ist. Mit zunehmenden BHD bleibt dieser Unterschied bei *N.pumilio* relativ konstant (bis 60 cm), erfährt jedoch bei *A.araucana* eine deutliche Steigung. Bei einem BHD von 110 cm beträgt die Höhendifferenz zwischen *A.araucana* Bäumen mit freier und überschirmter Krone im Durchschnitt 8,5 m. Bei *N.pumilio* steigt die Höhenkurve der überschirmten Bäume (Kü) im Vergleich zu den Kurven der anderen *N.pumilio* Individuen (Kf und Kb) zwar ziemlich schnell, kulminiert jedoch auch früher. Dagegen ist die Kurve der Individuen mit freier Krone (Kf) diejenige, die am langsamsten steigt, allerdings genauso wie bei *A.araucana* diejenige, welche die höchsten Höhen- und Durchmesserwerte aufweist (s. Abb. 25).

Beim Vergleich der Höhenkurven zwischen den Behandlungsvarianten, werden wie schon erwähnt, bei beiden Baumarten die Bäume mit überschirmter Krone durch dieselbe Regressionsgleichung dargestellt, d.h. also, dass die Eingriffe in diesem Fall keinen Einfluss hatten. Bei den Bäumen mit bedrängter und freier Krone ist das anders; hier sind die Kurven der drei Behandlungsvarianten nicht mehr koinzident. Bei *A.araucana* sind bei den Bäumen mit bedrängter und freier Krone die Kurven der Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung gleich, während bei *N.pumilio* die Kurven der Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung koinzident sind. Wie aus Abbildung 25 zu sehen ist, erfolgen die Verschiebung der Höhenkurven stets nach unten, d.h. zu niedrigeren Höhen hin. Grund hierfür ist die BHD-Zuwachsreaktion als Folge der waldbaulichen Eingriffe. Nach eingelegten Durchforstungen verstärken die verbleibenden Bäume ihren BHD-Zuwachs stärker als ihren Höhenzuwachs. Die unterschiedliche Koinzidenz der Regressionskurven bei beiden Baumarten deutet darauf hin, dass für *A.araucana* die Lichtverhältnisse auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung schon ausreichen um die gleiche Wirkung hervorzurufen wie auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung. Bei *N.pumilio* sind erst die erzeugten Lichtverhältnisse auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung von Bedeutung um das Verhältnis Höhe:BHD zu beeinflussen.

#### 4.212.2 Schlankheitsgrad

Der Schlankheitsgrad oder h/d-Wert genannt, ist der Quotient aus Höhe und BHD. Im Waldbau wird dieses Verhältnis als Maß für die Stabilität von Einzelbäumen verwendet. Wie schon erwähnt, wurden in der vorliegenden Arbeit die Zusammenhänge zwischen h/d-Wert und BHD bzw. Höhe untersucht. Für beide Zusammenhänge hat sich ein logarithmisches Regressionsmodell als geeignet erwiesen (s. Tab. 29). Um in einem überschaubaren Rahmen zu bleiben, wird in diesem Kapitel nur der Zusammenhang zum BHD dargestellt.

Wie aus Abbildung 26 zu entnehmen ist, weist *A.araucana* unter BHD 80 cm im allgemeinen niedrigere h/d Werte auf als *N.pumilio*. Ab dieser BHD-Dimension gleicht sich die Stabilität des Schaftes beider Baumarten an. Wie zu erwarten war, stimmt die Abfolge der h/d Kurven beider Baumarten hinsichtlich der Kronenfreiheit der entsprechenden Höhenkurven überein (vgl. Abb. 25 und Abb. 26). Bei *A.araucana* sind die Individuen mit überschirmter Krone die stabilsten, während bei *N.pumilio* die Bäume mit freien Kronen die größere Stabilität aufweisen. Das Verhältnis von *A.araucana* widerspricht eigentlich den klassischen Kenntnissen, da Bäume mit freien Kronen als stabilere Erscheinungsformen gelten (vgl. BURSCHEL und HUSS, 1997).

Betrachtet man die h/d Kurven der Kontrollflächen, so fällt auf, dass bei *A.araucana* die Differenzierung zwischen Bäumen mit freier und bedrängter Krone sowie bedrängter und überschirmter Krone sehr ähnlich ist, während bei *N.pumilio* die Bäume mit freier Krone wesentlich kleinere h/d Werte als die bedrängten und überschirmten Individuen aufweisen. Bei beiden Baumarten ergeben sich bei den jeweils dünnsten Individuen die höchsten h/d Werte, wobei jedoch zu bemerken ist, dass im Durchschnitt *A.araucana* stets Werte unter 80 aufweist, während bei *N.pumilio* nur die Bäume mit freien Kronen als stabil bezeichnet werden können, wenn man als Stabilitätsgrenze den h/d Wert von 80 nimmt. Mit zunehmenden BHD-Dimensionen steigt bei beiden Baumarten, unabhängig von der Kronenfreiheit der Bäume, die Stabilität. Die jeweils dicksten Bäume von *A.araucana* und *N.pumilio* weisen eine sehr ähnliche Stabilität auf (s. Abb. 26).

Vergleicht man die h/d Kurven der Behandlungsvarianten, wird zunächst festgestellt, dass bei beiden Baumarten genau die selben Straten zusammengefasst wurden wie beim Zusammenhang Höhe:BHD (vgl. Abb. 25 und Abb. 26). Das bedeutet, dass die Eingriffe die Stabilität der überschirmten *A.araucana* und *N.pumilio* Bäume nicht beeinflusst haben, da sie jeweils durch die gleiche Kurve dargestellt werden. Bei den Individuen mit bedrängter und freier Krone ist das anders; hier drückt sich der Einfluss der Eingriffe auf die h/d Werte durch eine Verschiebung der Kurven nach unten, d.h. zu stabileren Niveaus hin. Wie aus Abbildung 26 zu sehen ist, erfolgt diese Verschiebung hauptsächlich in den unteren BHD-Bereich. Bei den *A.araucana* Bäumen mit bedrängter und freier Krone erfolgt die Abnahme der h/d Werte auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung im gleichen Maße, während bei den entsprechenden *N.pumilio* Bäumen, nur diejenigen auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung stabiler sind. Auf den letztgenannten Flächen weisen im Durchschnitt die 10 cm dicken *N.pumilio* Individuen mit freien Kronen um 13 Punkte geringe Werte auf als die entsprechenden Bäume der anderen Behandlungsvarianten.

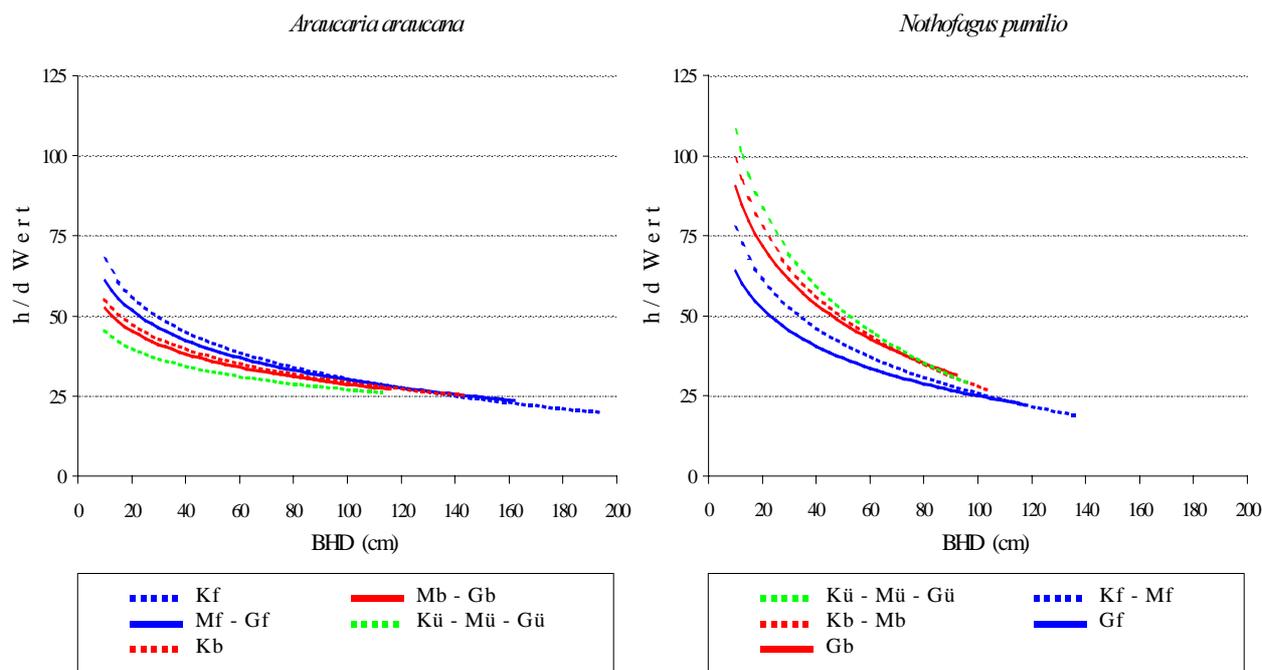


Abb. 26 : Regressionsgleichungen des Zusammenhangs h/d-Wert:BHD von *A.araucana* und *N.pumilio* für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlungsvariante

K = Kontrolle	f = freie Krone	(Kronenfreiheit 1)
M = Mittlere Grundflächenhaltung	b = bedrängte Krone	(Kronenfreiheit 2)
G = Geringe Grundflächenhaltung	ü = überschrönte Krone	(Kronenfreiheit 3)

#### 4.212.3 Kronenbreite

Die Kronenbreite ist für die vorliegende Arbeit von speziellem Interesse, erstens, weil es für *A.araucana* und *N.pumilio* im allgemeinen wenige Kronenangaben gibt (für plenterartige Wälder überhaupt keine!) und zweitens, weil es sich gezeigt hat, dass die Kronenbreite eine wichtige Kenngröße für die Bewertung von waldbaulichen Maßnahmen ist. Die Kronenbreiten beider Baumarten weisen in den untersuchten Plenterstrukturen zum BHD ein lineares Verhältnis und zur Höhe eine exponentielle Beziehung auf (s. Tab. 29).

Wie aus Abbildung 27 zu entnehmen ist, erreichen im Durchschnitt *A.araucana* und *N.pumilio* sehr ähnliche maximale Kronenbreiten. Allerdings ist zu bemerken, dass *N.pumilio* diese Kronenbreiten bei kleineren Durchmesser- und Baumhöhenwerten erreicht.

Anders als bei den Zusammenhängen Höhe:BHD und h/d-Wert:BHD ist hier die Reihenfolge der Kurven nach Kronenfreiheit bei beiden Baumarten die gleiche. Die Regressionskurven der *A.araucana* und *N.pumilio* Bäume mit freien Kronen liegen stets oberhalb der anderen, während die Kurven der überschrönten Bäume stets am tiefsten liegen. Die Kurven der bedrängten Individuen liegen zwischen denjenigen der Bäume mit freier und überschrönter Krone.

Betrachtet man die Regressionskurven der Kontrollflächen, also die jeweils gestrichelten Linien, wird festgestellt, dass bei *A.araucana* bei beiden Zusammenhängen die Kronenbreiten-differenzen zwischen Bäumen mit freier und bedrängter Krone sowie bedrängter und überschrönter Krone sehr ähnlich sind, während bei *N.pumilio* mit zunehmenden BHD bzw. Höhe die Bäume mit freier Krone wesentlich breitere Kronen als die bedrängten und

überschirmten Individuen aufweisen. Bei einem BHD von z.B. 90 cm haben *A.araucana* Bäume mit freier Krone im Durchschnitt 1,2 m breitere Kronen als bedrängte Individuen und diese wiederum 1,1 m breitere Kronen als überschirmte. Bei *N.pumilio* betragen diese Unterschiede 2,8 bzw. 1,6 m. Hinsichtlich des Zusammenhanges zur Höhe deutet im allgemeinen der exponentielle

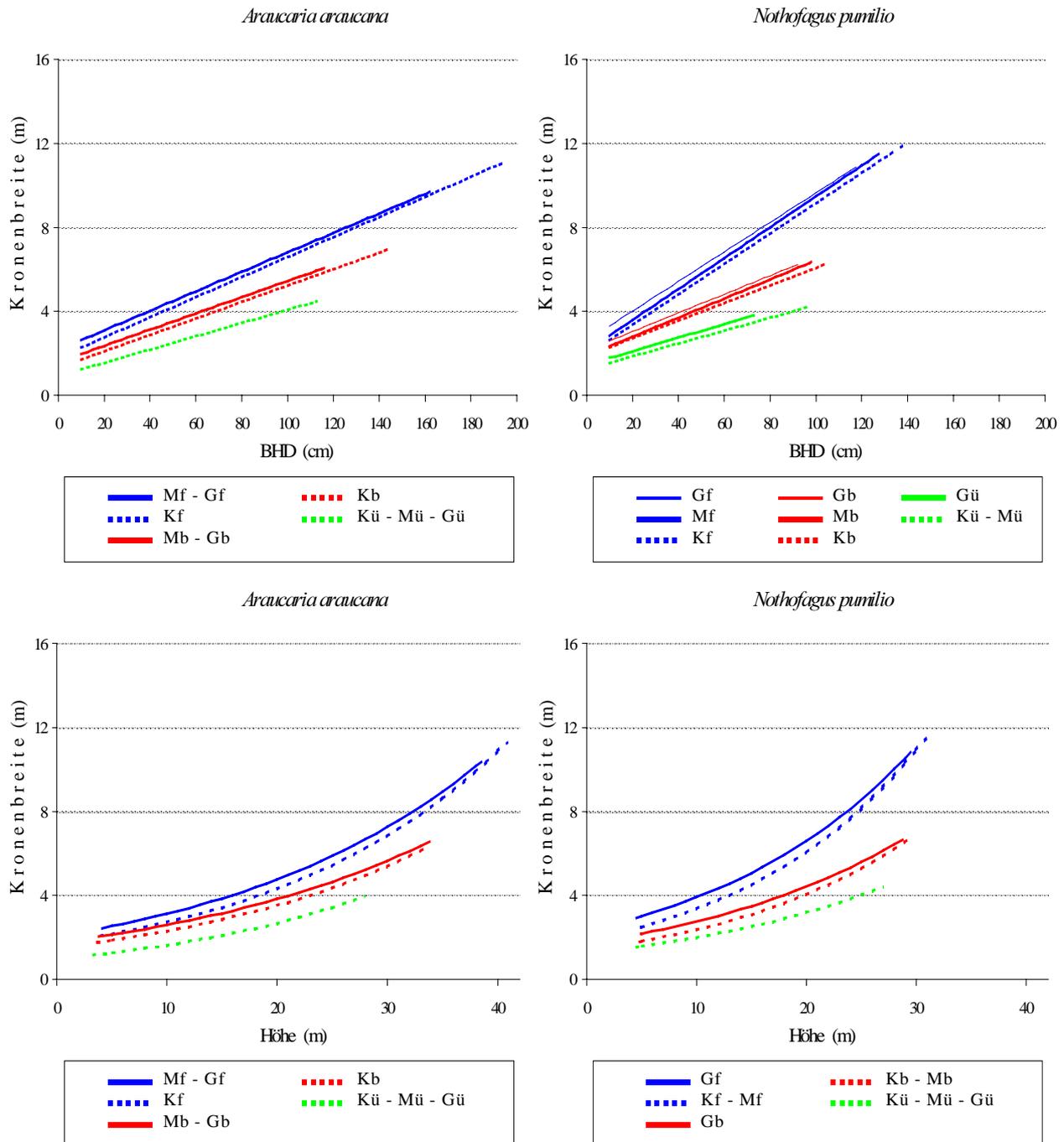


Abb. 27 : Regressionsgleichungen der Zusammenhänge Kronenbreite - BHD und Kronenbreite - Höhe von *A.araucana* und *N.pumilio* für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlungsvariante

K = Kontrolle	f = freie Krone	(Kronenfreiheit 1)
M = Mittlere Grundflächenhaltung	b = bedrängte Krone	(Kronenfreiheit 2)
G = Geringe Grundflächenhaltung	ü = überschirmte Krone	(Kronenfreiheit 3)

Verlauf der Kurven auf eine bessere Entwicklung der Kronenbreite ab mittleren Höhen hin. Bei *A.araucana* erfolgt dies ab einer Höhe von 20 m und bei *N.pumilio* schon ab 15 m. Wie schon erwähnt, drückt sich dieses Verhalten bei den *N.pumilio* Bäumen mit freier Krone am stärksten aus. Während z.B. bei den Bäumen mit bedrängter Krone die Kronenbreitedifferenz zwischen 15 und 25 m im Durchschnitt 2,2 m beträgt, ist dieser Unterschied bei den Bäumen mit freier Krone 3,7 m.

Hinsichtlich des Vergleiches der Behandlungsvarianten ist festzustellen, dass bei *A.araucana* in beiden Modellen sich die gleichen fünf Kurven ergeben, d.h., dass in beiden Fällen die gleichen Straten zusammengefasst wurden. Bei den Bäume mit freier und bedrängter Krone sind die Kurven der Flächen mit Eingriffen koinzident, während bei den übershirmten Bäume sogar die Kurven der drei Behandlungsvarianten gleich sind (s. Abb. 27). Bei *N.pumilio* ergaben sich für BHD und Höhe unterschiedliche Gruppierungen für die Regressionen. Für die Beziehung Kronenbreite:BHD ließen sich acht Regressionen differenzieren und für die Beziehung Kronenbreite:Höhe fünf. Wie aus Abbildung 27 zu entnehmen ist, sind bei der zuerst genannten Beziehung nur die Regressionen der übershirmten Bäume der Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung koinzident. Beim Zusammenhang Kronenbreite:Höhe, besteht bei den Bäumen mit freier und bedrängter Krone kein Unterschied zwischen den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung, während die übershirmten Individuen der drei Behandlungsvarianten durch die gleiche Kurve repräsentiert werden.

Die Auswirkung der waldbaulichen Maßnahmen drückt sich durch eine Verschiebung der Kurven nach oben hin aus, was bedeutet, dass die Kronen sich verbreitern. Es ist jedoch zu bemerken, dass diese Zunahme hauptsächlich bei den dünnsten bzw. niedrigsten Individuen erfolgt, wobei bei *N.pumilio* die Reaktion etwas stärker ist als bei *A.araucana*. Zum Beispiel, beträgt die Kronenbreitedifferenz bei 10 cm dicken *N.pumilio* Individuen mit freier Krone zwischen den Kontrollflächen und denen mit geringer Grundflächenhaltung 64 cm, während es bei den entsprechenden *A.araucana* Bäumen nur 32 cm sind<sup>47</sup> (s. Abb. 27). Das bedeutet, dass in der Periode 1982-1998 auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung die Kronenbreiten der *N.pumilio* und *A.araucana* Bäume mit diesen Dimensionen um 4,0 bzw. 2,0 cm/Jahr mehr zugenommen haben als diejenigen der entsprechenden Individuen auf den Kontrollflächen. Bei den bedrängten Bäumen ist im allgemeinen die Reaktion auf die Eingriffe beider Baumarten geringer. Zum Beispiel weisen *N.pumilio* Bäume mit einer Höhe von 6 m auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung 36 cm breitere Kronen auf als die entsprechenden Individuen auf den Flächen der anderen Behandlungsvarianten. Bei *A.araucana* beträgt diese Differenz zwischen den Kontrollflächen und denen mit Eingriffen nur 25 cm (s. Abb. 27).

#### 4.212.4 Kronenlänge

Die Kronenlänge ist der zweite berücksichtigte Kronenparameter zur Beurteilung der waldbaulichen Behandlungen. Für die Zusammenhänge zwischen den Kronenlängen von *A.araucana* und *N.pumilio* und dem BHD bzw. der Höhe haben sich unterschiedliche

---

<sup>47</sup> Bei *A.araucana* ist der Unterschied zwischen den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung auch 32 cm, denn zwischen Mf und Gf sind keine Differenzen vorhanden.

Regressionsmodelle als geeignet erwiesen. Zum BHD ergab sich ein linearer Zusammenhang und zur Höhe eine exponentielle Beziehung (s. Tab. 29).

Wie aus Abbildung 28 zu sehen ist, sind im allgemeinen die Kronen von *N.pumilio* länger als diejenigen von *A.araucana*. Bei beiden Baumarten weisen im Durchschnitt die Bäume mit freier Krone die längsten Kronen auf, gefolgt von den bedrängten Individuen und die überschirmten Bäume weisen stets die kürzesten Kronenlängen auf.

Betrachtet man die Kurven der Kontrollflächen wird, wie bei den Verhältnissen bei der Kronenbreite festgestellt, dass die Differenzen zwischen den Kronenfreiheitskurven bei *N.pumilio* größer sind als bei *A.araucana*. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Kronen der *N.pumilio* Bäume mit freier Krone mit zunehmenden BHD bzw. Höhe sich rascher verlängern als diejenigen der bedrängten und überschirmten Bäume dieser Art. Der Kronenlängenunterschied zwischen 40 cm dicken Bäumen mit freier und überschirmter Krone bei *A.araucana* und *N.pumilio* beträgt im Durchschnitt 2,3 bzw. 4,1 m, während der entsprechende Unterschied bei einem BHD von 90 cm bei 3,8 bzw. 6,5 m liegt. Ein weiteres Beispiel ist beim Zusammenhang Kronenlänge:Höhe zu sehen. Während bei *A.araucana* die Kronenlängendifferenz zwischen den Kurven der Bäume mit freier und bedrängter Krone relativ konstant ist, nimmt diese bei *N.pumilio* ab einer Höhe von 15 m wegen der stärkeren exponentiellen Zunahme der Kurve der Individuen mit freier Krone, wesentlich heftiger zu. Diese Kurvenverläufe deuten auf ein höheres Lichtbedürfnis von *N.pumilio* hin: zwar nehmen bei beiden Baumarten die Kronenlängen ab mittleren Höhen stark zu, bei *N.pumilio* ist diese Zunahme jedoch im Durchschnitt bei den Bäumen mit freier Krone am vehementesten. Auffallend ist, dass über 100 cm dicke Bäume der Baumart *A.araucana* relativ kurze Kronen aufweisen können, wobei zu bemerken ist, dass es sich dabei meistens um Bäume handelt, die überschirmt sind.

Vergleicht man die drei Behandlungsvarianten miteinander, so fällt zunächst auf, dass bei *A.araucana* und *N.pumilio* die Zusammenfassung der Regressionskurven bei beiden Zusammenhängen anders ist (s. Abb. 28). Bei *A.araucana* lassen sich für den Zusammenhang Kronenlänge:BHD sechs und für das Verhältnis Kronenlänge:Höhe fünf Kurven unterscheiden. Wie aus Abbildung 28 zu entnehmen ist liegt der Unterschied bei den bedrängten Bäumen, da bei der Beziehung zum BHD sich die Kurven der drei Behandlungsvarianten voneinander unterscheiden, während bei dem Verhältnis zur Höhe die Gleichungen der Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung gleich sind. Hinsichtlich der Baumart *N.pumilio* erwiesen sich in beiden Zusammenhängen sechs Kurven, wobei jedoch wie erwähnt die Koinzidenz anders ist. Bei dem Zusammenhang Kronenlänge:BHD sind bei den Bäumen mit freier Krone die drei Behandlungskurven unterschiedlich, bei den bedrängten Individuen sind die Kurven der Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung gleich und bei den überschirmten Bäume sind sogar die drei Behandlungskurven koinzident. Bei der Beziehung zur Höhe sind bei den drei Kronenfreiheitsklassen stets die Kurven der Kontrollflächen und die der Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung nicht zu unterscheiden.

Wie aus Abbildung 28 zu sehen ist, bewirken die Eingriffe eine Verlängerung der Kronen, vor allem bei dünneren bzw. niedrigeren Bäumen. Weiter zu bemerken ist, dass bei beiden Baumarten die Bäume mit freier und bedrängter Krone ähnlich auf die Eingriffe reagieren, wobei die Auswirkung auf *N.pumilio* etwas stärker ist als auf *A.araucana*. Der Kronenlängenunterschied

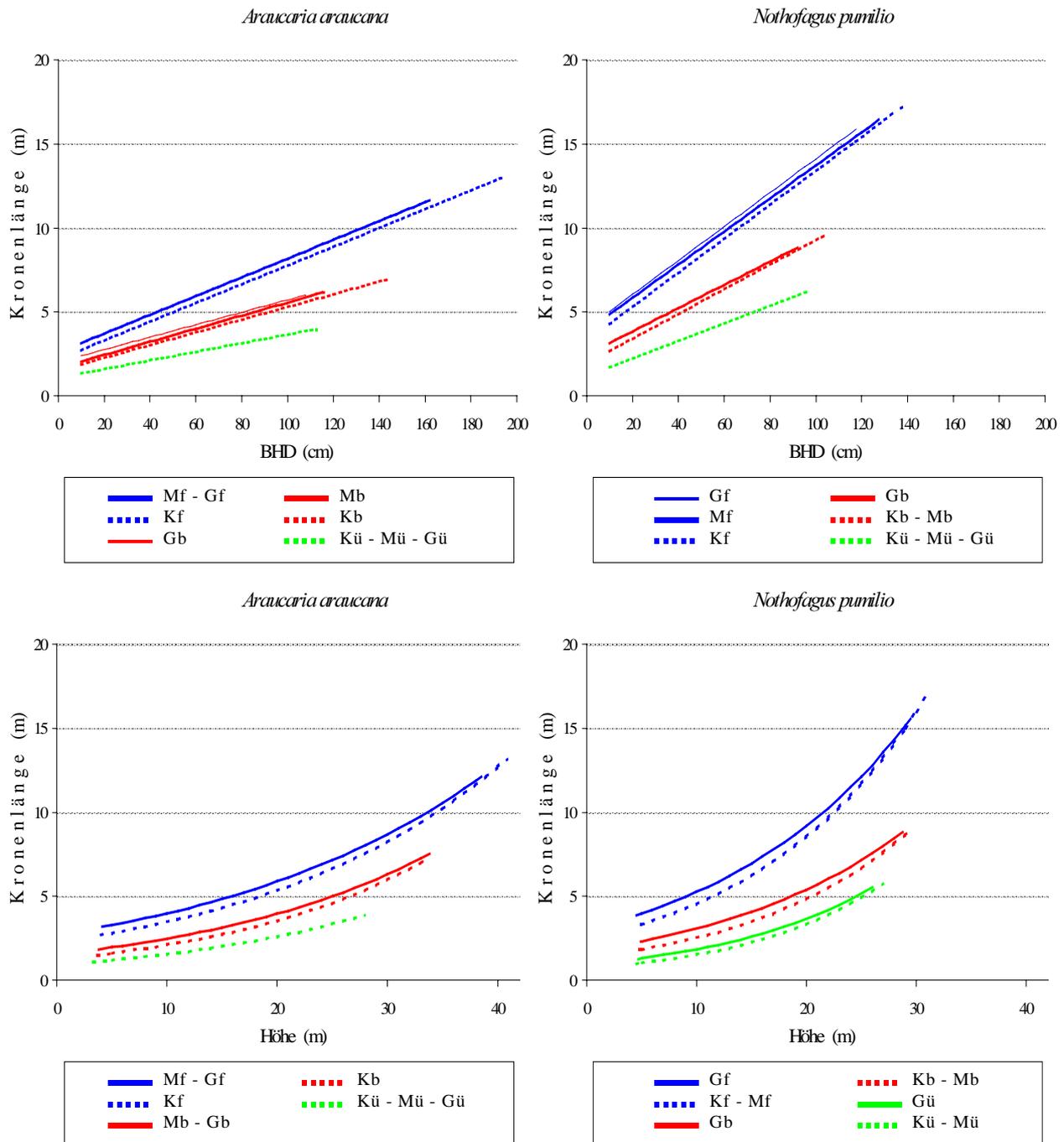


Abb. 28: Regressionsgleichungen der Zusammenhänge Kronenlänge:BHD und Kronenlänge:Höhe von *A.araucana* und *N.pumilio* für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlungsvariante

K = Kontrolle	f = freie Krone	(Kronenfreiheit 1)
M = Mittlere Grundflächenhaltung	b = bedrängte Krone	(Kronenfreiheit 2)
G = Geringe Grundflächenhaltung	ü = überschirmte Krone	(Kronenfreiheit 3)

bei 5 m hohen *A.araucana* Bäumen mit freier bzw. bedrängter Krone beträgt zwischen den Kontrollflächen und denen mit Eingriffen 39 bzw. 33 cm und bei den entsprechenden *N.pumilio* Individuen 63 bzw. 49 cm. Unterstellt man, dass in der Periode 1982-1998 die unteren Äste der Bäume nicht abgestorben sind, so ergibt sich, dass auf den Flächen mit Eingriffen in diesem

Höhenbereich die *A. araucana* Bäume mit freier und bedrängter Krone im Durchschnitt 2,5 bzw. 2,0 cm/Jahr mehr in die Höhe gewachsen sind als diejenigen auf den Kontrollflächen; bei *N. pumilio* beträgt die entsprechende Zunahme 4,0 bzw. 3,0 cm/Jahr.

Auffallend ist, dass beim Zusammenhang Kronenlänge:BHD die Kurven der bedrängten *A. araucana* Bäume der Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung (Kb und Mb) und die Kurven der *N. pumilio* Bäume mit freier Krone der Flächen mit Eingriffen (Mf und Gf) sehr ähnlich sind (s. Abb. 28). Ein statistischer Vergleich ist jedoch mit den verwendeten Codierungen nicht möglich, denn keine zugehörige Hypothese vergleicht die erwähnten Regressionsgleichungen und so testet auch keine Indikatorvariable diese Beziehungen. Anders ist es zum Beispiel bei den überschirmten *N. pumilio* Bäumen beim Verhältnis Kronenlänge:Höhe, denn auch wenn die beiden dargestellten Gleichungen sehr ähnlich sind, unterscheiden sie sich aus statistischer Sicht.

#### 4.212.5 Kronenindizes

Aus den beiden analysierten Kronenparametern können folgende Kronenindexe abgeleitet werden (vgl. ASSMANN, 1961; KRAMER und AKCA, 1995).

- Bekronungsgrad: Verhältnis der Kronenlänge zur Höhe
- Spreitungsgrad: Verhältnis der Kronenbreite zur Höhe
- Plumpheitsgrad: Verhältnis der Kronenbreite zur Kronenlänge, und
- Ausladungsverhältnis: Verhältnis der Kronenbreite zum Brusthöhendurchmesser

Diese Indexe wurden in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt, weil es sich gezeigt hat, dass die Zusammenhänge zwischen dem BHD bzw. der Höhe mit dem Bekronungsgrad, Spreitungsgrad, Plumpheitsgrad und Ausladungsverhältnis von großer Bedeutung für die Bewertung waldbaulicher Maßnahmen sind (EL KATEB, 2000).

Bei den regressionsanalytischen Untersuchungen zwischen diesen Kronenindizes mit dem BHD und der Höhe, waren trotz Erprobung von verschiedenen Transformationen bei zwei Zusammenhängen Abweichungen von der Modellannahme festzustellen (s. Kap. 3.443). Bei den Zusammenhängen Plumpheitsgrad:BHD und Plumpheitsgrad-Höhe von *N. pumilio* wurde die Normalitätsannahme abgelehnt. Beim ersten von diesen Zusammenhängen waren nach der Eliminierung der Ausreißer 4,1 % der studentisierten Residuenwerte größer als 1,96 und 3,6 % kleiner als -1,96. Beim Zusammenhang Plumpheitsgrad-Höhe waren sogar 4,6% der Residuenwerte oberhalb 1,96 und 3,9 % unterhalb -1,96. In beiden Fällen war dies auch deutlich am Normal Probability Plot nachzuvollziehen. Da die Abweichung von der Modellvoraussetzung wesentlich war, wurden diese Zusammenhänge in der vorliegenden Arbeit nicht weiter verfolgt, denn sie könnten zu falschen Interpretationen führen. Um in einem überschaubaren Rahmen zu bleiben, werden in diesem Kapitel nur die analytischen Ergebnisse der o.g. Kronenindexe zum BHD dargestellt.

Bei beiden Baumarten waren die ausgewählten Transformationen für die entsprechenden Zusammenhänge zwischen den Kronenindizes zum BHD und zur Höhe, mit Ausnahme des

Bekronungsgrades, die gleichen. Beim Verhältnis Bekronungsgrad:BHD hat sich für *A.araucana* und *N.pumilio* ein lineares Regressionsmodell als geeignet erwiesen und bei dem Verhältnis zur Höhe ein Polynom 2ten Grades. Der Spreitungsgrad hat zum BHD und zur Höhe auch ein polynomisches Verhältnis 2ten Grades und der Plumpeitsgrad und das Ausladungsverhältnis weisen logarithmische Beziehungen zum BHD und zur Höhe auf (s. Tab. 29).

Für alle vier Indizes sind bei den *A.araucana* Bäumen mit bedrängter und überschirmter Krone die Regressionsgleichungen der Flächen mit Eingriffen koinzident, während dies bei *N.pumilio* zwischen den Kurven der Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung der Fall ist. Die Regressionskurven der *A.araucana* und *N.pumilio* Bäume mit freier Krone weisen bei den vier Zusammenhängen unterschiedliche Koinzidenz auf.

### Bekronungsgrad

Der Bekronungsgrad von *A.araucana* ist niedriger als derjenige von *N.pumilio*, wengleich beide Baumarten im allgemeinen Werte unter 50 % aufweisen (s. Abb. 29). Bei beiden Baumarten sind die Bekronungsgrade umso größer je freier die Krone ist. Auf den Kontrollflächen nehmen bei *A.araucana* die Bekronungswerte mit zunehmenden BHD etwas ab, während die Verläufe der Kurven von *N.pumilio* praktisch unabhängig vom BHD sind. Dies ändert sich auf den Flächen mit Eingriffen, denn die Kurven weisen deutlich negative Steigungsparameter auf. Der Bekronungsgrad der dünneren *A.araucana* und *N.pumilio* Individuen nahm durch die Eingriffe stärker zu als derjenige der dickeren. Dies deutet darauf hin, dass die erzeugten Lichtverhältnisse in den entsprechenden Flächen mit Eingriffen zu einer Beschleunigung des Höhenwachstums bei den dünneren Bäumen geführt haben, wobei der Höhenwachstum rascher vonstatten ging als die Astreinigung (s. Abb. 29).

### Spreitungsgrad

Der Spreitungsgrad zeigt zum BHD einen konvexen Verlauf (s. Abb. 29). Das deutet darauf hin, dass die Bäume des untersten BHD-Bereiches ihre Kronen verhältnismäßig besser zur Seite entwickeln als dickere. Bei *A.araucana* gilt dies bis zu einem BHD von 80 cm und bei *N.pumilio* bis 60 cm. In diesen BHD-Bereichen lässt die Entwicklung der Kronenbreite im Verhältnis zum Höhenwachstum nach; der Spreitungsgrad nimmt wegen zunehmender Seitenkonkurrenz ab. Diejenigen Bäume die sich bis zu den größten BHD-Dimensionen und der oberen Höheschicht durchsetzen, sind nicht mehr so eingeengt und können ihre Kronen wieder in die Breite ausdehnen; der Spreitungsgrad nimmt wieder etwas zu.

Wie aus Abbildung 29 zu sehen ist, sind auf den Kontrollflächen die Spreitungsgradsdifferenzen zwischen den Kronenfreiheitsklassen bei *A.araucana* wesentlich geringer als bei *N.pumilio*. Bei der Laubbaumart beträgt der Unterschied zwischen den Kurven der Bäume mit freier und überschirmter Krone bei einem BHD von 10 cm im Durchschnitt 19 %.

Der Einfluss der waldbaulichen Maßnahmen auf den Spreitungsgrad der verschiedenen Kronenfreiheiten ist umso größer je geringer die Grundflächenhaltung. Dies ist bei den kleinsten *N.pumilio* Bäumen mit freier Krone am deutlichsten zu erkennen, denn diejenigen auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung haben im Durchschnitt einen 8,5 % höheren Spreitungsgrad als die entsprechenden Individuen auf den Kontrollflächen. Bei *A.araucana* ist diese Auswirkung auch nachzuvollziehen, jedoch nicht so stark ausgeprägt (s. Abb. 29).

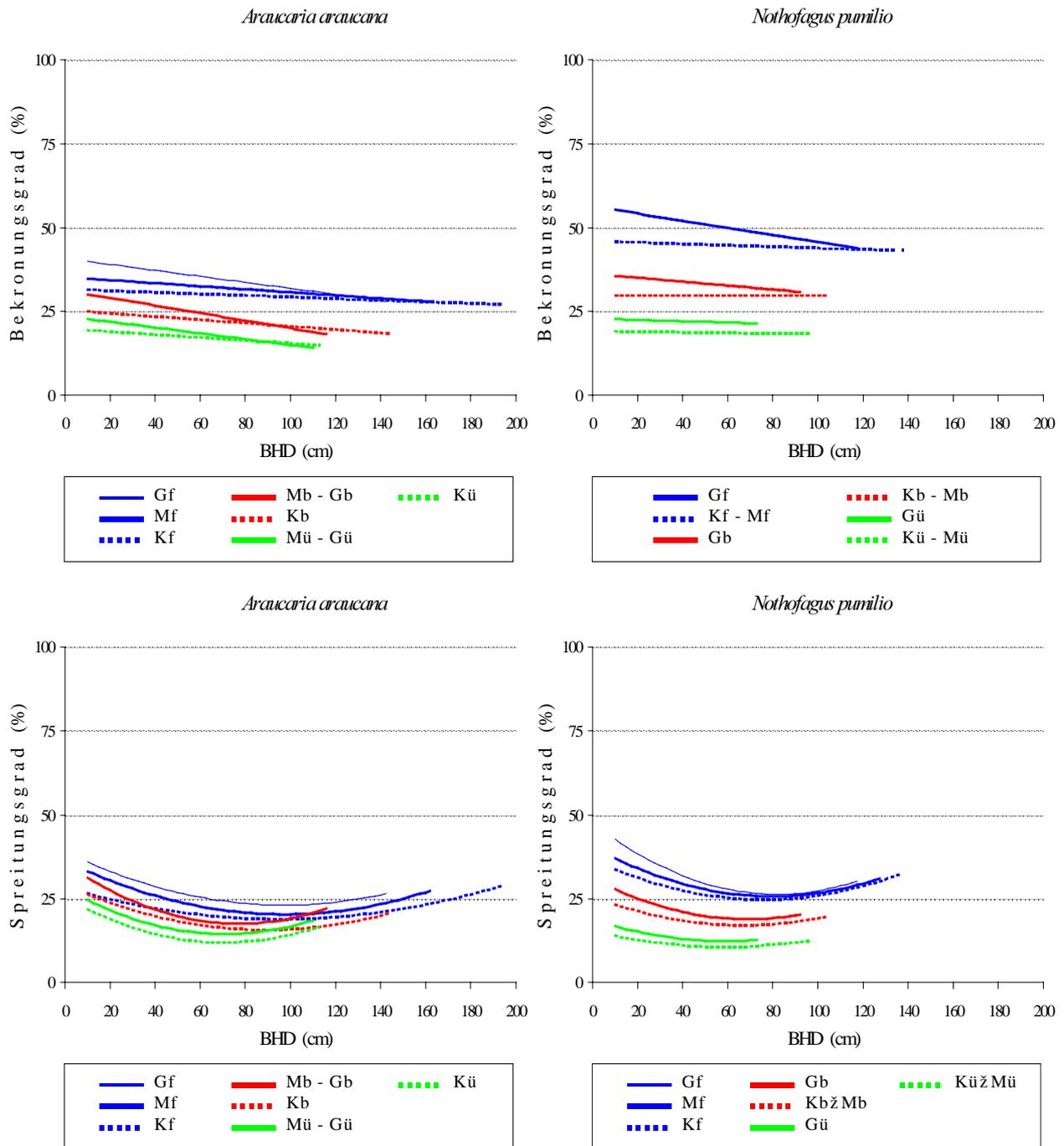


Abb. 29: Regressionsgleichungen der Zusammenhänge Bekronungsgrad:BHD und Spreitungsgrad:BHD von *A. araucana* und *N. pumilio* für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlungsvariante

K = Kontrolle	f = freie Krone	(Kronenfreiheit 1)
M = Mittlere Grundflächenhaltung	b = bedrängte Krone	(Kronenfreiheit 2)
G = Geringe Grundflächenhaltung	ü = überschilderte Krone	(Kronenfreiheit 3)

### Plumpheitsgrad

Der Zusammenhang Plumpheitsgrad:BHD wird, wie schon erwähnt, nur für *A. araucana* dargestellt, da für *N. pumilio* die Modellvoraussetzungen nicht erfüllt waren. Wie aus Abbildung 30 zu entnehmen ist, sind auf den Kontrollflächen die Kronen von *A. araucana* umso plumper je

überschirmter die Bäume sind. Die völlig überschirmten Bäume auf den Kontrollflächen weisen sogar Werte über 100 % auf, d.h., dass die Kronen genau so breit sind wie lang. Mit zunehmender Kronenfreiheit nehmen die Plumpheitsgrade ab. Dies deutet darauf hin, dass günstigere Lichtverhältnisse in den untersuchten Plenterstrukturen eher die Entwicklung der Kronenlänge fördern als die Kronenbreite. Die Individuen mit bedrängter und freier Krone auf den Kontrollflächen weisen ab einem BHD von 70 cm praktisch gleiche Plumpheitsgrade auf. Die Kronenbreite dieser Individuen entspricht 80 % ihrer Kronenlänge.

Die Auswirkung der Eingriffe auf den Plumpheitsgrad ließ sich zwischen den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung bei keiner Kronenfreiheitsklasse statistisch unterscheiden. Auf diesen Flächen wurden im allgemeinen die Lichtverhältnisse verbessert, das Höhenwachstum der Unterschicht wurde gefördert, die Krone wurde länger und die Plumpheitsgrade der Bäume nahmen ab. Die relativ stärkere Veränderung bei den überschirmten Bäumen liegt an der Reaktion der Kronenbreite bei den freier stehenden Bäume. Die Eingriffe provozierten jedoch bei den Bäumen mit freier Krone und BHD > 50 cm eine relativ stärkere Reaktion der Kronenbreite (s. Abb. 30). Dies deutet darauf hin, das im Urwald im Durchschnitt die dickeren *A.araucana* Bäume mit freier Krone eine recht ungestörte Höhenentwicklung haben.

#### Ausladungsverhältnis

Im unteren BHD-Bereich ist die Kronenbreite beider Baumarten im Verhältnis zum BHD um ein Mehrfaches größer als in den mittleren bzw. größeren BHD-Bereichen, wobei zu bemerken ist, dass das Ausladungsverhältnis von *N.pumilio* stets wesentlich höher ist als das von *A.araucana* (s. Abb. 30).

Betrachtet man die Kurven der Kontrollflächen, so wird festgestellt, dass bei *A.araucana* im ganzen BHD-Spektrum die Differenzen beim Ausladungsverhältnis zwischen den Bäumen mit freier und bedrängter Krone sehr ähnlich mit denen zwischen den bedrängten und überschirmten Individuen sind, während bei *N.pumilio* mit zunehmenden BHD das Ausladungsverhältnis der bedrängten und überschirmten Individuen schneller abnimmt als das der Bäume mit freien Kronen.

Die waldbaulichen Eingriffe haben bei *A.araucana* praktisch keinen Einfluss auf diesen Kronenindex, auch wenn sich die entsprechenden Kurven statistisch unterscheiden. Bei den *A.araucana* Individuen mit freier Krone sind nur die Werte der kleineren Bäume der Flächen mit Eingriffen etwas höher als diejenigen der Kontrollflächen und bei den bedrängten Bäumen schneiden sich die Kurven, was aus praktischer Sicht kein Unterschied darstellt. Die überschirmten *A.araucana* Individuen der drei Behandlungsvarianten werden durch die selbe Gleichung repräsentiert. Bei *N.pumilio* differenzieren sich die Behandlungsvarianten deutlicher. Wie aus dem Verhältnissen des Spreitungsgrades abzuleiten war, erhöhen die waldbaulichen Eingriffe hauptsächlich das Ausladungsverhältnis der kleineren *N.pumilio* Bäume. Auch wenn im allgemeinen die besseren Lichtverhältnisse im unteren BHD-Bereich eher die Kronenlänge fördert, nimmt die Kronenbreite verhältnismäßig rascher zu als der entsprechende BHD-Zuwachs. Die Kurven mit gleicher Kronenfreiheit tendieren mit zunehmenden BHD-Dimensionen zu gleichen Werten, was bedeutet, bei den dickeren *N.pumilio* Bäume keine Differenzen zwischen den Behandlungsvarianten vorhanden sind (s. Abb. 30).

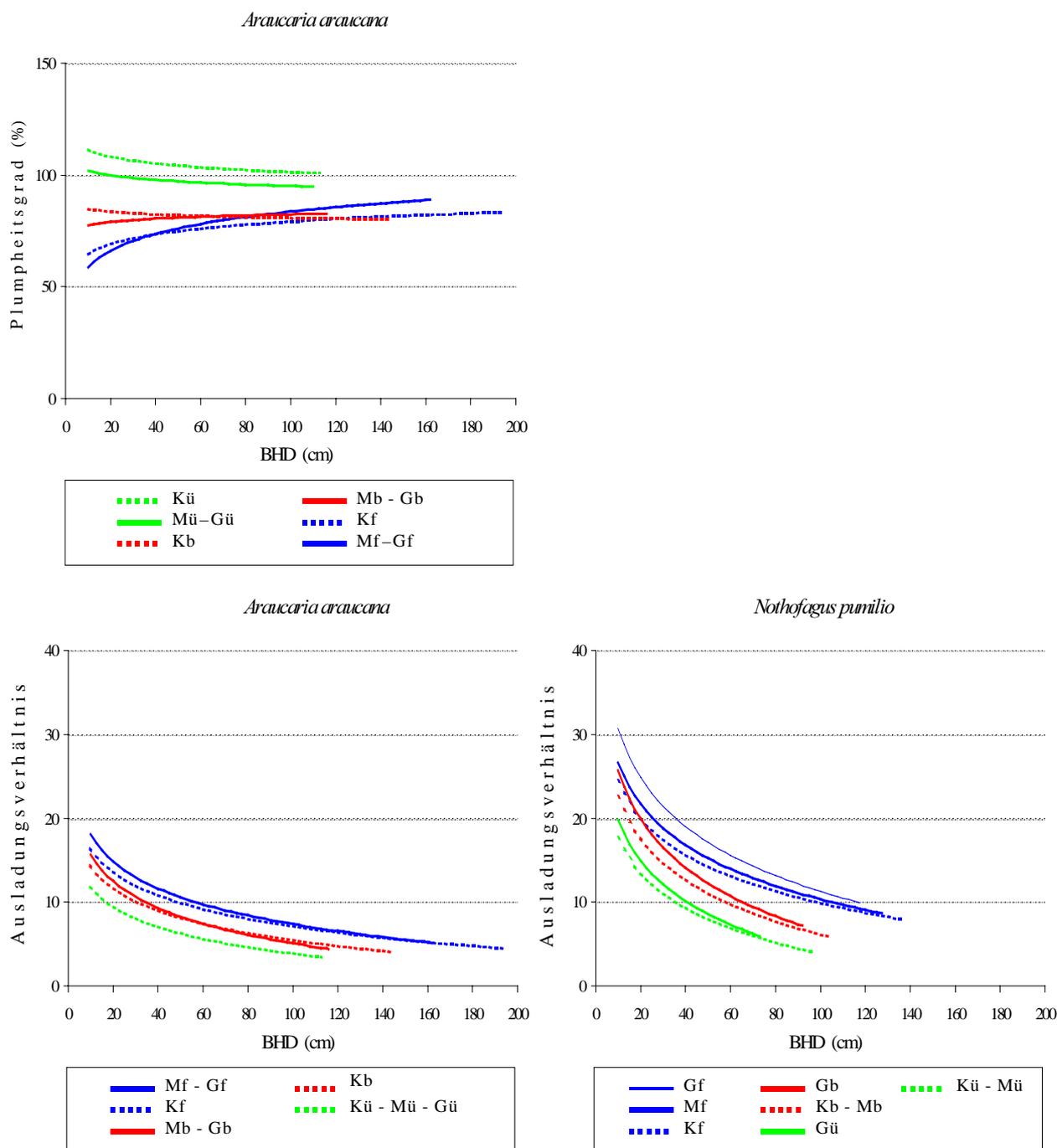


Abb. 30: Regressionsgleichungen der Zusammenhänge Plumpheitsgrad:BHD von *A. araucana* und Ausladungsverhältnis:BHD von *A. araucana* und *N. pumilio* für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlungsvariante

K = Kontrolle  
 M = Mittlere Grundflächenhaltung  
 G = Geringe Grundflächenhaltung

f = freie Krone (Kronenfreiheit 1)  
 b = bedrängte Krone (Kronenfreiheit 2)  
 ü = überschrmmte Krone (Kronenfreiheit 3)

#### 4.212.6 BHD-Zuwachs

Der Einfluss der waldbaulichen Behandlungen auf den Brusthöhendurchmesserzuwachs wurde anhand zweier verschiedener Verfahren analysiert:

- BHD-Zuwächse, die sich aus den Differenzen der Aufnahmen in 1982 und 1998 errechnen lassen und
- BHD-Zuwächse, die sich aus den Analysen der Bohrspäne ergeben.

#### 4.212.61 Vollkluppung

Der Zuwachs in der Periode 1982-1998 kann als Differenz der Ergebnisse der Vollkluppungen beider Aufnahmen errechnet werden. Für die regressionsanalytische Untersuchung wurde der durchschnittliche Jahreszuwachs der Periode zugrunde gelegt. Der Zusammenhang zwischen den Jahreszuwächsen und dem Ausgangs-BHD und der Höhe kann bei beiden Baumarten mit einem polynomischen Regressionsmodell 2ten Grades beschreiben werden. Um in einem überschaubaren Rahmen zu bleiben, wird in diesem Kapitel nur der Zusammenhang zum BHD dargestellt.

Der BHD-Zuwachs von *N.pumilio* war stets größer als derjenige von *A.araucana*. Bei beiden Baumarten ist der Verlauf der Regressionsgleichungen konkav, was bedeutet, dass die maximalen BHD-Zuwachswerte sich in dem mittleren BHD-Bereich befinden (s. Abb. 31).

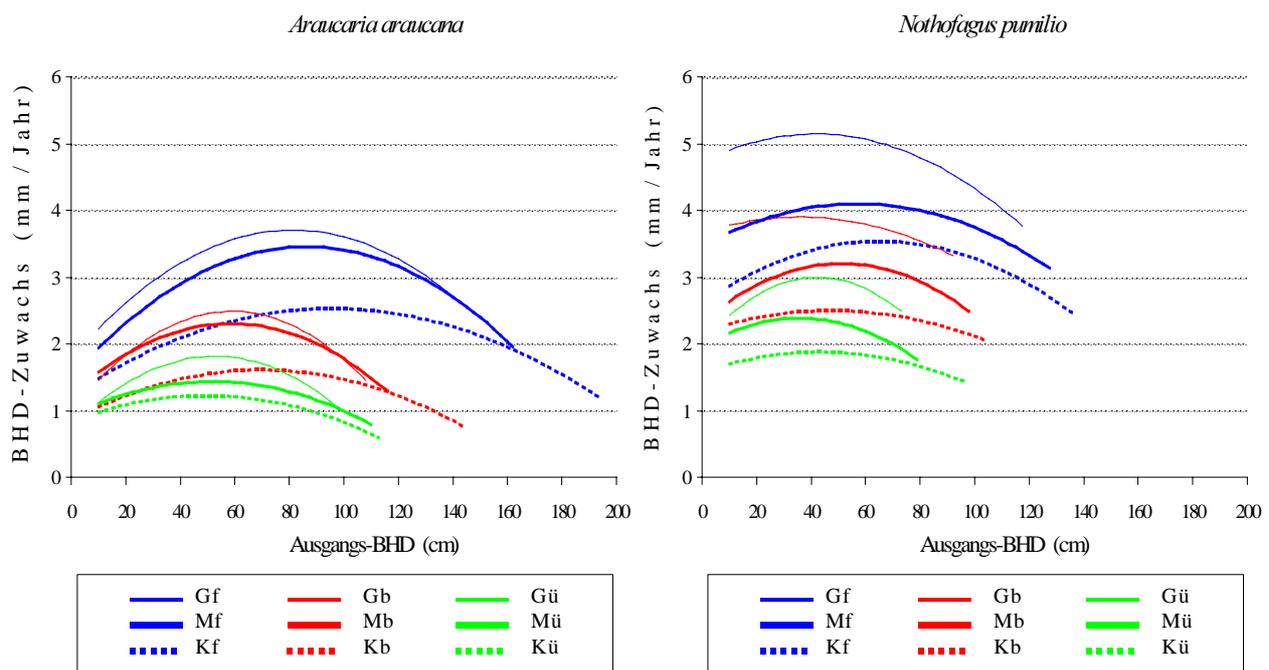


Abb. 31: Regressionsgleichungen des Zusammenhangs BHD-Zuwachs:Ausgangs-BHD von *A.araucana* und *N.pumilio* für die entsprechenden Kronenfreiheitsklassen pro Behandlungsvariante

K = Kontrolle	f = freie Krone	(Kronenfreiheit 1)
M = Mittlere Grundflächenhaltung	b = bedrängte Krone	(Kronenfreiheit 2)
G = Geringe Grundflächenhaltung	ü = überschirmte Krone	(Kronenfreiheit 3)

Die Differenzen zwischen den Kronenfreiheitsklassen und den Behandlungsvarianten sind aus der Abbildung 31 deutlich zu entnehmen. Für beide Baumarten gilt: je freier die Krone und je

geringer die Grundflächenhaltung desto größer sind die BHD-Zuwächse. Die Zuwachsunterschiede zwischen den einzelnen Kronenfreiheitslassen sind jedoch stark von den BHD-Dimensionen der Bäume abhängig. Zum Beispiel, weisen die 10 cm dicke *A.araucana* Bäume mit überschirmter und bedrängter Krone auf den Kontrollflächen praktisch den selben BHD-Zuwachs auf. Mit zunehmenden BHD-Dimensionen wachsen jedoch die überschirmten Individuen weniger als die bedrängten. Bei einem BHD z.B. von 60 cm beträgt der Zuwachs der überschirmten Bäume nur 1,2 mm/Jahr, während die Individuen mit bedrängter Krone schon 1,6 mm/Jahr zuwachsen. Gleich dicke Bäume, aber mit freien Kronen wachsen dagegen 2,4 mm/Jahr. Betrachtet man die Zuwächse von gleich dicken Bäume mit freien Kronen auf den Flächen mit Eingriffen so stellt man fest, dass auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung der Zuwachs 0,9 mm/Jahr höher ist als auf den Kontrollflächen und auf denen mit geringer Grundflächenhaltung sogar 1,2 mm/Jahr (s. Abb. 31).

Bei *A.araucana* sind die größten BHD-Zuwachsdifferenzen zwischen den Behandlungsvarianten im BHD-Bereich zwischen 50 und 70 cm nachzuweisen. Wie aus Abbildung 31 zu sehen, setzen sich die Zuwächse der Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung deutlich von denen auf den Kontrollflächen ab. Der nicht allzu große Unterschiede zwischen den Zuwächsen der Flächen mit Eingriffen deutet darauf hin, dass *A.araucana* auf waldbauliche Maßnahmen die zu einer geringeren Grundflächenhaltung führen nicht viel heftiger reagiert als auf Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung. Diese Baumart kann sich schon mit mäßigen Lichtverhältnissen gut entwickeln.

Anders als bei der Konifere sind bei *N.pumilio* mit freier und bedrängter Krone die stärksten BHD-Zuwachsdifferenzen zwischen den Behandlungsvarianten bei den dünnsten Individuen festzustellen. Bei den überschirmten ergeben sich die höchsten Differenzen bei den Bäumen mit BHD 40 cm. Im Vergleich zu *A.araucana* sind die Zuwachsreaktionen der *N.pumilio* Individuen auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung noch wesentlich stärker als diejenigen auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung (s. Abb. 31).

#### 4.212.62 Bohrspananalyse

Von den insgesamt 789 im Gelände gewonnenen Bohrspänen, konnten 306 *A.araucana*- und 231 *N.pumilio*-Bohrspäne ausgewertet werden. Die übrigen waren beschädigt und konnten nicht analysiert werden.

#### Gruppierung in Teilkollektive

Um die zahlreichen ausgewerteten Bohrspäne besser interpretieren zu können, wurden sie zuerst bei jeder Behandlungsvariante in statistisch einheitliche Teilkollektive gruppiert (s. Kap. 3.42). Das Kriterium „Kronenfreiheit pro Höhenschicht“ erbrachte für beide Baumarten mit Abstand die besten Resultate. Die überwiegende Mehrheit der durchgeführten  $\chi^2$ -Tests mit diesen Gruppierungsvariablen ergab, dass die Nullhypothese auf Gleichheit der Zuwachsverläufe innerhalb jedes Teilkollektivs nicht abgelehnt werden konnte. Zusätzlich ergaben die Varianzanalysen, dass die Nullhypothese auf Gleichheit der Zuwachsmittelwerte der jeweiligen Perioden (1962-1976, 1977-1982 und 1983-1997) innerhalb jedes Teilkollektivs auch nicht abgelehnt werden konnte. Aus diesem Grund wurde im weiteren mit den durchschnittlichen Zuwachskurven pro Teilkollektiv gearbeitet. In Tabelle 32 wird für *A.araucana* und *N.pumilio*

die Anzahl der Bohrspäne für jedes Teilkollektiv „Kronenfreiheit pro Höenschicht“ wiedergegeben.

Baumart	Behandlung	Kronenfreiheit	Höenschicht				Gesamt
			< 10 m	10-20 m	20-30 m	> 30 m	
<i>A.araucana</i>	Kontrolle	1	9	11	12	11	43
		2	9	10	11	10	40
		3	8	9	11	-	28
		Gesamt	26	30	34	21	111
	Schwacher Eingriff	1	9	8	10	11	38
		2	9	8	11	9	37
		3	9	9	10	-	28
		Gesamt	27	25	31	20	103
	Starker Eingriff	1	11	9	8	9	37
		2	8	9	10	-	27
		3	9	10	9	-	28
		Gesamt	28	28	27	9	92
<i>N.pumilio</i>	Kontrolle	1	8	9	9	-	27
		2	7	8	8	-	25
		3	8	8	9	-	28
		Gesamt	23	25	26	-	74
	Schwacher Eingriff	1	8	10	10	-	29
		2	9	7	9	-	27
		3	10	9	8	-	30
		Gesamt	27	26	27	-	80
	Starker Eingriff	1	10	9	8	-	28
		2	8	10	9	-	29
		3	7	9	7	-	26
		Gesamt	25	28	24	-	77

Tab. 32: Anzahl ausgewerteter *A.araucana* und *N.pumilio* Bohrspäne, die nach den BHD-Zuwächsen statistisch einheitliche Teilkollektive bilden. Die Teilkollektive in jeder Behandlung entsprechen den Kronenfreiheitsklassen pro Höenschicht

Wie aus Tabelle 32 zu entnehmen ist, gibt es keine allzu großen Unterschiede zwischen der Anzahl an Bohrspänen pro Teilkollektiv. In der Höenschicht > 30 m waren keine *N.pumilio* Individuen vorhanden, weshalb die Gesamtanzahl der Bohrspäne dieser Baumart geringer ist.

Die BHD-Zuwächse beider Baumarten auf den Kontrollflächen haben sich in den letzten 35 Jahren (1962-1997) nicht wesentlich verändert (s. Abb. 32 und Abb. 33). Die Hypothese auf Gleichheit der Zuwachsmittelwerte der Perioden 1962-1976, 1977-1982 und 1983-1997 konnte bei keinem Teilkollektiv abgelehnt werden. Vergleicht man die entsprechenden Teilkollektive (also gleiche Kronenfreiheit und Höenschicht) zwischen den Behandlungsvarianten, wird festgestellt, dass die BHD-Zuwächse der Perioden 1962-1976 und 1977-1982 auch keine statistischen Differenzen aufweisen, was darauf hinweist, dass die Bestände vor der Anlage der Behandlungen gleiche BHD-Zuwachsentwicklungen hatten. Die selben Vergleiche für die Periode nach den Eingriffen (1983-1997) weisen jedoch signifikante Differenzen auf.<sup>48</sup> Die waldbaulichen Maßnahmen haben also den BHD-Zuwachs beider Baumarten beeinflusst.

<sup>48</sup> Bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,001$ .

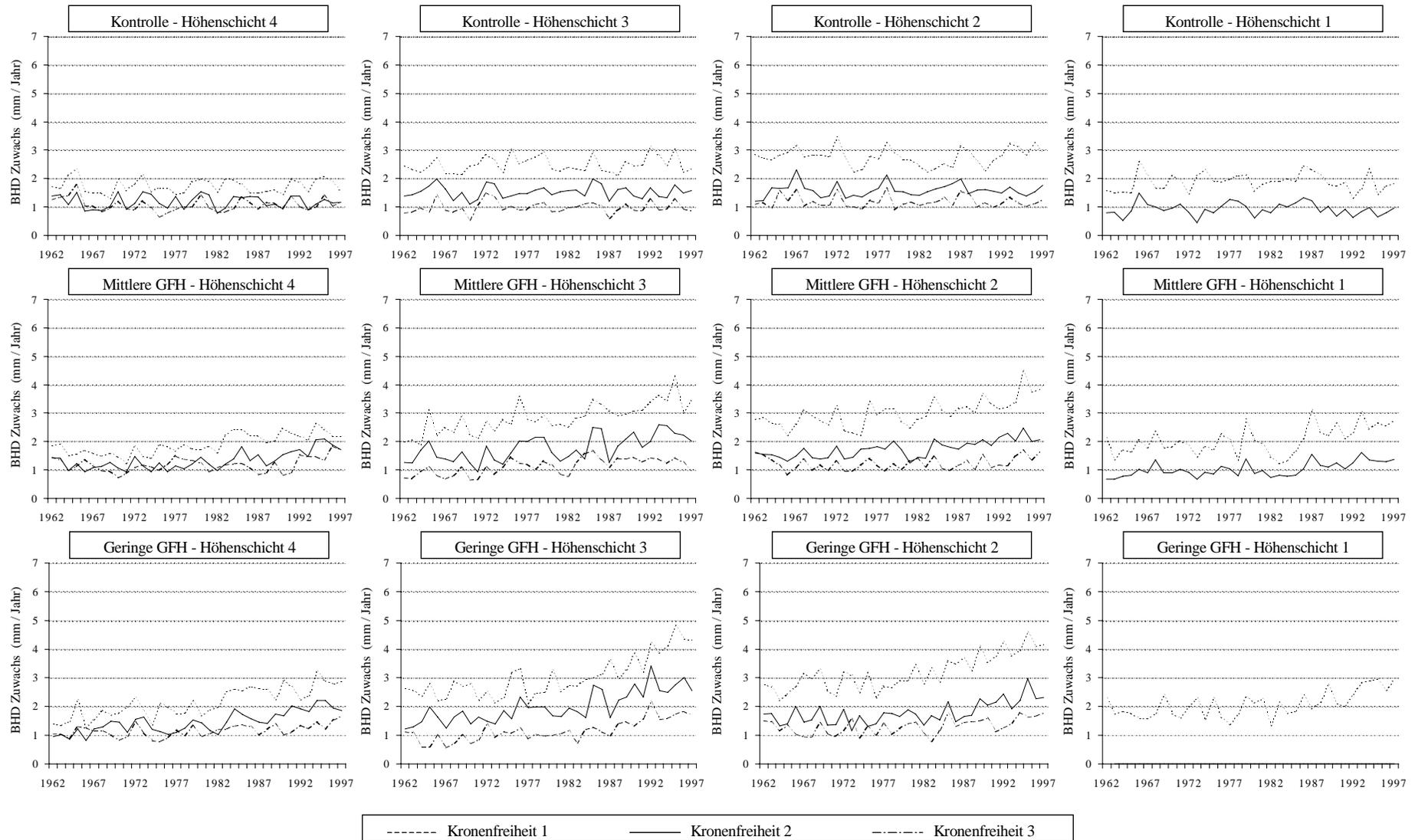


Abb. 32: Graphische Darstellungen der jährlichen BHD-Zuwächse der Teilkollektive von *A. araucana* für die Periode 1962-1997

Höhenschicht 1 = > 30 m; Höhenschicht 2 = 20 - 30 m; Höhenschicht 3 = 10 - 20 m und Höhenschicht 4 = < 10 m  
 Kronenfreiheit 1 = freie Krone; Kronenfreiheit 2 = bedrängte Krone und Kronenfreiheit 3 = überschirmte Krone

## Ergebnisse

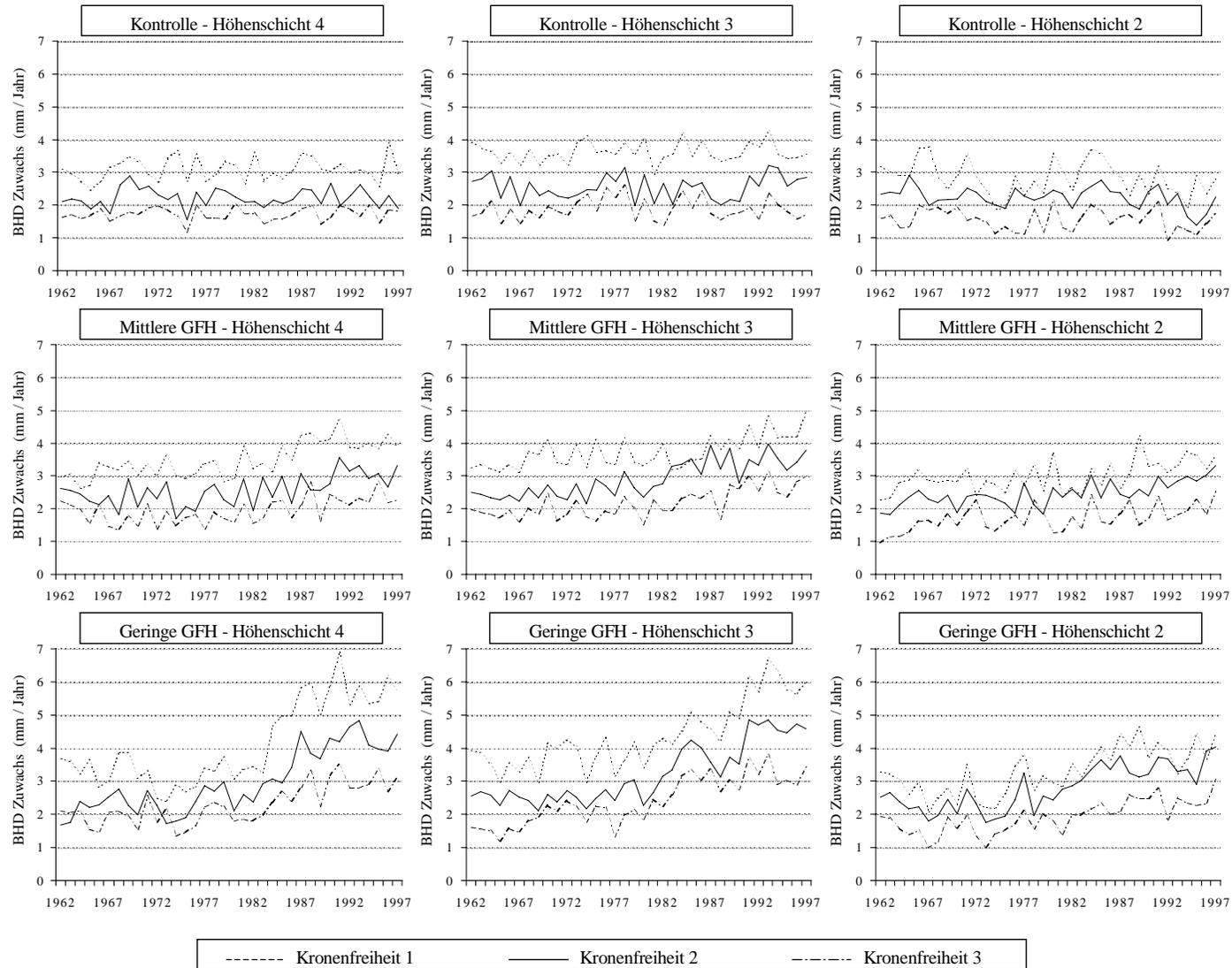


Abb. 33: Graphische Darstellungen der jährlichen BHD-Zuwächse der Teilkollektive von *N. pumilio* für die Periode 1962-1997

Höhenschicht 1 = > 30 m; Höhenschicht 2 = 20 - 30 m; Höhenschicht 3 = 10 - 20 m und Höhenschicht 4 = < 10 m  
 Kronenfreiheit 1 = freie Krone; Kronenfreiheit 2 = bedrängte Krone und Kronenfreiheit 3 = überschilderte Krone

Vergleich zwischen verschiedenen Teilkollektiven

Aus den Abbildungen 32 und 33 ist zu sehen, dass im Urwald, also auf allen Flächen vor der Anlage der Behandlungen sowie auf den Kontrollflächen, bei *A.araucana* die Bäume der Höheschichten 10-20 und 20-30 m die höchsten Zuwächse leisten. Bei *N.pumilio* wurden die höchsten Zuwächse in der Höheschicht 10-20 m erreicht, jedoch mit nur unwesentlichen Unterschieden zu den anderen Höheschichten. Bei beiden Baumarten sind die Zuwachsunterschiede zwischen den Höheschichten größer je freier die Kronen sind. Das bedeutet, dass sich bei Bäumen mit freier Krone die Zugehörigkeit zu einer Höheschicht deutlich stärker auf den Zuwachs auswirkt als bei bedrängten und überschirmten Bäumen. Bei letzteren ist der BHD-Zuwachs weitgehend unabhängig von den Höheschichten.

Für die Periode nach der Anlage der Behandlungen (1983-1997) sind aus den Abbildungen 32 und 33 bei einigen Teilkollektiven deutliche Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten erkennbar. Um diese Differenzen jedoch besser zu erfassen, werden in der Tabelle 33 die durchschnittlichen Zuwächse der verschiedenen Teilkollektive für die Periode 1983-1997 angegeben. Die BHD-Zuwächse der Teilkollektive auf den Kontrollflächen entsprechen auch den Zuwächsen der Periode 1962-1982 der drei Behandlungsvarianten, denn wie schon erwähnt, waren hier keine statistischen Differenzen nachzuweisen.

Baumart	Behandlung	Kronenfreiheit	Höhenschicht				Mittelwert
			< 10 m	10-20 m	20-30 m	> 30 m	
<i>A.araucana</i>	Kontrolle	1	1,76	2,52	2,76	1,90	2,23
		2	1,19	1,55	1,62	0,94	1,32
		3	1,00	1,09	1,19	-	1,10
		Mittelwert	1,35	1,69	1,86	1,42	1,55
	Mittlere Grundflächenhaltung	1	2,27	3,26	3,39	2,30	2,80
		2	1,59	2,07	1,98	1,19	1,71
		3	1,26	1,35	1,28	-	1,30
		Mittelwert	1,71	2,23	2,22	1,74	1,94
	Geringe Grundflächenhaltung	1	2,66	3,63	3,76	2,38	3,11
		2	1,80	2,46	2,05	-	2,10
		3	1,30	1,45	1,42	-	1,40
		Mittelwert	1,92	2,51	2,42	2,38	2,20
<i>N.pumilio</i>	Kontrolle	1	3,05	3,66	2,81	-	3,17
		2	2,21	2,57	2,19	-	2,32
		3	1,72	1,90	1,56	-	1,73
		Mittelwert	2,33	2,71	2,18	-	2,41
	Mittlere Grundflächenhaltung	1	3,94	4,01	3,26	-	3,74
		2	2,90	3,45	2,73	-	3,03
		3	2,21	2,53	1,91	-	2,21
		Mittelwert	3,02	3,33	2,63	-	2,99
	Geringe Grundflächenhaltung	1	5,44	5,31	3,92	-	4,89
		2	3,92	4,15	3,44	-	3,84
		3	2,81	3,13	2,35	-	2,76
		Mittelwert	4,05	4,19	3,24	-	3,83

Tab. 33: Durchschnittliche BHD-Jahreszuwächse der Teilkollektive von *A.araucana* und *N.pumilio* für die Periode 1983-1997 (nach der Anlage der Behandlung)

Bei *A.araucana* steigt der BHD-Zuwachs auf den Kontrollflächen bei allen Kronenfreiheitsklassen bis zur Höheschicht 20-30 m an. Die höchsten Zuwächse werden in der letztgenannten Schicht von den Bäumen mit freier Krone erreicht: 2,76 mm/Jahr. Andererseits

wachsen die überschirmten *A.araucana* Bäume unter 10 m Höhe, 1,0 mm/Jahr. Der Zuwachs der überschirmten Individuen ändert sich nicht allzu sehr mit zunehmender Höhe. Bei den allerhöchsten *A.araucana* Bäume (> 30 m) sinkt der BHD-Zuwachs bei den Bäumen mit freier und bedrängter Krone wieder auf 1,90 und 0,94 mm/Jahr respektiv ab. Der durchschnittliche *A.araucana* BHD-Zuwachs der vier Höhengschichten ist bei den Kontrollflächen 1,55 mm/Jahr.

Bei *N.pumilio* beträgt der durchschnittliche BHD-Zuwachs auf den Kontrollflächen, 2,41 mm/Jahr. Die höchsten Zuwächse werden in der Höhengschicht 10-20 m erreicht. Dies ist bei allen Kronenfreiheitsklassen der Fall, wobei die Bäume mit freier Krone die allerhöchsten BHD-Zuwächse leisten, nämlich 3,66 mm/Jahr. Die niedrigsten Zuwächse finden sich bei den Bäumen mit überschirmter Krone der Höhengschicht 20-30 m und im allgemeinen wachsen die höchsten *N.pumilio* Bäume weniger als die allerkleinsten (s. Tab. 33).

Auf den Flächen mit Eingriffen sind die BHD-Zuwächse der Periode 1983-1997 bei allen Teilkollektiven von *A.araucana* und *N.pumilio* größer als die entsprechenden Zuwächse auf den Kontrollflächen. Die Zuwächse der Flächen mit geringer Grundflächenhaltung sind wiederum stets größer als diejenigen der Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung (s. Tab. 33).

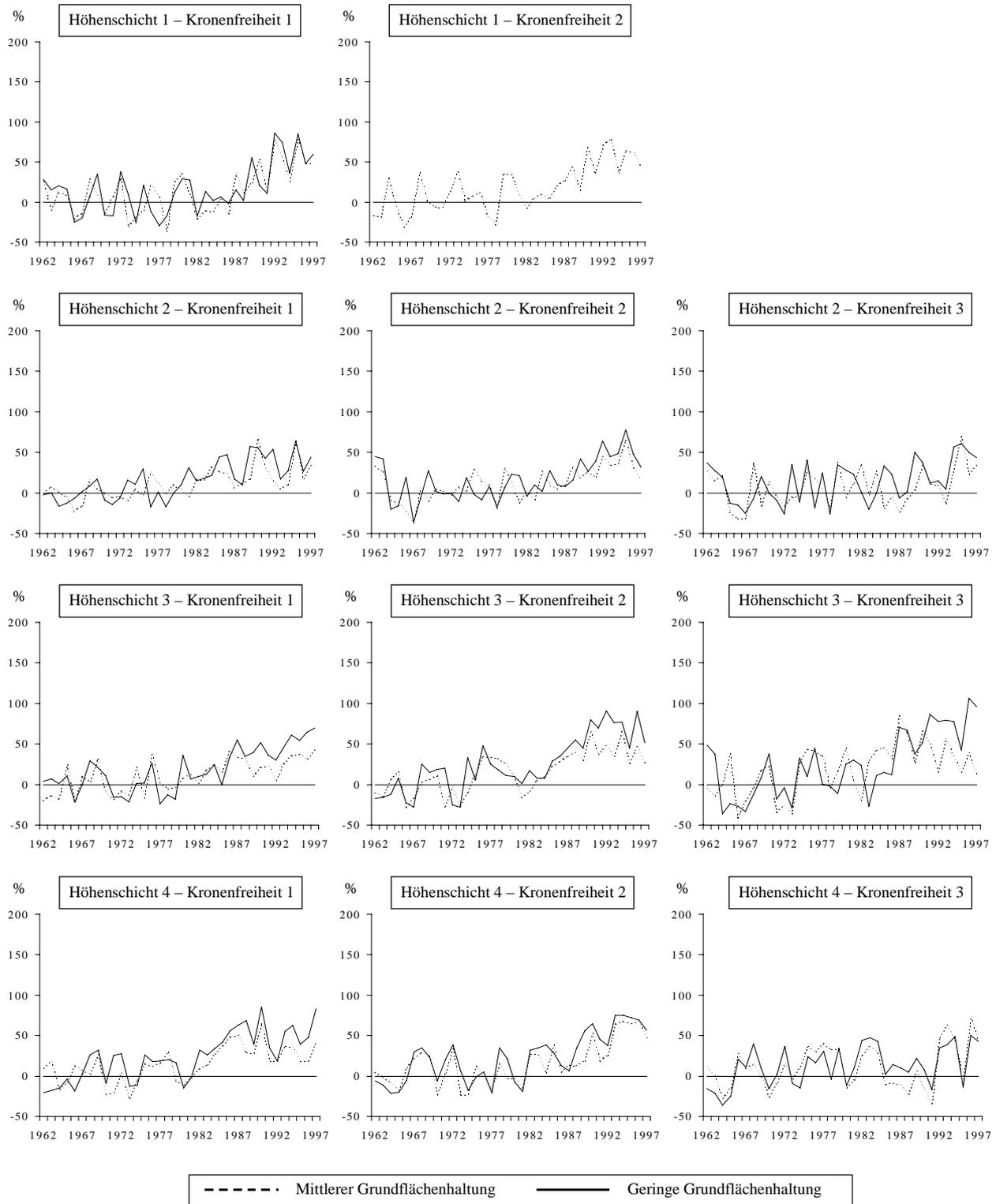
Auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung gleichen die BHD-Zuwächse von *A.araucana* der Höhengschicht 10-20 m im Durchschnitt denen der Höhengschicht 20-30 m und auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung wächst die Schicht 10-20 m schon mehr als die anderen. Die Bäume mit freier Krone wachsen jedoch, sowie auf den Kontrollflächen, mehr in der Schicht 20-30 m und sind diejenigen Individuen welche die allerhöchsten BHD-Zuwächse leisten, 3,39 und 3,76 mm/Jahr auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung respektiv.

Bei *N.pumilio* ist auf allen Flächen die Höhengschicht 10-20 m diejenige, in der die höchsten BHD-Zuwächse vorhanden sind. Dies gilt mit Ausnahme der allerniedrigsten Bäume mit freier Krone auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung; sie wachsen bereits 5,44 mm/Jahr, also 0,13 mm/Jahr mehr als diejenigen in der Höhengschicht 10-20 m. Auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung ist der durchschnittliche BHD-Zuwachs der drei Höhengschichten 2,99 mm/Jahr und auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung 3,83 mm/Jahr (s. Tab. 33).

#### Vergleich zwischen entsprechenden Teilkollektiven

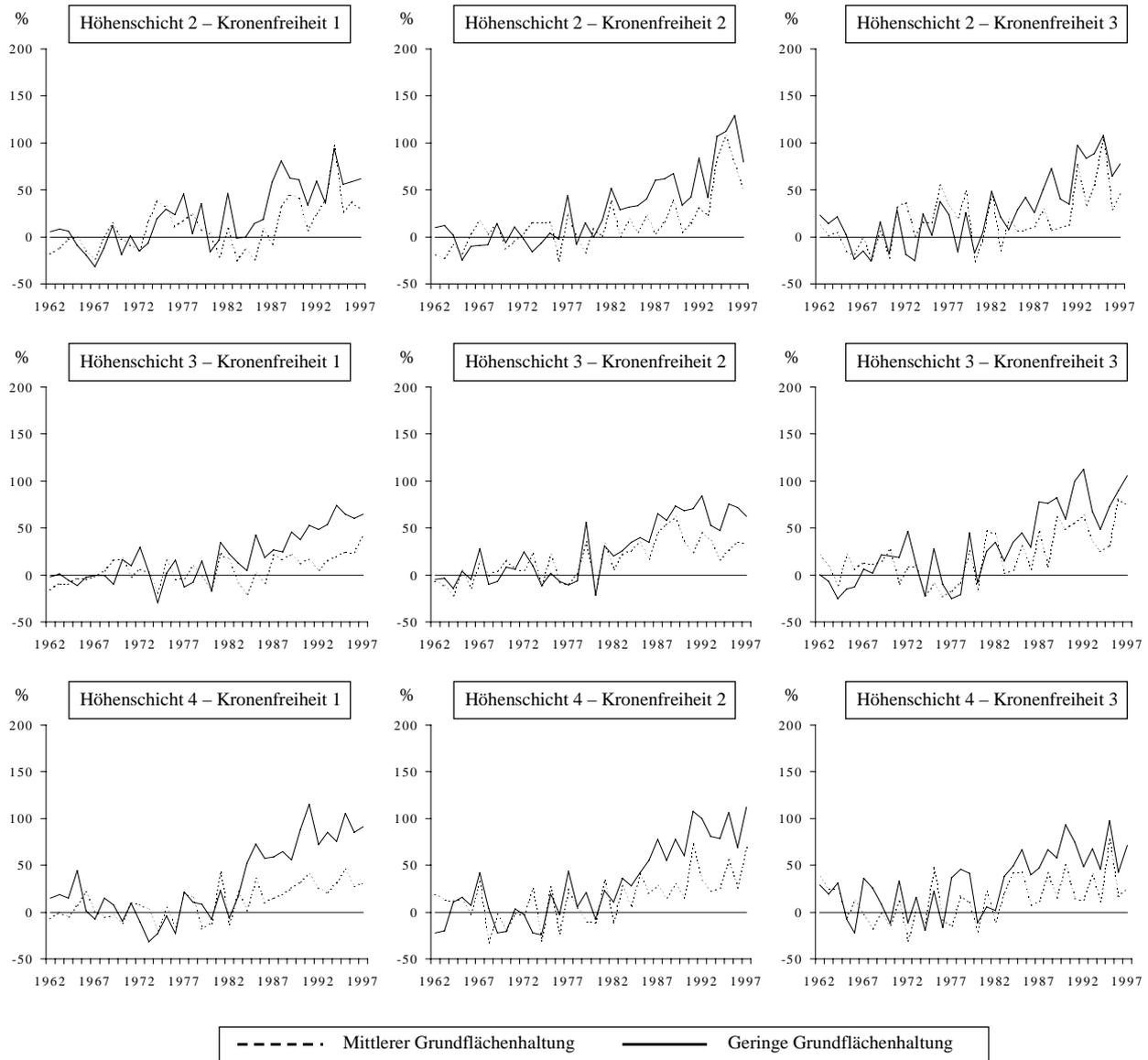
Der Einfluss der Behandlungen auf die BHD-Zuwächse beider Baumarten wurde für die gebildeten Teilkollektive getrennt anhand der „Zuwachs-Trend“ Methode (PRETZSCH und UTSCHIG, 1989) (s. Kap. 3.42) analysiert. Es wurde davon ausgegangen, dass die Zuwachsverläufe der Teilkollektive der Kontrollflächen die „normalen“ Zuwachsverläufe darstellen, die ohne den Einfluss der Behandlungen zu erwarten wären. Deshalb wurden die Zuwachsverläufe der entsprechenden Teilkollektive der Flächen mit Eingriffen mit denen der Referenzbäume (Kontrollflächen) verglichen. Es waren nur so viele Vergleiche möglich, wie Teilkollektive in den Kontrollflächen vorhanden waren, d.h. 11 bei *A.araucana* und 9 bei *N.pumilio* (s. Tab. 32).

Der Einfluss der waldbaulichen Maßnahmen wird als prozentuale Trendabweichung zwischen den Kurven ab 1983 angegeben. Wie den Abbildungen 34 und 35 zu entnehmen ist, unterscheiden sich die Abweichungen vor der Anlage der Behandlungen zwischen den beiden Eingriffsstärken nicht wesentlich voneinander. Im Bezug zur Nulllinie (Zuwachsverlauf der Kontrollflächen)



**Abb. 34:** Graphische Darstellungen der jährlichen BHD-Zuwachs Trendabweichungen (in %) der Teilkollektive von *A.araucana* zwischen den Kontrollflächen und den Flächen mit Eingriffen für die Periode 1983-1997 (nach der Anlage der Behandlung)

Höhenschicht 1 = > 30 m	Kronenfreiheit 1 = freie Krone
Höhenschicht 2 = 20 - 30 m	Kronenfreiheit 2 = bedrängte Krone
Höhenschicht 3 = 10 - 20 m	Kronenfreiheit 3 = überschränkte Krone
Höhenschicht 4 = < 10 m	



**Abb. 35:** Graphische Darstellungen der jährlichen BHD-Zuwachs Trendabweichungen (in %) der Teilkollektive von *N.pumilio* zwischen den Kontrollflächen und den Flächen mit Eingriffen für die Periode 1983-1997 (nach der Anlage der Behandlung)

Höhenschicht 1 = > 30 m	Kronenfreiheit 1 = freie Krone
Höhenschicht 2 = 20 - 30 m	Kronenfreiheit 2 = bedrängte Krone
Höhenschicht 3 = 10 - 20 m	Kronenfreiheit 3 = überschrümmte Krone
Höhenschicht 4 = < 10 m	

variieren die Trendabweichungen bei beiden Baumarten zwischen -25 und 25 %. Im Durchschnitt sind diese Abweichungen vor der Anlage der Behandlungen bei *A. araucana* 1,4 % und bei *N. pumilio* 1,9 %.

Die Reaktionen beider Baumarten auf die waldbaulichen Maßnahmen sind in den Abbildungen 34 und 35 gut nachzuvollziehen. Nach 1982 liegen die Trendabweichungen im Schnitt deutlich über der Nulllinie. Im allgemeinen, ist bei allen Teilkollektiven der beiden Baumarten die Antwort auf die Eingriffe nicht sofort festzustellen, wobei jedoch zu bemerken ist, dass sie bei *N. pumilio* früher ist als bei *A. araucana* und bei beiden Baumarten umso schneller je freier die

Krone ist. Im Bezug zu den Höhenschichten ist keine deutliche Tendenz erkennbar. In Tabelle 34 sind für die Periode 1983-1997 die durchschnittlichen Trendabweichungen der Teilkollektive von *A.araucana* und *N.pumilio* wiedergegeben. Dabei handelt es sich um die durchschnittlichen prozentuale BHD-Zuwachsunterschiede zwischen den Kontrollflächen und denen mit Eingriffen, die sich nur durch den Einfluss der waldbaulichen Behandlungen erklären lassen. Wie aus Tabelle 34 zu sehen ist, sind die Trendabweichungen stets positiv, was bedeutet, dass in keinem Fall die Eingriffe zu einer Verschlechterung gegenüber der Kontrolle geführt haben.

Baumart	Behandlung	Kronenfreiheit	Höhenschicht				Gesamt
			< 10 m	10-20 m	20-30 m	> 30 m	
<i>A.araucana</i>	Mittlere Grundflächenhaltung	1	37,0	43,0	27,0	12,0	29,8
		2	33,0	36,0	29,0	18,0	29,0
		3	15,4	32,0	26,0	-	24,5
		Gesamt	28,5	37,0	27,3	15,0	27,7
	Geringe Grundflächenhaltung	1	53,9	51,0	29,0	18,0	38,0
		2	52,3	48,0	32,0	-	44,1
		3	32,0	42,0	28,0	-	34,0
		Gesamt	46,1	47,0	29,7	18,0	38,7
<i>N.pumilio</i>	Mittlere Grundflächenhaltung	1	25,6	39,0	29,0	-	31,2
		2	21,0	27,0	26,0	-	24,7
		3	11,0	21,0	22,0	-	18,0
		Gesamt	19,2	29,0	25,7	-	24,6
	Geringe Grundflächenhaltung	1	73,2	71,2	46,4	-	63,6
		2	75,5	64,3	63,8	-	67,9
		3	62,9	42,4	56,5	-	53,9
		Gesamt	70,5	59,3	55,6	-	61,8

Tab. 34: Durchschnittliche BHD-Zuwachs Trendabweichungen (in %) der Teilkollektive von *A.araucana* und *N.pumilio* zwischen den Kontrollflächen und den Flächen mit Eingriffen für die Periode 1983-1997 (nach der Anlage der Behandlung)

*A.araucana* reagiert auf die Eingriffe die zur einer mittleren Grundflächenhaltung führen mit einer durchschnittlichen Zuwachszunahme von 28 % etwas stärker als *N.pumilio* mit 25 % (s. Tab. 34). Bei *A.araucana* haben die Bäume mit freier und bedrängter Krone praktisch die gleiche Reaktion, während bei *N.pumilio* die Individuen mit freien Kronen besser reagieren. Die Höhenschicht 10-20 m ist jedoch bei beiden Baumarten diejenige die im Durchschnitt am stärksten zunimmt, wobei die Bäume mit freien Kronen dieser Schicht die allergrößten prozentualen Antworten leisten. Die überschilderten Individuen unter 10 m Höhe beider Baumarten sowie die allerhöchsten *A.araucana* Individuen sind diejenigen die die schwächsten Reaktionen aufweisen.

Auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung ist die prozentuale Reaktion aller Teilkollektive beider Baumarten stärker als die entsprechende auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung. Die Differenzen zwischen den Flächen mit Eingriffen sind jedoch bei *N.pumilio* viel größer. Die durchschnittliche prozentuale Zunahme beträgt bei *A.araucana* 39 %, während sie bei *N.pumilio* auf 62 % ansteigt. Die Bäume mit bedrängter Krone sind jedoch bei beiden Baumarten diejenigen, die im Durchschnitt am heftigsten reagieren. Bezüglich der Höhenschichten ist aus Tabelle 34 deutlich zu entnehmen, dass die jeweils größten Differenzen zwischen den beiden Eingriffstärken sich bei den Bäumen unter 10 m Höhe ergeben. Anders als

auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung, weisen hier die kleinen *A.araucana* Bäume die gleichen prozentuale Reaktionen auf wie diejenigen der Höhenschicht 10-20 m. Bei *N.pumilio* ist dagegen die Antwort auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung bei den kleinen Individuen so heftig, dass sie im Durchschnitt sogar 11 % stärker reagieren als die Bäume der höheren Schicht.

Diese Ergebnisse deuteten auf folgendes hin:

- Die Lichtverhältnisse auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung sind für *N.pumilio* nicht ausreichend um ihr Zuwachspotential ausdrücken zu können, während die Schattenbaumart *A.araucana* sich gut entwickeln kann.
- Die besseren Lichtverhältnisse auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung werden von der lichtbedürftigeren Baumart *N.pumilio* wesentlich besser ausgenützt als von *A.araucana*. Hier wächst die Laubbaumart deutlich mehr als auf den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung. Für *A.araucana* ist dagegen, der höhere Lichtgenuss auf diesen Flächen nicht von so großer Bedeutung, denn sie wächst im Vergleich zu den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung nicht viel stärker.

#### 4.22 Verjüngungsschicht

In diesem Kapitel werden die Resultate zur Dichte, horizontalen Verteilungsmustern, Vitalität und zum Basisdurchmesser der Verjüngungspflanzen von *A.araucana* und *N.pumilio* wiedergegeben, sowie der Einfluss der *Ch.argentina* auf den Jungwuchs ausübt.

##### 4.221 Besiedelbare Fläche

Damit den Ergebnissen der verschiedenen Versuchsflächen vergleichbare Verhältnisse zugrunde liegen, wurden zuerst die potenziell „besiedelbaren“ Flächen errechnet. Bei der systematischen Verteilung der Verjüngungsstichproben über die Versuchsflächen wurde keine Rücksicht auf natürliche Hindernisse, wie Steine, Stöcke, Stamm- und Wurzelanläufe genommen. Dadurch wiesen einige Stichproben Oberflächenanteile auf, die eine Entwicklung von Verjüngungspflanzen und Bodenvegetation a priori nicht zuließen. Durch die sorgfältige flächenmäßige Erfassung dieser Hindernisse, konnte die tatsächlich besiedelbare Fläche bzw. die für Verjüngung und Bodenvegetation nicht nutzbare Oberfläche bestimmt werden. In Tabelle 35 wird der durchschnittliche unbesiedelbare Flächenanteil, getrennt nach Ursache, für jede Versuchsfläche wiedergegeben.

Versuchsfläche	Stock, Wurzel oder Stamm (%)	Stein, bzw. Felsen (%)	Gesamt (%)
K-I	1,2	1,7	2,9
K-II	2,7	0,2	2,9
K-III	3,1	0,2	3,3
M-I	2,0	1,9	3,9
M-II	2,1	0,1	2,2
M-III	3,2	0,2	3,4
G-I	1,2	3,0	4,2
G-II	1,6	0,3	1,9
G-III	2,3	0,1	2,4

Los Chenques

Los Quilmahues

**Tab. 35:** Nicht für Verjüngung und Bodenvegetation besiedelbare Flächenanteile auf den einzelnen Versuchsflächen

Aus Tabelle 35 ist zu entnehmen, dass auf den Versuchsflächen Stöcke, Wurzelanläufe und Stammfüße einen Flächenanteil zwischen 1,2 und 3,2 % haben. Steine und Felsen sind praktisch nur in den Versuchsflächen von Los Chenques vorhanden, wobei zu bemerken ist, dass in diesen Flächen der Anteil nicht besiedelbarer Oberfläche hauptsächlich auf kleine Felsen zurückzuführen ist. Im allgemeinen sind es nur zwischen 1,9 und 4,2 % der Bodenoberfläche, die für Verjüngung und Bodenvegetation nicht zur Verfügung steht.

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich alle auf einen Hektar „besiedelbarer“ Bodenoberfläche.

#### 4.222 Dichte

Ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung von Naturverjüngung ist deren Dichte, das heißt die Individuenzahl pro Flächeneinheit. Sowohl bei *A.araucana* als auch bei *N.pumilio* unterscheiden sich die Verjüngungsdichten der verschiedenen Teilparzellen innerhalb jeder Versuchsfläche signifikant,<sup>49</sup> was bedeutet, dass innerhalb der Flächen eine große Variabilität vorhanden ist. Fasst man die Ergebnisse jedoch für die Versuchsflächen zusammen, so stellen sie sich wesentlich einheitlicher dar.

Wie aus Abbildung 36 zu sehen ist, ist die Anzahl der Verjüngungspflanzen von *A.araucana* stets höher als diejenige von *N.pumilio*. Vergleicht man die Behandlungsvarianten, so kann man feststellen, dass auf den Kontrollflächen im Durchschnitt die Verjüngungsdichte von *A.araucana* größer ist als auf den Flächen mit Eingriffen, während diejenige von *N.pumilio* geringer ist. Es fällt jedoch auf, dass die Zahl der Verjüngungspflanzen auf der Kontrollfläche K-III eher mit den Flächen mit Eingriffen entspricht als der beiden anderen Kontrollflächen. Auf den letztgenannten Flächen sind im Durchschnitt 11.441 *A.araucana* und 1.821 *N.pumilio* Pflanzen vorhanden, während auf der Fläche K-III 7.895 *A.araucana* und 2.989 *N.pumilio* Verjüngungspflanzen zu finden sind.

<sup>49</sup> Bei den durchgeführten Varianzanalysen wurde die Nullhypothese auf Gleichheit stets bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,001$  abgelehnt.

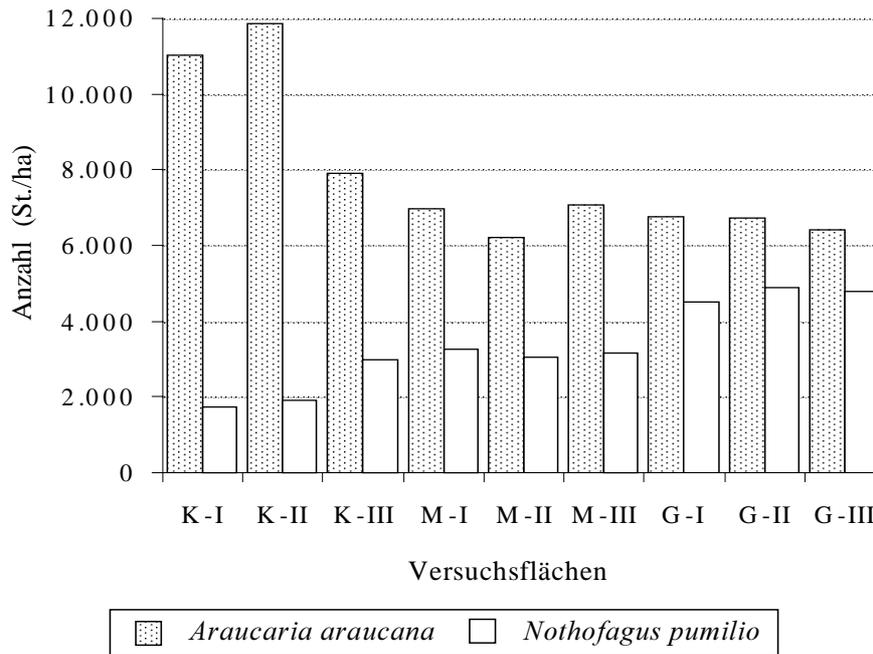


Abb. 36: Anzahl der *A. araucana* und *N. pumilio* Verjüngung pro Hektar auf den neun Versuchsflächen

Die Dichteunterschiede zwischen der Kontrollfläche K-III und den Flächen K-I und K-II sind vermutlich auf die unterschiedliche Baumartenzusammensetzung auf diesen Flächen zurückzuführen. Die Fläche K-III ist im Vergleich zu den anderen Kontrollflächen durch eine größere Dominanz von *N. pumilio* (s. Tab. 6 im Kap. 3.22 und Anhang 1) und eine geringere Anzahl von weiblichen *A. araucana* Bäumen gekennzeichnet. Auf jeden Fall geben die auf den Kontrollflächen festgestellten Pflanzendichten einen Hinweis auf die Verjüngungsdichte in *A. araucana* Wälder, die sich im Fließgleichgewicht befinden.

Auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung ist die Dichte von *A. araucana* mit 6.752 bzw. 6.647 St./ha sehr ähnlich. Dagegen ist die Verjüngungsdichte von *N. pumilio* auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung mit 4.723 St./ha größer als diejenige auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung mit 3.151 St./ha.

Im allgemeinen, verringert sich der Dichtenunterschied zwischen *A. araucana* und *N. pumilio* mit abnehmender Grundflächenhaltung. Auf den Kontrollflächen ist die Differenz zu Gunsten der Konifere 5 Mal größer, auf denen mit mittlerer Grundflächenhaltung 2 Mal und auf denen mit geringer Grundflächenhaltung nur noch 1,5 Mal (s. Abb. 36).

In Abbildung 37 sind für jede Behandlungsvariante die durchschnittlichen Dichtewerte nach Höhenklasse wiedergegeben. Wie in Abbildung zu sehen ist, nimmt auf den Kontrollflächen die Zahl der Verjüngungspflanzen, insbesondere bei *A. araucana*, mit zunehmender Höhenklassen exponentiell ab. Vergleicht man die Behandlungsvarianten, so zeigt sich, dass bei *A. araucana* die erwähnte Abnahme der Zahl der Verjüngung auch auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung festzustellen ist. Bis zu einer Höhe von 60 cm ist eine klare Abstufung gegeben: Auf den Kontrollen ist die Dichte am höchsten, gefolgt von den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung. Die niedrigste Dichte weisen die Flächen mit geringer

Grundflächenhaltung auf. Aus Abbildung 37 wird klar, dass die höhere Dichte von *A.araucana* auf den Kontrollflächen (s. Abb. 36), hauptsächlich an der großen Anzahl von Pflanzen < 20 cm Höhe liegt. Eine mögliche Erklärung für die auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung niedrigere Zahlen an kleinen Pflanzen könnte sein, dass die rasche Entwicklung der zum Zeitpunkt der Eingriffe vorhandenen Verjüngung und der Bodenvegetation (vgl. Kap. 4.226) zu einer höheren Mortalität in diesem Höhenbereich geführt hat. In den Höhenklassen über 60 cm sind die höchsten Pflanzendichten auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung festzustellen. Auch die Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung weisen hier meist höhere Dichten auf als die Kontrollen.

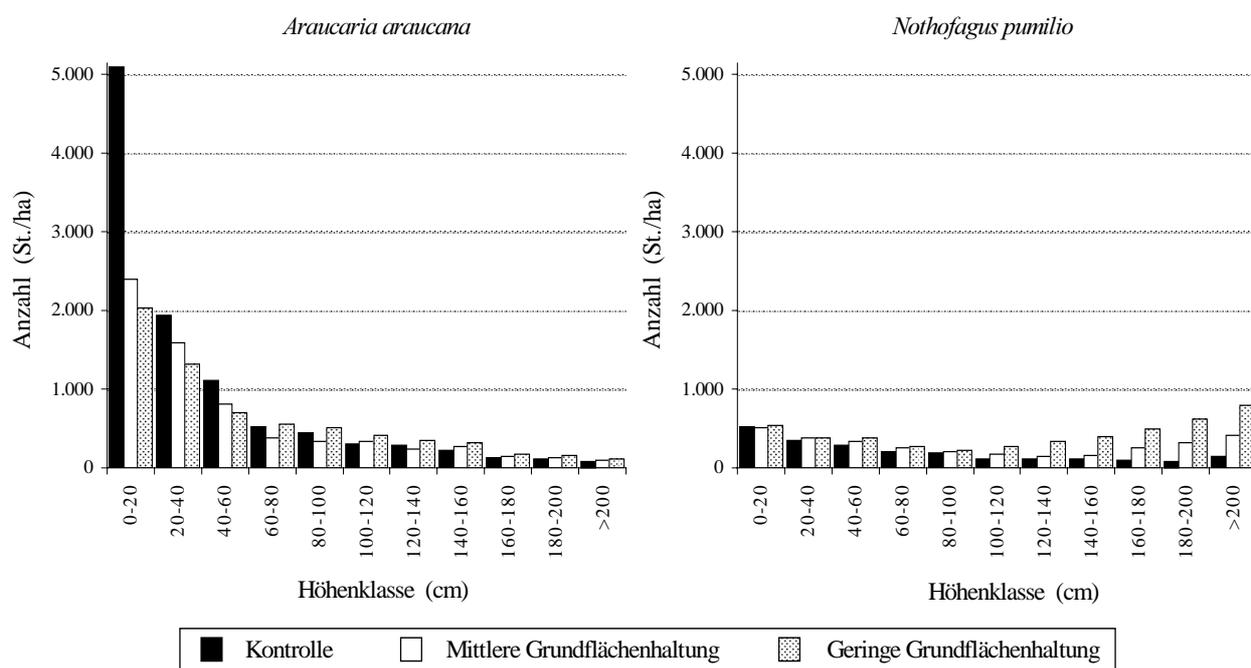


Abb. 37: Jungwuchsverteilung auf Höhenklassen von *A.araucana* und *N.pumilio* bei den drei Behandlungsvarianten

Anders als bei *A.araucana* ändert sich bei *N.pumilio* die Art der Verteilung auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung. Während sich die Anzahl von Pflanzen in den unteren Höhengschichten im Vergleich zu den Kontrollflächen nicht unterscheidet, ist die Dichte in den oberen Schichten höher, sodass die Verteilung einen konvexen Verlauf folgt. Es ist festzustellen, dass die Dichte auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung stets größer ist als diejenige auf denen mit mittlerer Grundflächenhaltung. Eine Erklärung für den konvexen Verlauf könnte sein, dass die verbesserten Strahlungsverhältnisse bei der 1982 bereits existierenden Verjüngung zu einem deutlicheren Höhenzuwachs geführt haben. Von dieser Höhenzunahme haben jedoch am stärksten die höheren Pflanzen profitiert, sodass sie in höhere Stufen eingewachsen sind. Die kleineren Pflanzen legten dagegen nicht so deutlich zu und konnten daher nicht so rasch in die mittleren Stufen einwachsen. Eine weitere Erklärung könnte die unregelmäßige Fruktifikation von *N.pumilio* sein, dass die niedrige Anzahl von Pflanzen in den mittleren Höhengschichten auf fehlende Masten zurückzuführen ist.

#### 4.223 Horizontale Verteilungsmuster

Neben der Pflanzendichte ist die Gleichmäßigkeit mit welcher der Jungwuchs auf der Fläche verteilt ist, ein weiteres wesentliches Beurteilungskriterium für die Verjüngung. Die horizontalen Verteilungsmuster von *A.araucana* und *N.pumilio* wurden getrennt für jede Höhenklasse pro Versuchsfläche errechnet. Zur statistischen Prüfung wurde die Poisson-Verteilungsmethode und die Varianz/Mittelwert Quotient Methode verwendet (s. Kap. 3.45).

Die Analysen der Gesamtzahlen für *A.araucana* und *N.pumilio* ergaben, dass auf keiner Versuchsfläche eine regelmäßige oder zufällige Verteilung gegeben war. Das bedeutet, dass die in den Verjüngungsstichproben erhobenen Pflanzenzahlen nicht einer Poisson-Verteilung folgen<sup>50</sup> und dass die Quotienten von Varianz und Mittelwert beider Verjüngungspopulationen über 1 liegen, so dass auf eine geklumpfte Verteilung der Verjüngung geschlossen werden kann. Die Klumpungsindexe der jeweiligen Baumarten sind auf den neun Versuchsflächen sehr ähnlich, also unabhängig von den Behandlungsvarianten. Bei *A.araucana* schwanken die Werte zwischen 3,26 und 3,71 und bei *N.pumilio* zwischen 1,23 und 1,58. Die stark geklumpfte Verteilung von *A.araucana* liegt an ihren Ausbreitungsmechanismus: die Barochorie, d.h. schlicht das Fallenlassen der Samen. Die leicht geklumpfte Verteilung von *N.pumilio* liegt an ihrer aggressiven Besiedlung von freien Flächen, die in diesen Wäldern zufällig vorkommen. Da *N.pumilio* sich auf diesen freien Flächen mit zahlreichen Pflanzen behaupten kann, tritt die Verjüngung geklumpft auf.

Wie schon erwähnt, wurden für beide Baumarten auch die Klumpungsindexe für die einzelnen Höhenklassen pro Versuchsfläche errechnet. Die daraus gebildeten nominalskalierten Häufigkeitsverteilungen wurden anhand des  $\chi^2$ -Testes verglichen. Die entsprechenden Ergebnisse zeigten, dass zwischen den Verteilungen der Klumpungsindexe der verschiedenen Versuchsflächen keine signifikanten Differenzen vorhanden waren. Deshalb werden in der Abbildung 38 die durchschnittlichen Indexe für *A.araucana* und *N.pumilio* wiedergegeben.

Aus Abbildung 38 ist zu sehen, dass genauso wie für die gesamte Verjüngungspopulation, die Klumpungsindexe bei *A.araucana* deutlich höher sind als bei *N.pumilio*, d.h. *A.araucana* tritt geklumpfter auf. Die kleinsten *A.araucana* Pflanzen sind sogar stark geklumpft verteilt. Bei beiden Baumarten wird jedoch die Verteilung mit zunehmender Höhe zufälliger. Die *N.pumilio* Verjüngungspflanzen mit über 140 cm Höhe, verteilen sich auf den Flächen in einer zufälligen Weise. Beim *A.araucana* Jungwuchs ist dies ab der Höhenklassen 160-180 cm der Fall. Die Abnahme der Klumpungsindexe deutet auf eine Zunahme der Konkurrenz hin, wobei immer weniger Individuen sich durchsetzen können.

---

<sup>50</sup> Bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$ .

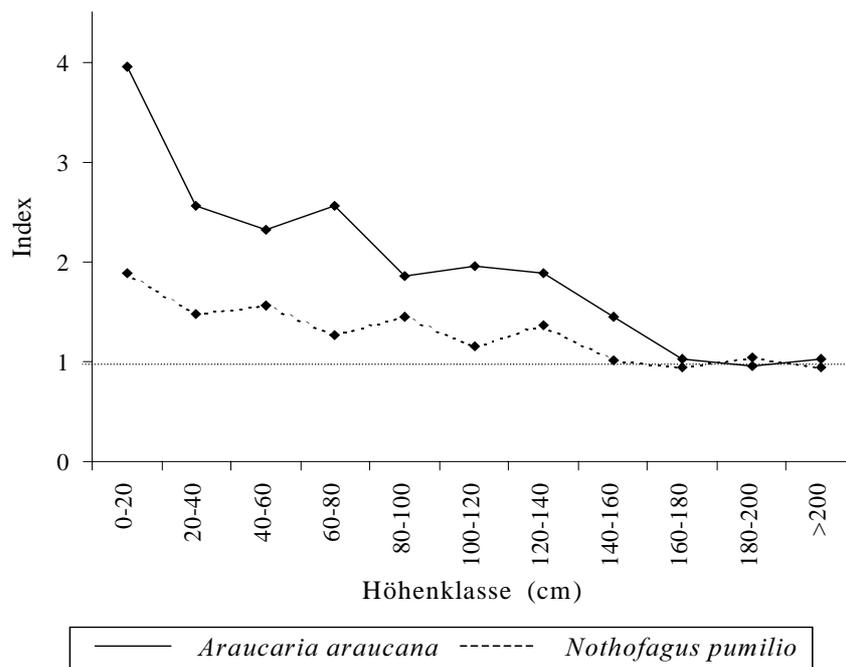


Abb. 38: Durchschnittliche Klumpungsindexe der Verjüngungshöhenklassen für *A.araucana* und *N.pumilio*

#### 4.224 Vitalität

Die Vitalität der Verjüngungspflanzen von *A.araucana* und *N.pumilio* war auf den verschiedenen Versuchsflächen mit gleicher Behandlung sehr ähnlich. Deshalb werden für die folgende Beschreibung die Ergebnisse nach den Behandlungsvarianten zusammengefasst dargestellt.

Auf den Kontrollflächen verhalten sich die Vitalitätsklassen von den beiden Baumarten genau umgekehrt. Bei *A.araucana* sind die meisten Pflanzen sehr vital und bei *N.pumilio* sind die meisten Pflanzen nicht vital. Die Pflanzen mittlerer Vitalität repräsentieren bei beiden Baumarten 36 % (s. Abb. 39).

Die Vitalität der *A.araucana* Pflanzen auf den Flächen mit Eingriffen weisen im Vergleich zu den Kontrollflächen keinen wesentlichen Differenzen auf, während bei *N.pumilio* mit abnehmender Grundflächenhaltung die Vitalität der Pflanzen sich deutlich verbessert. Auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung ist die Vitalitätsklasse 2 die stärkst vertretene und auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung ist es sogar die Klasse der sehr vitalen Verjüngungspflanzen. Auf den letztgenannten Flächen ist 51 % der gesamten *N.pumilio* Verjüngung sehr vital (s. Abb. 39). Diese positive Reaktion bei *N.pumilio* ist eigentlich wegen den besseren Lichtverhältnissen auf den Flächen mit Eingriffen nicht verwunderlich.

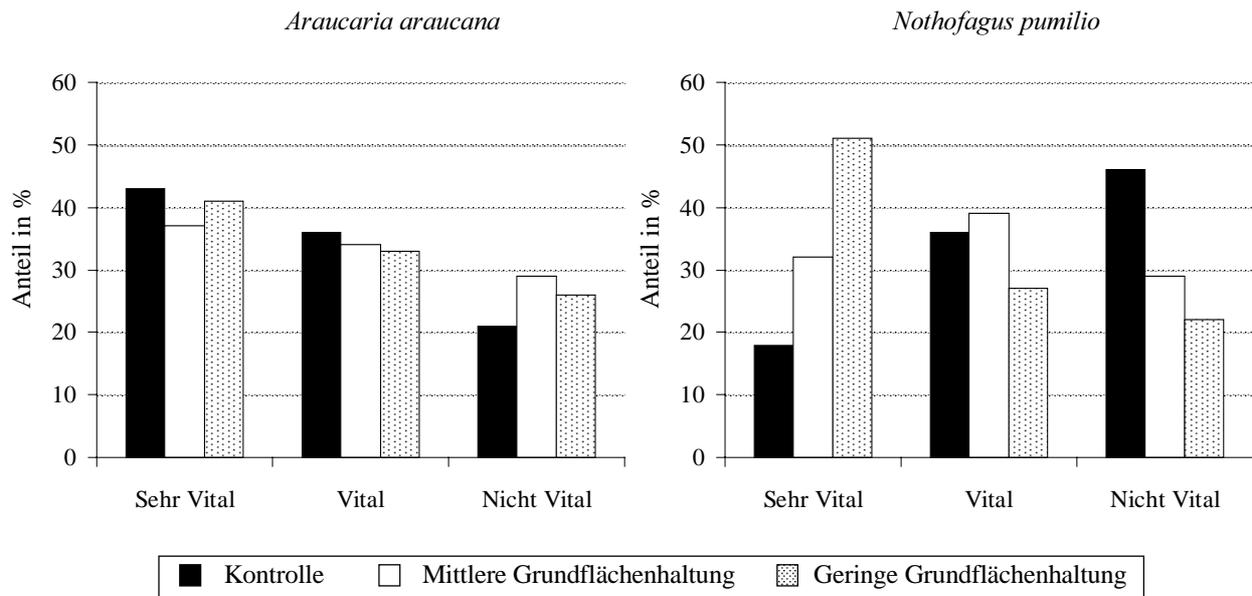


Abb. 39: Anteile der Vitalität der *A. araucana* und *N. pumilio* Verjüngungspflanzen auf den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung

Ein weiterer interessanter Aspekt ist die Analyse der Vitalitätsunterschiede bezogen auf die Höhenklassen. In Abbildung 40 sind die Vitalitätsanteile der Pflanzen nach Höhenklassen wiedergegeben. Die Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung sind nicht dargestellt, da sie bei beiden Baumarten eine Mittelstellung zwischen den Kontrollflächen und denen mit geringer Grundflächenhaltung einnehmen.

Auf den Kontrollflächen sind 59 % der kleinsten *A. araucana* Pflanzen sehr vital (s. Abb. 40), was 29 % des gesamten *A. araucana* Jungwuchses entspricht (s. Abb. 37). Dieser Anteil sinkt in den folgenden Höhenklassen drastisch und erhöht sich langsam wieder bis 40 % bei den größten Verjüngungspflanzen. Der Anteil der nicht vitalen Pflanzen verhält sich genau umgekehrt und die Klasse 2 bleibt relativ konstant. Der Eingriff, der zu einer geringen Grundflächenhaltung führt, verursacht eine Verschlechterung der Vitalität der kleinsten *A. araucana* Pflanzen, verbessert jedoch leicht die Vitalität der höheren Pflanzen (s. Abb. 40).

Bei den *N. pumilio* Pflanzen der Kontrollflächen ist der Anteil nicht vitaler Pflanzen relativ hoch. Bei den kleinsten Pflanzen beträgt er 58 %. Im allgemeinen, sind die *N. pumilio* Pflanzen auf den Kontrollflächen etwas vitaler je höher sie sind. Der Eingriff hat einen starken Einfluss auf die Vitalität des *N. pumilio* Jungwuchses in allen Höhenklassen, aber auch hier verbessert sich die Vitalität mit zunehmender Höhe. Der Anteil der sehr vitalen Pflanzen beträgt 70 % ab einer Höhe von 180 cm (s. Abb. 40). Dies ist sehr bedeutend, denn diese beiden Höhenklassen konzentrieren 30 % des gesamten *N. pumilio* Jungwuchses (s. Abb. 37).

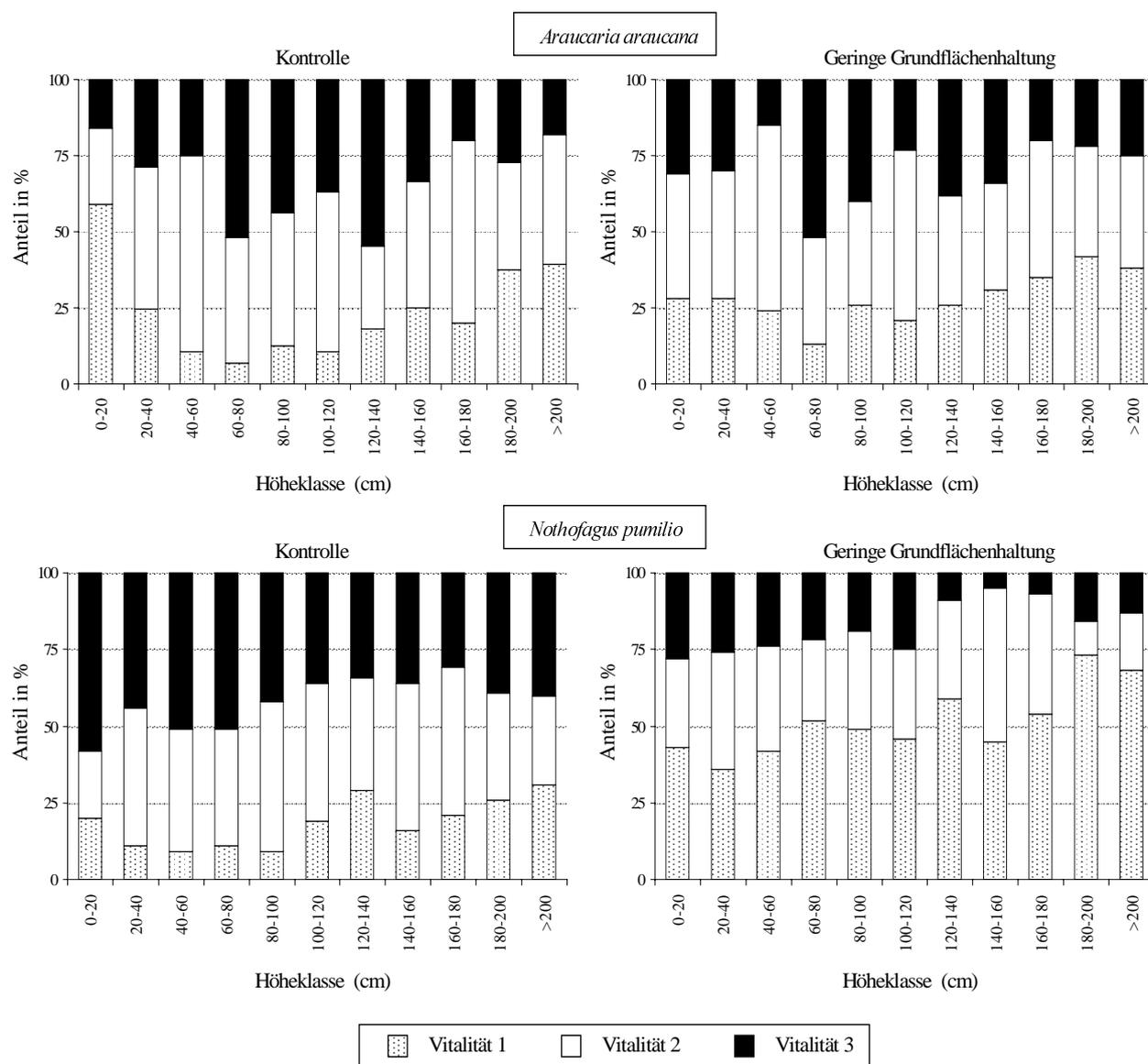


Abb. 40: Anteilverteilung auf Höhenklassen des *A. araucana* und *N. pumilio* Jungwuchses nach Ihrer Vitalität auf den Kontrollflächen und Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung

#### 4.225 Sprossbasisdurchmesser

Hinsichtlich des Sprossbasisdurchmessers waren bei beiden Baumarten keine signifikanten<sup>51</sup> Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsflächen festzustellen,<sup>52</sup> so dass für den Zusammenhang zwischen Sprossbasisdurchmesser und Höhe jede Baumart durch eine Regressionsgleichung dargestellt wird. Die beiden Funktionen sind in Abbildung 41 wiedergegeben.

<sup>51</sup> Bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$ .

<sup>52</sup> Die Regressionsgleichungen der Versuchsflächen wurden mit dem im Kapitel 3.43 erklärten Verfahren verglichen. Hierfür wurden für beide Baumarten die in Tabelle 13 (s. Kap. 3.443) angegebene Codierung für *A. araucana* verwendet. In diesem Fall, waren die getesteten Straten die neun Versuchsflächen anstatt die jeweils drei Kronenfreiheitskategorien pro Behandlungsvariante.

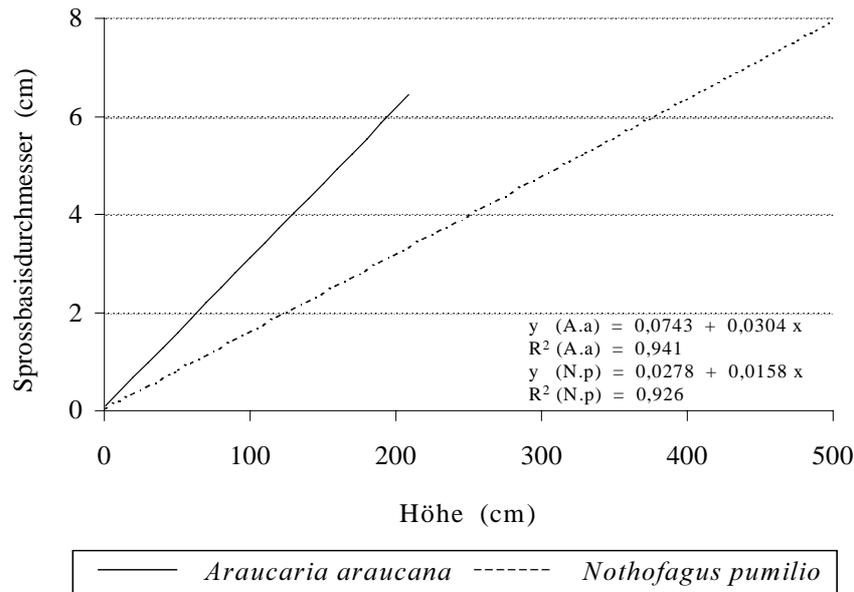


Abb. 41: Regressionsgleichungen für den Zusammenhang Sprossbasisdurchmesser:Höhe für *A.araucana* und *N.pumilio*

Die Sprossbasisdurchmesser der Verjüngungspflanzen der beiden Baumarten unterscheiden sich schon ab einer Höhe von nur 1 cm. Bei so kleinen Pflanzen beträgt der Basisdurchmesser bei *A.araucana* 1,05 mm und bei *N.pumilio* nur 0,47 mm. Wie aus den Regressionskoeffizienten der beiden Geraden zu entnehmen ist (s. Abb. 41), steigt der Basisdurchmesser der *A.araucana* Pflanzen um 92 % schneller als derjenige des *N.pumilio* Jungwuchses. Bei *A.araucana* Pflanzen mit z.B. 150 cm Höhe ist der Basisdurchmesser 4,6 cm, während er bei den entsprechenden *N.pumilio* Pflanzen erst 2,4 cm erreicht. Auffallend ist auch, dass der erfasste Wertebereich bei *A.araucana* wesentlich kürzer ist als derjenige bei *N.pumilio*. Der Grund hierfür ist, dass *A.araucana* Pflanzen mit über 2 m Höhe schon einen BHD von 5 cm aufweisen und bei der Datenaufnahme als Bäume berücksichtigt wurden. Die *N.pumilio* Individuen müssen dafür im Durchschnitt 5 m hoch sein. Dies zeigt, dass *A.araucana* schon ab den Verjüngungspflanzen einen sehr stabilen Aufbau aufweist, während die *N.pumilio* Individuen ziemlich instabil sind. Interessant ist auch, dass man aus diesen Daten bereits die unterschiedliche Formigkeit der beiden Baumarten erkennen kann: während die *A.araucana* Individuen bei einem Sprossbasisdurchmesser von 6 cm schon einen BHD von 5 cm aufweisen, ist dies bei *N.pumilio* erst bei einem Sprossbasisdurchmesser von 8 cm der Fall.

#### 4.226 Einfluss von *Chusquea argentina* auf die Verjüngung

*Chusquea argentina* ist eine der in Chile existierenden Bambusarten. Sie besiedelt, genauso wie die anderen *Chusquea* Arten, sehr aggressiv und schnell freie Flächen und kann dabei zu sehr hohe Dichten erreichen, wobei die Bodenoberfläche sehr stark beschattet wird. Die Dichte dieser lichtbedürftigen Art ist von der Offenheit der Wälder und so auch von menschlichen Eingriffen abhängig. Da *Ch. argentina* für die Verjüngungspflanzen von *A.araucana* und *N.pumilio* eine erhebliche Konkurrenz darstellt, wird in der vorliegenden Arbeit ihr Einfluss auf die Verjüngung

beider Baumarten untersucht. Dabei werden zunächst die Bedeckungsgrade von *Ch. argentina* auf den neun Versuchsflächen wiedergegeben (s Abb. 42).

Auf den Kontrollflächen ist der Bedeckungsgrade von *Ch. argentina* im Vergleich zu den Flächen mit Eingriffen niedriger, wobei zu bemerken ist, dass auf der Fläche K-III die Bedeckung von *Ch. argentina* 8 % niedriger ist als die durchschnittliche Bedeckung auf den anderen Kontrollflächen. Auf den Flächen mit Eingriffen ist die Bedeckung dieser Bodenvegetationsart desto höher je geringer die Grundflächenhaltung ist. Im Durchschnitt bedeckt *Ch. argentina* auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung 20 % der Bodenoberfläche und auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung erreicht die Bedeckung 27 %. Der allerhöchste Bedeckungsgrad ergibt sich auf der Fläche G-I, mit 29 % (s. Abb. 42).

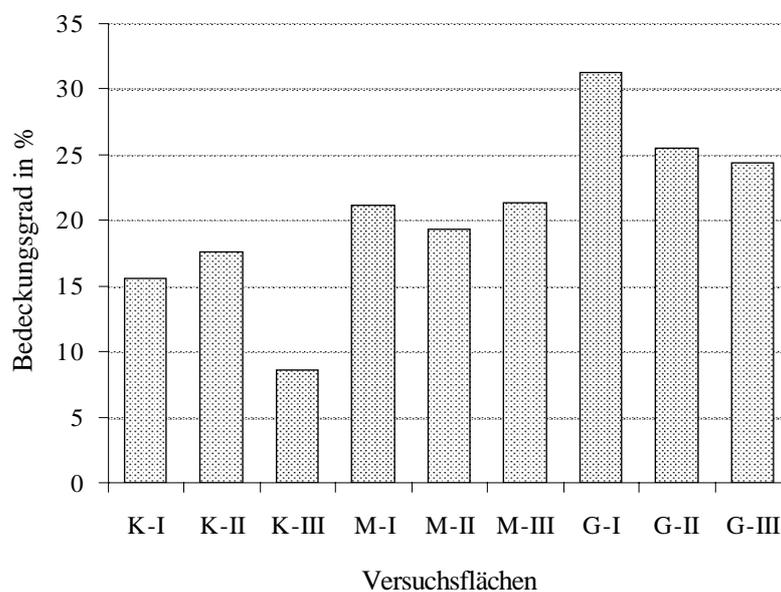


Abb. 42: Bedeckungsgrad von der Bodenvegetationsart *Ch. argentina* auf den neun Versuchsflächen

Die durchschnittliche und maximale Höhe der Bambusstöcke, weist trotz des unterschiedlichen Bedeckungsgrades keine Differenz zwischen den Versuchsflächen auf. Die durchschnittliche Höhe ist 107 cm und die maximale 249 cm. Für die nachfolgende Beschreibung werden die Ergebnisse nach den Behandlungsvarianten zusammengefasst dargestellt.

Der Verjüngungspflanzen von *A. araucana* und *N. pumilio* können sich unterhalb, oberhalb oder ohne *Ch. argentina* entwickeln. In Abbildung 43 sind die Verjüngungspflanzenanteile beider Baumarten nach den entsprechenden Entwicklungsmöglichkeiten wiedergegeben. Daraus ist zu entnehmen, dass der größte Teil des *A. araucana* und *N. pumilio* Jungwuchses sich ohne *Ch. argentina* entwickelt. Der *A. araucana* Jungwuchs kann sich jedoch besser unterhalb von *Ch. argentina* entwickeln als *N. pumilio*, was mit der größeren Schattentoleranz der Konifere zu erklären ist. Der Anteil der Verjüngung, der sich oberhalb der *Ch. argentina* Schicht befindetet, ist jedoch wesentlich höher bei der Laubbaumart. Dies ist durch die Datenaufnahme beeinflusst, denn *A. araucana* Pflanzen die höher als *Ch. argentina* waren wiesen meistens schon einen BHD von 5 cm auf und wurden so als Bäume aufgenommen.

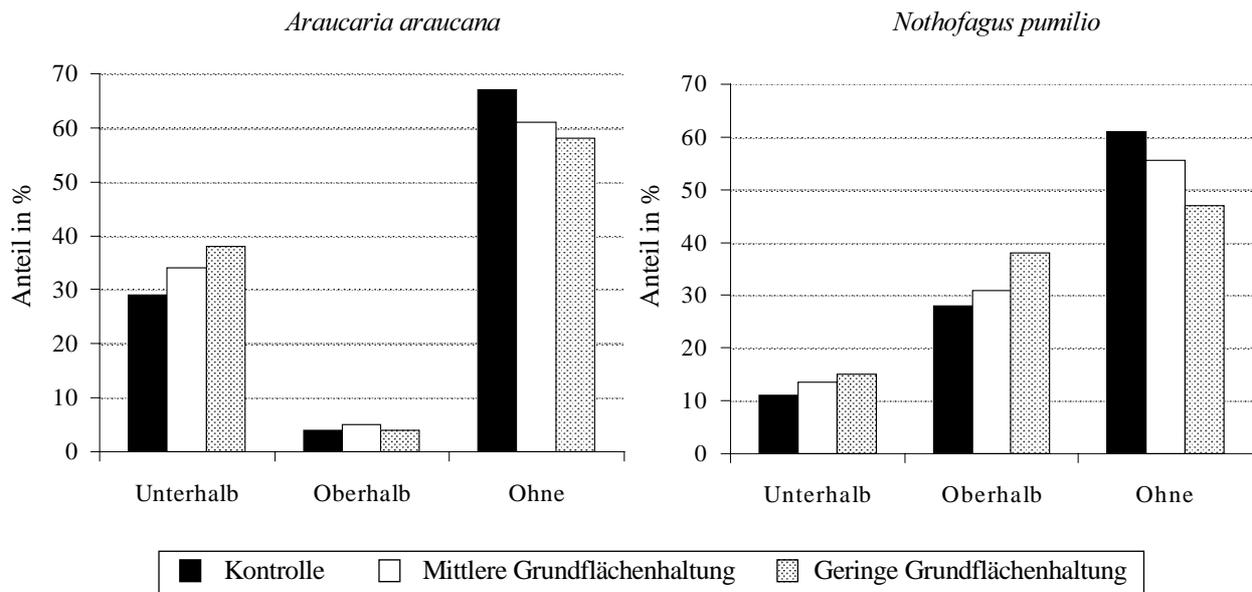


Abb. 43: Anteile der *A.araucana* und *N.pumilio* Verjüngungspflanzenzahl nach der Entwicklungsbeziehung mit *Ch.argentina* für die drei Behandlungsvarianten

Auf den Flächen mit Eingriffen sind bei beiden Baumarten die Anteile von Pflanzen die sich unterhalb von *Ch.argentina* befinden höher als auf den Kontrollflächen und die entsprechenden Anteile ohne *Ch.argentina* niedriger (s. Abb. 43). Dies ist auf die höheren Bedeckungsgrade der Bambusart auf den Flächen mit Eingriffen zurückzuführen. Auf diesen Flächen steigt die Wahrscheinlichkeit, Pflanzen unterhalb der Bambusart zu finden und natürlich sinkt auch die Wahrscheinlichkeit, dass Pflanzen sich ohne *Ch.argentina* entwickeln können. Bei *N.pumilio* steigt auch die relative Pflanzenzahl, die sich oberhalb der Bodenvegetation befindet, was mit der Zunahme von Pflanzen mit über 2 m Höhe gut übereinstimmt (s. Abb. 37).

Um nun zu analysieren, wie sich die Verjüngung beider Baumarten zu verschiedenen Bedeckungsgraden von *Ch.argentina* verhält, wurde anhand von Kontingenztabelle die Signifikanz dieser Beziehung errechnet (s. Kap. 3.45). Diese Analysen wurden für verschiedene Höhenklassen des Jungwuchses realisiert (s. Tab. 36).

Die Beziehung zwischen *Ch.argentina* und der Verjüngung von *A.araucana* und *N.pumilio* ist auf den verschiedenen Versuchsflächen stets die gleiche, also unabhängig von den Behandlungsvarianten. Die in Tabelle 36 wiedergegebenen nicht signifikanten Niveaus, deuten auf zufällige Beziehungen zwischen Bambus und Verjüngung hin und die Zusammenhänge, die signifikante Niveaus aufweisen, sind stets negativ korrelierte Beziehungen, also behindern die Verjüngungspflanzen.

Baumart	Höhenklasse (cm)	Bedeckungsgrad (%) von <i>Ch. argentina</i>			
		0 - 25	25 - 50	50 - 75	> 75
<i>A. araucana</i>	< 50	n.s.	n.s.	n.s.	**
	50 - 100	n.s.	n.s.	*	***
	100 - 150	n.s.	*	**	***
	150 - 200	n.s.	*	***	**
	> 200	n.s.	n.s.	*	**
<i>N. pumilio</i>	< 50	n.s.	***	***	***
	50 - 100	n.s.	**	**	***
	100 - 150	n.s.	*	**	***
	150 - 200	n.s.	*	**	**
	> 200	n.s.	n.s.	n.s.	**

Signifikanzniveau :  
 \*\*\* = höchst signifikant - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,001  
 \*\* = hoch signifikant - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01  
 \* = signifikant - bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05  
 n.s. = nicht signifikant

Tab. 36: Resultate der Analysen zur Beziehung zwischen der *A. araucana* und *N. pumilio* Verjüngung mit der Bodenvegetationsart *Ch. argentina*

Bei Bedeckungsgraden unter 25 %, kann die Hypothese der zufälligen Beziehung zwischen den *A. araucana* und *N. pumilio* Jungwuchs mit der Bodenvegetationsart *Ch. argentina* nicht abgelehnt werden. Das bedeutet, dass bis zu einem Bedeckungsgrad mit *Ch. argentina* von 25 % beide Baumarten sich ohne Probleme etablieren und entwickeln können. Bei Bedeckungsgraden bis 50 % können die *A. araucana* Samen noch keimen, aber es gelingt ihnen nur eine Höhe von 1 m zu erreichen (nicht signifikante Niveaus in den niedrigsten Höhenklassen), denn in den folgenden zwei Höhenklassen kommt kein gehäuftes gemeinsames Auftreten vor. Die Verjüngungspflanzen über 2 m weisen jedoch wieder eine unabhängige Beziehung zur Bambusart auf. Ab einem Bedeckungsgrad von *Ch. argentina* von über 50 % sind *A. araucana* Pflanzen kaum zu finden. Nur die aller kleinsten Verjüngungspflanzen kommen bei Bedeckungsgraden bis 75 % noch vor.

*N. pumilio* ist wegen ihrem Lichtbedürfnis noch negativer mit *Ch. argentina* korreliert als *A. araucana*, denn bereits ab einem Bedeckungsgrad von 25 % treten Verjüngungspflanzen dieser Baumart, bis auf diejenigen die über 2 m hoch sind, mit Bambus nicht auf.

Um den Einfluss von unterschiedlichen Bedeckungsgraden von *Ch. argentina* auf die Verjüngung überschaubarer darzustellen, werden in Abbildung 44 für *A. araucana* und *N. pumilio* die Verjüngungsstichproben nach ihrer Pflanzenzahl und Bedeckungsgrad von *Ch. argentina* angeordnet. Da dieser Einfluss, unabhängig von den Behandlungsvarianten ist, werden die Stichproben gemeinsam dargestellt.

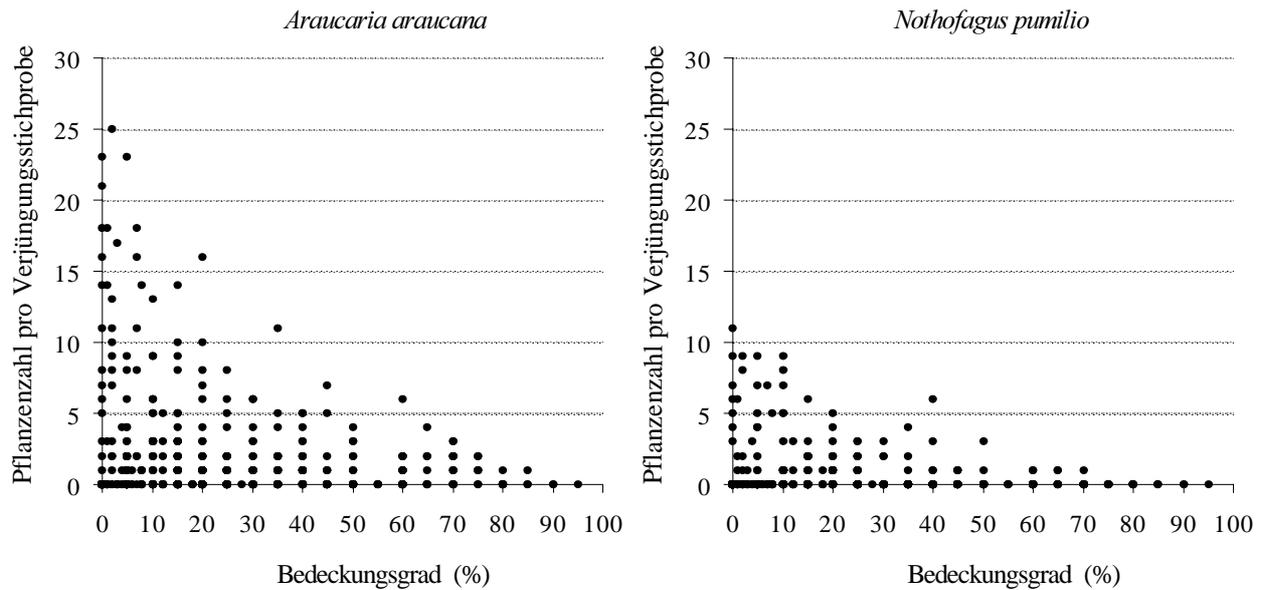


Abb. 44: Anordnung der Verjüngungsstichproben nach ihren vorhandenen Pflanzenzahlen von *A. araucana* und *N. pumilio* und den Bedeckungsgraden von *Ch. argentina*

Aus Abbildung 44 ist zu entnehmen, dass die Anzahl von Pflanzen pro Verjüngungsstichprobe, deutlich mit zunehmenden Bedeckungsgrad von *Ch. argentina* abnimmt. Bei Bedeckungsgraden von über 35 % sind praktisch nur Verjüngungsstichproben mit weniger als 6 *A. araucana* Pflanzen vorhanden. Bei *N. pumilio* ist dies schon ab einem Bedeckungsgrad von 10 % der Fall. Bei hohen Bedeckungsgraden (über 50 %) sind nur Stichproben mit einer *N. pumilio* Pflanze zu finden und dies nur bis zu einer Bodenoberflächenbedeckung von 70 %. *A. araucana* Pflanzen sind schattentoleranter und sind deshalb sogar noch bei Bedeckungsgraden von über 85 % zu finden. Im allgemeinen ist die Pflanzenzahl pro Verjüngungsstichprobe wesentlich höher unter 10 % Bedeckung von *Ch. argentina*. Dies ist bei *A. araucana* ausgeprägter, denn die Pflanzenzahl kann bis zu 25 St./Stichprobe erreichen, während bei *N. pumilio* auf einer Stichprobe höchstens 11 Pflanzen zu finden sind. Die Verjüngungsstichproben auf denen *Ch. argentina* abwesend ist, weisen bei beiden Baumarten die unterschiedlichsten Pflanzenzahlen auf (s. Abb. 44).

## 5. Diskussion

In diesem Kapitel sollen die in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Befunde einer kritischen Würdigung unterzogen werden. In Kapitel 5.1 wird zunächst auf methodische Aspekte eingegangen. In den Kapitel 5.2 bis 5.5 wird versucht die im Kapitel 1 formulierten vier, im folgenden nochmals genannten, Fragen zu beantworten.

- *Wie ist die Struktur und das Wuchsverhalten von *A.araucana*-*N.pumilio* Urwaldbeständen?*
- *Wie beeinflussen waldbauliche Maßnahmen die Struktur und das Wuchsverhalten von *A.araucana*-*N.pumilio* Urwaldbeständen?*
- *Wie ist die Verjüngungsdynamik von *A.araucana*-*N.pumilio* Urwaldbeständen?*
- *Wie beeinflussen waldbauliche Maßnahmen die Verjüngungsdynamik von *A.araucana*-*N.pumilio* Urwaldbeständen?*

In jedem Kapitel werden die jeweils wichtigsten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zusammengefasst wiedergegeben und mit Befunden anderer Studien diskutiert. Wie in Kapitel 1 erwähnt wurde, besteht ein großer Mangel an waldbaulichen Untersuchungen von *A.araucana* Wäldern, weshalb in einigen Fällen ein Vergleich der eigenen Ergebnisse mit anderen Studien nicht möglich war. Um die Beantwortung der oben genannten Fragen zu vervollständigen, war es allerdings zum Teil jedoch auch notwendig Ergebnisse anderer Arbeiten hervorzuziehen, die sich nicht durch eigene Untersuchungen überprüfen ließen.

In Kapitel 5.6 werden eine zusammenfassende Interpretation der Ergebnisse und **Empfehlungen zur Förderung und Erhaltung von *A.araucana*** vorgestellt.

### 5.1 Kritische Würdigung der Methodik

#### Versuchsflächen

Für die Realisierung der vorliegenden Arbeit stand die in den chilenischen *A.araucana* Wäldern größte Versuchsanlage zur Verfügung. Sie besteht aus 21 jeweils ein Hektar großen Versuchsflächen, die in den Jahren 1981-1982 eingerichtet wurden. Auf der Grundlage einer sehr intensiven Datenaufnahme in den Jahren 1998-1999, sollte im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchung die Auswirkungen der auf den Flächen durchgeführten waldbaulichen Maßnahmen auf die Baum- und Verjüngungsschicht erfasst werden. Um auf allen Versuchsflächen die gleiche Aufnahmeintensität durchführen zu können, wurden auf Empfehlung von Prof. Dr. H. Schmidt, unter Berücksichtigung des logistisch und zeitlich Möglichen, neun Flächen ausgewählt.

Diese aus technischen Gründen notwendige Beschränkung stand im Gegensatz zu einer aus statistischen Gründen wünschenswerten großen Stichprobenzahl (vgl. HASELOFF und HOFFMANN, 1970; MATHER, 1972; SACHS, 1974; WEBER, 1986; KÖHLER *et al.*, 1996; CANAVOS, 1997) Einen Ausweg aus diesem Dilemma bot die Zerlegung der Versuchsflächen in Teilflächen. Diese musste jedoch gewährleisten, dass auch die Teilflächen die Urwaldcharakteristika hinsichtlich der Durchmesserstruktur noch repräsentierten. Wie sich allerdings zeigte, sind Flächengrößen unter einem Hektar nicht geeignet, diese Anforderungen zu

erfüllen. Aus diesem Grund beruhen die weiteren Analysen auf den jeweils ein Hektar großen Flächen. Ob die Durchmesserstruktur auf den ein Hektar großen Flächen ihrerseits die der auf noch größeren Flächen zu findenden, Urwaldstruktur entspricht, kann nicht beurteilt werden, da Flächen über ein Hektar nicht vorliegen.

Anders als in der vorliegenden Arbeit berücksichtigen MARMILLOD (1982) und LAMPRECHT (1986) als Kriterium für die Berechnung einer repräsentativen minimalen Fläche nicht die Durchmesserstruktur, sondern die Baumartenzusammensetzung. Nach einem Vorschlag von CAIN und OLIVEIRA (1959, zit. n. LAMPRECHT, 1986) gilt das repräsentative Minimumareal als erreicht, wenn bei einer Erweiterung der Aufnahmefläche um 10 % der Artenzahlzuwachs unter 10 % bleibt. Mit der selben Methode berechnete WACHTEL (1990) das Minimumareal für *Araucaria angustifolia* Urwälder in Südbrasilien. Dabei stellte er fest, dass Flächengrößen zwischen 2.000 und 3.000 m<sup>2</sup> ausreichen um die repräsentativen floristischen Eigenschaften des Urwaldes zu erfassen. Für die vorliegende Arbeit hätte die Anwendung des Kriteriums „Baumart“ keinen Beitrag geleistet, da in den untersuchten Bestände nur *A.araucana* und *N.pumilio* vorhanden waren. Darüber hinaus ist das Kriterium „Durchmesser“ zur Bestimmung des Minimumareals wesentlich trennschärfer und auch aus waldbaulicher Sicht geeigneter.

Neben dem Versuch der Flächenzerlegung wurde analysiert, ob möglicherweise bereits vor Versuchsbeginn signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Versuchsflächen bestanden hatten, zumal sich die Versuchsflächen an zwei verschiedenen Waldorten befanden. Als Kriterien für die Bestimmung der „Einheitlichkeit der Bestandesstruktur“ der Urwaldflächen wurde mit Blick auf die vorhergehenden Erläuterungen die Durchmesserstruktur verwendet. Als ergänzendes Beurteilungskriterium wurden horizontale Baumverteilungsmuster herangezogen.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Versuchsflächen vor Versuchsbeginn in der Durchmesserstruktur zwar nicht ganz homogen waren, in 80 % der Vergleiche der Durchmesserstrukturen sich jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede nachwiesen ließen (s. Kap. 4.121). Bezüglich der horizontalen Verteilungsmuster waren die Resultate ähnlich. So ergaben sich bei den Vergleichen der horizontalen Verteilungsmuster zwischen 83 % (*N.pumilio* Bäume zwischen 10-50 cm BHD) und 97 % (*A.araucana* Bäume zwischen 100-200 cm BHD) keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsflächen (s. Kap. 4.121). Diese Ergebnisse sind bemerkenswert, da *A.araucana* Wälder von Natur aus sehr unterschiedliche Entwicklungsphasen und so auch differente Waldstrukturen aufweisen können (SCHMIDT, 1977; SCHMIDT *et al.*, 1980; VEBLER, 1982; BURNS, 1991, 1993; DONOSO, 1993). Die untersuchten Bestände befinden sich jedoch offensichtlich in einer identischen Phase der Waldentwicklungsdynamik. Die plenterartige Durchmesserstruktur der Bestände und die Anwesenheit von sehr dicken und alten Bäumen deuten darauf hin, dass es sich um eine Phase der Sukzession handelt, indem der Wald ein Fließgleichgewicht erreicht hat (s. Kap. 5.2).

Nach der Ausführung der waldbaulichen Behandlungen war festzustellen, dass das ursprüngliche angestrebte Ziel einer grundflächenbezogenen Schaffung von Wiederholungen nicht genau erfüllt worden konnte (SCHMIDT *et al.*, 1982) (s. Kap. 3.21). Dies bedeutet, dass Versuchsflächen die ursprünglich einer Behandlungsvariante angehören sollten, nach den Eingriffen unterschiedliche Grundflächenhaltungen aufwiesen. Aus diesem Grund wurden die Versuchsflächen erst dann einer bestimmten Behandlungsvariante zugewiesen, wenn sich bei der Analyse der Zusammenhänge der Einzelbaumparameter nicht grundsätzlich andere Ergebnisse ergaben als auf

den anderen Flächen mit gleicher Behandlung. Die Resultate dieser Analysen wiesen in nur sehr wenigen Fällen signifikante Unterschiede zwischen Versuchsflächen mit gleicher Behandlung auf. Waren solche Abweichungen festzustellen, betrafen diese zumeist die Fläche K-III die sich von den anderen Kontrollflächen unterschied. Ähnliches gilt für die Fläche M-III beim Vergleich mit den anderen Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung. Die große Zahl an Analysen, bei denen aus statistischer Sicht keine wesentlichen Differenzen zwischen den Flächen der gleichen Behandlungsvariante vorhanden waren, führte zu der Entscheidung die entsprechenden Versuchsflächen als Wiederholung zu betrachten.

### Baumklassenbildung

Den verschiedenen Ansätzen, das Gefüge eines Waldes zu charakterisieren, liegt ein gemeinsames Schema zugrunde: sie gliedern die Bestandeselemente nach ihrer soziologischen Stellung. Als biologische Kriterien kommen dabei die Baumhöhe, die Kronenausbildung und in bedingten Maße auch der Durchmesser in Betracht (MAGIN, 1959).

Für die soziologische Gliederung homogener und gleichaltriger Bestände haben sich die Baumklassen nach KRAFT (1884) als geeignet erwiesen. Diese Klassifikation geht davon aus, dass die soziologische Stellung der Bäume im Bestand das Ergebnis des Konkurrenzkampfes um Lichtgenuss und Lebensraum ist; sie drückt sich in der Baumhöhe und Kronenausladung gegenüber Nachbarbäumen aus. Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit einer gut ausgebildeten Krone umso größer ist, je höher ein Baum im Verhältnis zu seinen Nachbarn ist. Für plenterartige Bestände, die Gegenstand der vorliegenden Studie sind, besitzt diese Klassifikation allerdings nur eine eingeschränkte Aussagekraft, da sich im Plenterwald ein Baum auch in der unteren Höenschicht befinden und dabei eine freie und gut entwickelte Krone aufweisen kann (vgl. BADOUX, 1949; AMMON, 1951; SOMMER, 1961; ASSMANN, 1961; SCHÜTZ, 1989). Für Plenterwälder müssen deshalb andere Bestimmungskriterien für die Bildung von Baumklassen gewählt werden.

LEIBUNDGUT (1945) verwendete bei Untersuchungen über den Aufbau von Plenterwäldern die Kronenfreiheit als Klassifikationskriterium. Er bildete drei Baumklassen: Ober-, Mittel- und Unterstand. Unterständig waren alle überschirmten, in ihrem Höhenwachstum offensichtlich gehemmten Bäume ohne Rücksicht auf ihre Durchmesser- und Höhendimensionen. Als mittelständig klassifizierte er Bäume, die noch deutlich durch andere bedrängt wurden, jedoch nicht völlig überschirmt sind. Unter oberständigen Bäumen verstand er solche, die durch Nachbarbäume ungehemmt oder nur unmerklich beeinflusst sind. Eine diesem Prinzip ähnliche Klassifikation verwendete auch CASADO REBOLLO (1995) bei Untersuchungen in einem mitteleuropäischen Plenterwald. Sie bildete jedoch vier Kronenfreiheitsklassen.

Genauere Unterscheidungen für die Auffassung des Bestandesaufbaues von Plenterwäldern enthalten die Vorschläge von ASSMANN (1954) und OLBERG (1955). Das dreistufige System ASSMANN's gliedert sich nach Höhenklasse, Kronengüte und „Begünstigung“. Ausgehend von der mittleren Höhe der höchsten Bäume des Bestandes werden drei Höenschichten gebildet: Oberschicht 81-100 % der Oberhöhe, Mittelschicht 51-80 % der Oberhöhe und Unterschicht 0-50 % der Oberhöhe. Die Kronengüteklasse drückt die äußerlich ansprechbare Fähigkeit zur Assimilation aus, wobei die Größe des assimilierenden Kronenmantels und die Dichte der Benadelung bzw. Belaubung berücksichtigt wird. Die sogenannte „Begünstigungsklasse“

bezeichnet den Grad der Konkurrenzfähigkeit durch die jeweilige Stellung zu Nachbarbäumen. Hierzu wird das Maß der seitlichen Einengung und Überschirmung berücksichtigt. Mit dieser Baumklassifizierung werden nach ASSMANN neben der Struktur auch die Wuchsaussichten der Bäume zur Darstellung gebracht. OLBERG (1955) übte an LEIBUNDGUT's und ASSMANN's Vorschlägen starke Kritik. Er bemängelte, dass diese Baumklassensysteme nur auf Plenterwäldern zugeschnitten sein, sie aber alle vorkommenden Waldstrukturen erfassen können sollten. OLBERG (1955) schlägt dazu eine Einteilung in sechs Baumklassen vor, für die er ebenfalls die von ASSMANN (1954) verwendeten Kriterien: Höhe, Krone und „Wettbewerb“ (Konkurrenz) heranzieht. Der wesentliche Unterschied zu ASSMANN liegt in der Definition der Baumklassen. Hinsichtlich der Baumhöhen definierte OLBERG (1955) folgende Klassen: oberständig, hauptständig, zwischenständig, mittelständig, unterständig und grundständig. Bei der Einteilung in Kronenklassen wird die Kronenlänge und der Kronenquerschnitt berücksichtigt. Die „Wettbewerbsklassen“ sind wie die „Begünstigungsklassen“ von ASSMANN (1954), durch den Grad der seitlichen Einengung und Überschirmung bestimmt.

Bei der Untersuchung eines mehrschichtigen Urwaldes in den bayerischen Alpen, hat MAGIN (1959) die Baumklassensysteme der genannten Arbeiten und deren Kriterien vergleichend analysiert und sich für eine Klassifikation nach Höhenschichten in Sinne ASSMANN's entschieden.

Im Jahr 1956 empfahl LEIBUNDGUT ein für alle Waldstrukturen verwendbares System der Baumklassenbildung, das von der IUFRO übernommen wurde. Heute ist die Klassifikation als IUFRO (1956) bekannt (vgl. KRAMER und AKCA, 1995; BURSCHEL und HUSS, 1997). Für die Bestimmung der Baumklassen werden zwei Kriterien getrennt berücksichtigt: die „gesellschaftliche Stellung“ und die „waldbauliche Baumklasse“. Jedes Kriterium besteht wiederum aus drei Klassen. Die gesellschaftliche Stellung wird ermittelt an der Höhe, der Vitalität und der gesellschaftlichen Entwicklungstendenz. Die waldbauliche Baumklasse ergibt sich aus der Werterwartung, der Schaftgüte und der Bekronung. Trotz der großen Detailgenauigkeit, wird dieses System in der forstwissenschaftlichen Praxis selten und in Plenterwäldern bisher überhaupt nicht verwendet. Das gleiche gilt im Prinzip für alle der im vorstehende genannten Klassifikationen (LEIBUNDGUT, 1945; ASSMANN, 1954; OLBERG, 1955).

Dies bedeutet, dass bis heute eine endgültige und einheitliche Definition von Bestimmungskriterien für die Bildung von Baumklassen in Plenterwäldern nicht vorliegt. Für die vorliegende Arbeit war jedoch die Festlegung solcher Kriterien von großer Bedeutung, da die waldbaulichen Behandlungen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf Baummerkmalen nach Baumklassen getrennt analysiert werden sollten. Dabei schied eine zu detaillierte Baumklassenbildung aus, denn es sollten für jede Baumklasse getrennt die Zusammenhänge zwischen je zwei Baumparametern und deren Abhängigkeit von der waldbaulichen Behandlung getestet werden. Eine hohe Zahl an Baumklassen hätte aber aufgrund der Vielzahl an Regressionen zu schwer interpretierbaren Ergebnissen geführt, die aufgrund der geringen Individuenzahl je Klasse auch nur bedingt absicherbar gewesen wären. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die auch von den genannten Autoren verwendeten Kriterien: „Höhenschicht“ und „Kronenfreiheit“ getestet, wobei das letzte Kriterium sich als geeigneter erwies. Der Grund hierfür waren die geringeren Überlappungen zwischen den einzelnen

Baumklassen, was bei der statistischen Analyse zu einer wesentlichen Verringerung der Varianz geführt hat.

### Auswertungsverfahren

Die Verteilungen der Stammzahlen auf Durchmesserklassen, die Morisita-Indizes verschiedener Flächengrößen, die jährlichen Durchmesserzuwächse einer Periode und die Verjüngungsfrequenzen können als nominalskalierte Häufigkeitsverteilungen betrachtet werden. Aus diesem Grund wurden die Vergleiche zwischen den Versuchsflächen bezüglich den genannten Aspekten mit Hilfe des  $\chi^2$  - Testes überprüft (vgl. HASELOFF und HOFFMANN, 1970; MATHER, 1972; SACHS, 1974; WEBER, 1986; KÖHLER *et al.*, 1996; CANAVOS, 1997). Der  $\chi^2$  - Anpassungstest ist für den Vergleich von beobachteten mit erwarteten Häufigkeitsverteilungen sehr geeignet, da mit seiner Hilfe überprüft wird, ob die bei einem Versuch festgestellte Verteilung sich an eine theoretische erwartete Häufigkeitsverteilung anpasst oder signifikant abweicht. Da theoretische erwartete Verteilungen jedoch nicht vorlagen, wurde mittels des  $\chi^2$  - Testes statt solcher Vergleiche, getestet, ob sich die Verteilungen der Durchmesser, horizontalen Verteilungsindizes und Durchmesserzuwächse der verschiedenen Versuchsflächen vor Versuchsbeginn signifikant voneinander unterscheiden. Im Gegensatz dazu wurden bei der Bestimmung der horizontalen Verteilungsmuster der Verjüngung die im Gelände festgestellten Frequenzen der Verjüngung mit den auf der Grundlage einer Poisson-Verteilung erwarteten Frequenzen verglichen. Diesem Verfahren folgen auch KERSHAW (1973) und WHITTAKER (1975). Lassen sich signifikante Abweichungen von der Poisson-Verteilung nicht feststellen, bedeutet dies, dass die Verjüngungspflanzen auf der Aufnahmefläche zufällig verteilt sind.

Wie in Kapitel 3.44 bereits erwähnt wurde, sollten die Auswirkungen der waldbaulichen Maßnahmen nicht nur auf der Bestandesebene bewertet werden, sondern auch auf der Ebene der Einzelbäume. Dazu wurde überprüft ob und inwieweit die Abhängigkeit verschiedener Baummerkmale voneinander durch die waldbaulichen Maßnahmen verändert wurde. Grundlage dieser Analysen war die Erfassung einer großen Zahl an Kennwerten auf Einzelbaumbasis im Gelände. Das entsprechende statistische Verfahren zur Auswertung dieser Datenbasis ist die Regressionsanalyse, die nicht nur die Stärke sondern auch die Art der Zusammenhänge zwischen zwei Messgrößen beschreibt (vgl. KÖHLER *et al.*, 1996; BORTZ, 1993; BACKHAUS *et al.*, 1996; CANAVOS, 1997).

Ein sehr wichtiger Aspekt für die Verwendung des Konzeptes „Analysen zur Bewertung waldbaulicher Maßnahmen“ (s. Kap. 3.44) war, dass der untersuchte *A. araucana* Plenterurwald sich im Fließgleichgewicht befindet. Das bedeutet, dass die Verhältnisse auf den Kontrollflächen als repräsentativ für alle Versuchsflächen vor Versuchsbeginn und auch für den Zustand der Kontrollflächen in Zukunft gelten können. Letzteres gilt, solange kein katastrophales Ereignis den Gleichgewichtszustand stört. Die Bedeutung dieses Befundes spiegelt sich auch bei dem für die Bildung der Baumklassen gewähltem Kriterium, der Konenfreiheit, wieder. So ändert sich zwar die Überschildung einzelner Bäume, im Durchschnitt verändern sich die Überschildungsverhältnisse in Wäldern mit einem Plentergleichgewicht jedoch nicht. Die für die Bestände auf den Kontrollflächen berechneten Regressionskurven zur Darstellung des Zusammenhangs verschiedener Kennwerte in Abhängigkeit von den Kronenfreiheitsklassen gelten also für Verhältnisse ohne natürliche Großstörungen bzw. ohne menschliche Eingriffe. Die

davon unterscheidbaren Regressionskurven für die Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung sind somit auf Verschiebungen durch die waldbaulichen Behandlungen zurückzuführen.

Die mit dem gewählten Vorgehen mögliche Analyse der durch die waldbaulichen Maßnahmen hervorgerufenen Auswirkungen auf diverse Einzelbaumparameter erfordert jedoch, dass solide Kenntnisse über das Untersuchungsmaterial vorliegen. So können durch eine Kontrastcodierung nicht alle Unterschiede zwischen den Regressionsparametern der berechneten Kurven auf Signifikanz getestet werden. Die Variablen der untersuchten Zusammenhänge (Kap. 3.441) sind intervallskalierte Merkmale, während die Kronenfreiheitsklassen (s. Kap. 3.442) qualitative Variablen sind, die auf einem nominalskalierten Niveau liegen. Um die regressionsanalytische Auswertung korrekt durchzuführen, dürfen bei einer k-stufigen nominalskalierten Variable nur k-1 Indikatorvariablen eingesetzt werden (BORTZ, 1993). In der vorliegenden Arbeit wurden insgesamt neun Kronenfreiheitsklassen berücksichtigt, also konnten nur acht Indikatorvariablen eingesetzt werden, was letztendlich die Anzahl der Vergleiche zwischen den Regressionskurven beschränkt hat. Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung geprüften spezifischen Hypothesen (s. Tab. 14 im Kap. 3.443) wurden als die hinsichtlich der Fragestellung wichtigsten erachtet (s. Punkt 3 im Kap. 3.443).

## 5.2 Die Struktur und das Wuchsverhalten von *A.araucana-N.pumilio* Urwaldbeständen

### Durchmesserstruktur

Die Durchmesserstruktur des untersuchten *A.araucana* Urwaldes wurde anhand des Zustandes der neun, ein Hektar großen, Versuchsflächen vor der Anlage der Behandlungen und mittels der Bestandessentwicklung in den letzten 16 Jahren auf den Kontrollflächen untersucht.

Die Resultate der Analysen der Durchmesserstruktur zeigten folgendes:

- Die neun untersuchte *A.araucana-N.pumilio* Bestände wiesen vor der Anlage der waldbaulichen Maßnahmen auf einem Hektar ein ähnliches Plentergefüge auf.
- Während der Periode 1982-1998 hat sich auf den drei Kontrollflächen die plenterartige Durchmesserstruktur kaum geändert.

Nach einer einfachen und oft verwendeten typologischen Definition versteht man unter Plenterwald: einen Wald, in dem Bäume aller Entwicklungsphasen auf kleinem Raum nebeneinander aufwachsen (vgl. FLURY, 1933; KÖSTLER, 1956; MITSCHERLICH, 1961; ASSMANN, 1961; SPIECKER, 1986; SCHÜTZ, 1989, 1992; BURSCHEL und HUSS, 1997). Der erste Teil dieser Definition trifft auf alle hier vorgestellten Versuchsflächen zu, denn es kommen Individuen aller Durchmesser- und Höhendimensionen vor. In Bezug auf den zweiten Teil: auf kleinem Raum nebeneinander, bleibt die Definition ohne konkrete Festlegung, was darunter zu verstehen ist (vgl. SCHÜTZ, 1989). In den *A.araucana* Urwäldern wird die Plenterstruktur erst ab einem Hektar erkennbar, was nicht weiter verwunderlich ist, da bis zu 200 cm dicke Bäume vorhanden sind. Nach SCHÜTZ (1989) ist in einem *A.alba-F.sylvatica* Plenterwald mit einem Zieldurchmesser von 100 cm, eine Fläche von mindestens einem Drittel Hektar erforderlich, um die Bedingungen eines künstlichen Gleichgewichts erfüllen zu können.

MEYER (1933), PRODAN (1949 [a], [b]) und MITSCHERLICH (1961, 1963) beziehen die Berechnungen des Plentergleichgewichtes auf einen Hektar, wobei die Zieldurchmesser unter 100 cm liegen. Es ist zwar zu vermuten, dass sich auch mit dickeren Bäume von mitteleuropäischen Baumarten eine Plenterstruktur auf einem Hektar erreichen lässt, die hierzu erforderliche Plenterung<sup>53</sup> müsste jedoch sehr konsequent durchgeführt werden. Die Einzigartigkeit der *A.araucana* Urwälder besteht darin, dass sie ein Plentergefüge mit sehr dicken Bäumen aufweisen, obwohl sie nie geplentert wurden. Dieser Befund widerspricht den bisherigen Kenntnissen, denn die Plenterstrukturen werden prinzipiell mit waldbaulichen Behandlungskonzepten assoziiert und stellen keine natürliche Waldform dar (LEIBUNDGUT, 1945; PRODAN, 1949 [a], [b]; AMMON, 1951; SPIECKER, 1986; SCHÜTZ, 1989, 1992, 1994; SCHMIDT-VOGT, 1991). Nach diesen Autoren ist die Plenterstruktur keine sich selbsterhaltende Waldstruktur, die ohne Eingriffe auf kleinen Flächen entsteht.

LAMPRECHT (1986) berichtet von immergrünen Tropenfeuchtwäldern, die ebenfalls plenterartige Strukturen auf Flächen von einem Hektar aufweisen. Diese Waldstrukturen werden jedoch aus mehreren Baumarten mit unterschiedlicher Lichttoleranz gebildet. Unter ausschließlicher Berücksichtigung einzelner Baumarten ist erst bei einer minimalen Fläche von 3,75 Hektar eine Plenterstruktur zu erkennen (LAMPRECHT, 1986). BIEHL (1991) arbeitete mit Versuchsflächen, die eine Größe von einem Hektar aufwiesen, stellt aber fest, dass diese Fläche zu klein sei, den im Gleichgewicht befindlichen *F.sylvatica* Plenterwaldbestand im Revier Langula richtig zu erfassen. Im Gegensatz dazu, würden möglicherweise Reinbestände von *A.araucana* eine plenterartige Waldstruktur auf kleineren Flächen als ein Hektar aufweisen. Diese Vermutung ergibt sich daraus, dass die Stammzahlverteilungen der Mischbaumart *N.pumilio* eine nicht so ausgeprägte Plenterstruktur aufweist. Offensichtlich sind die Lichtbedürfnisse von *A.araucana* ideal für die Bildung von Plentergefügen. Wegen ihres Pioniercharakters wird sie zwar häufig den Lichtbaumarten zugeordnet, ist aber auch in der Lage Halbschatten sehr gut zu ertragen (MUTARELLI und ORFILA, 1970; SCHMIDT *et al.*, 1980; DONOSO, 1990, 1993). *A.araucana* kann mit *A.alba* verglichen werden. Diese Baumart wird für mitteleuropäische Verhältnisse als die prädestinierte Baumart zur Plenterung angesehen (AMMON, 1951; SCHÜTZ, 1989), denn, genau wie *A.araucana*, verjüngt sie sich unter ihrem eigenen Schirm (SCHMIDT *et al.*, 1980; BURNS, 1991, 1993).

### Fließgleichgewicht

Für die Annahme, dass die untersuchten *A.araucana-N.pumilio* Urwaldbestände über lange Zeit durch keine Großstörung betroffen wurden und sich im Fließgleichgewicht befinden, spricht der Befund, dass eine Plenterstruktur auf kleiner Fläche **und** sehr dicke, alte Bäume vorhanden sind. Nach VEBLER (1982), BURNS (1991, 1993) und DONOSO (1993) tendieren die *A.araucana* Wälder, wenn sie über lange Zeit durch keine Großstörung betroffen wurden, zu einem kontinuierlichen dynamischen Gleichgewichtszustand, in denen wegen der ausgesprochenen Schattentoleranz von *A.araucana* stets ungleichaltrige und mehrschichtige Wälder entstehen. In diesen natürlichen stabilen Ökosystemen spielen nur kleinere Störungen, wie Schnee, Wind usw.

---

<sup>53</sup> Plenterung: waldbaulicher Eingriff in einen im Strukturgleichgewicht stehenden Plenterwald, der die fünf folgenden waldbaulichen Kriterien zusammenfasst: Verjüngung, Erziehung und Auslese, Strukturregulierung, Ernte, Sanitärtrieb und Zwangnutzungen (SCHÜTZ, 1989).

und natürliche Zerfalls- und Todesprozesse eine Rolle (OTTO, 1994; BURSCHEL und HUSS, 1997).

Bemerkenswert ist, dass die vorhandene Plenterstruktur schon über eine *A.araucana* Generation diesen Wald kennzeichnet. Das bedeutet, schon über ca. 1.000 Jahren (vgl. HUECK, 1966; MUTARELLI und ORFILLA, 1970; SCHMIDT, 1977; SCHMIDT *et al.*, 1980; VEBLEN, 1982; RODRIGUEZ *et al.*, 1983). Hierfür spricht, dass an allen Baumstümpfen der gefällten *A.araucana* Bäume der Kern eine Zone von ausgesprochen engen Jahrringen aufwies. Diese Erscheinung ist ein Ausdruck des in Plenterwäldern typisch verlangsamten Jugendwachstums (vgl. FLURY, 1933; LEIBUNDGUT, 1945; PRODAN, 1947; MITSCHERLICH, 1961; SPIECKER, 1986; SCHÜTZ, 1989; BURSCHEL und HUSS, 1997), was bedeutet, dass sogar die dicksten und sehr wahrscheinlich auch die ältesten *A.araucana* Bäume schon in einem plenterartigen Wald keimten.

BURSCHEL und HUSS (1997) sind der Meinung, dass durch Plenterung ein höchst künstliches Fließgleichgewicht geschaffen wird, das als Plentergleichgewicht bezeichnet wird (vgl. MEYER, 1933; LEIBUNDGUT, 1945; PRODAN, 1949 [a], [b]; AMMON, 1951; SCHÜTZ, 1989, 1992). Da die untersuchten *A.araucana* Plenterwälder sich in einem natürlichen Fließgleichgewicht befinden, kann in diesem Fall dann auch von einem natürlichen Plentergleichgewicht gesprochen werden.

Ein wichtiger Punkt zu erläutern ist, dass die in der Literatur manchmal erwähnten und beschriebenen einschichtigen *A.araucana-N.pumilio* Bestände nicht Entwicklungsphasen einer zyklischen Walddynamik kennzeichnen (vgl. SCHMIDT, 1977; PUENTE, 1980), sondern vorübergehende Waldstrukturen eines kontinuierlichen dynamischen Prozesses darstellen, die stets mit rezenten Großstörungen verbunden sind. Wenn *A.araucana* Waldgesellschaften die sich im Fließgleichgewicht befinden von solchen Ereignissen betroffen werden, dann überleben oft die größeren und stabilen *A.araucana* Bäume. Dadurch entstehen offene Waldstrukturen, die sich langsam durch die Verjüngung von *A.araucana* unter den Mutterbäumen und durch die schnelle Ansiedlung von *Nothofagus*-Arten wieder verdichten (VEBLEN, 1982; BURNS, 1991, 1993, 1993; HÖVELMANN, 1998). Die Struktur dieser *A.araucana* Wälder erscheint dann vorübergehend einschichtig. In Abwesenheit von Großstörungen werden jedoch diese Wälder wieder zu einer mehrschichtigen Waldstruktur übergehen. Es ist zu bemerken, dass die nach Großstörungen entstehenden Waldstrukturen zwar einschichtig sind, jedoch nicht gleichaltrig, da sie ursprünglich einen Plenterwald kennzeichneten (DONOSO, 1993). In Fällen, in denen die Widerstandsfähigkeit der *A.araucana* Bäume aufgrund der hohen Intensität der Störungen überschritten wird, besiedelt die Konifere sehr langsam die devastierten Standorte wieder. Hier bilden die neuen Waldformationen ebenfalls einschichtige Waldstrukturen, in der die höchsten BHD-Zuwächse in der Jugend geleistet werden (vgl. RECHENE, 2000). Diese Waldformationen tendieren letztendlich mit der Zeit auch zu kontinuierlichen dynamischen Plentergleichgewichtszuständen.

#### Grundfläche und Vorrat

Für einen Gleichgewichtszustand der untersuchten Bestände sprechen auch die Zahlen der Grundfläche und des Vorrates der Kontrollflächen, da sich die Gesamtgrundfläche und der Gesamtvorrat der Urwaldbestände während der Periode 1982-1998 nicht geändert haben. Es ist

jedoch zu bemerken, dass in diesen 16 Jahren *A.araucana* ihre jeweiligen Anteile aufbauen konnte, während *N.pumilio* im gleichen Umfang an Grundfläche und Vorrat verloren hat. In einer anderen Periode könnte diese Verschiebung genau umgekehrt verlaufen, wobei jedoch der Wald, wie in diesem Fall, in einem „dynamischen“ Gleichgewichtszustand bleiben würde.

Die durchschnittliche Gesamtgrundfläche von 81 m<sup>2</sup>/ha der untersuchten Urwaldbestände liegt deutlich unter den Angaben von SCHMIDT (1977) und SCHMIDT *et al.* (1980). SCHMIDT (1977) errechnete für einen *A.araucana-N.pumilio* Wald in Quinquén einen maximalen Grundflächenwert von 177 m<sup>2</sup>/ha, wovon der Anteil der Baumart *A.araucana* 84 % entsprach. Für *A.araucana-N.pumilio* Bestände in Lonquimay ermittelten SCHMIDT *et al.* (1980) Werte zwischen 100 und 120 m<sup>2</sup>/ha. Geringere Grundflächenwerte geben BASCUR *et al.* (1987) für *A.araucana-N.dombeyi* Bestände an. Sie errechneten für solche Waldformationen in den Anden und in der Küstenkordillere durchschnittliche Grundflächenwerte von 59,4 - 75,7 bzw. 44,7 m<sup>2</sup>/ha.

Hinsichtlich der in der vorliegenden Arbeit angegebenen Vorrats- und Volumenzuwachswerte muss, wie schon im Kapitel 4.211.4 erwähnt wurde, darauf hingewiesen werden, dass die dargestellten Zahlen als grobe Einschätzungen bezeichnet werden müssen. Der für die Versuchsflächen vor Versuchsbeginn errechnete durchschnittliche Vorrat von 1.271 m<sup>3</sup>/ha stimmt jedoch sehr gut mit dem von PUENTE (1980) für *A.araucana-N.pumilio* Plenterwälder errechneten Wert von 1.283 m<sup>3</sup>/ha überein. MONTALDO (1951) ermittelte für mehrere Bestände in den Anden Vorräte bis zu 1475 m<sup>3</sup>/ha und für Bestände in der Küstenkordillere nur bis 350 m<sup>3</sup>/ha. SCHMIDT *et al.* (1980) behaupten, dass *A.araucana* Wälder einen Vorrat von 2.000 m<sup>3</sup>/ha erreichen können, wobei 90 % der Bäume einen BHD über 60 cm aufweisen würden und 60 % sogar über 100 cm. Es wird darauf hingewiesen, dass solche Waldstrukturen von weiteren Autoren noch nie erwähnt wurden, sehr wahrscheinlich auch nicht, weil solche Waldstrukturen nicht zur Dynamik der *A.araucana* Wälder gehören. Wie schon erwähnt, tendiert *A.araucana* zur Bildung von sehr vorratsreichen natürlichen Plenterwäldern (vgl. VEBLEN, 1982; BURNS, 1991, 1993; DONOSO, 1993) und nicht wie in der Arbeit von SCHMIDT (1977) vermutet zu sehr vorratsreichen einschichtigen Waldstrukturen.

Hinsichtlich des auf den Kontrollflächen ermittelten jährlichen Volumenzuwachses von 2,9 m<sup>3</sup>/ha für *A.araucana* ist zu bemerken, dass dieser Wert höher ist als der von OJEDA (1989) berechnete Zuwachs von 2,0 m<sup>3</sup>/ha, a in den Plenterwäldern von Quinquén (in der Nähe von Lonquimay) und den höchsten von MUTARELLI und ORFILA (1970) errechneten Zuwächsen entspricht. Die letztgenannten Autoren registrierten für verschiedene Standortsgüte in den argentinischen Anden durchschnittliche jährliche Volumenzuwächse von *A.araucana* zwischen 1,4 und 2,9 m<sup>3</sup>/ha. Einen deutlichen höheren Zuwachs geben SCHMIDT *et al.* (1980) an. Nach deren Angaben schwankte der Volumenzuwachs der Konifere in *A.araucana-N.pumilio* Wäldern in Lonquimay zwischen 5 bis 6 m<sup>3</sup>/ha, a. Es ist jedoch zu bemerken, dass die Grundfläche der Wälder in denen SCHMIDT *et al.* (1980) gearbeitet haben bei 100-120 m<sup>2</sup>/ha lag und damit um 20-40 m<sup>2</sup>/ha höher war als die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Urwaldbestände.

#### Horizontale Verteilungsmuster

Die horizontalen Verteilungsmuster von *A.araucana* und *N.pumilio* waren, genauso wie die Durchmesserstrukturen, in den neun Urwaldbeständen gleich. Die ziemlich geklumpton

Verteilungsmuster der *A.araucana* Bäume bis zu BHD 50 cm deuten in erster Linie auf eine gruppenweise Verjüngung hin. Die schweren Samen dieser Baumart (vgl. EISELT, 1964; RODRIGUEZ *et al.*, 1983; KRÜSSMANN, 1983) fallen und keimen direkt unter den weiblichen Mutterbäumen (VEBLEN, 1982; MUÑOZ, 1984; SCHMIDT und CAMPOS, 1988; BURNS, 1991, 1993; DONOSO, 1993; CARO, 1995; FINCKH und PAULSCH, 1995; FINCKH, 1996), wo die Pflanzen bzw. die Bäume dann eine sehr lange Zeit ausharren können bis sie sich endlich in Kronenlücken durch zerfallende Altbäume durchsetzen (VEBLEN, 1982; BURNS, 1991, 1993; DONOSO, 1993). Die geklumpfte Verteilung der dickeren *A.araucana* Bäume dieser BHD-Klasse, also von Individuen im BHD-Bereich zwischen 30-50 cm, deutet darauf hin, dass die intraspezifische Konkurrenz zwischen Bäumen dieser Dimensionen noch nicht besonders stark ist. Das bedeutet nach BURSCHEL und HUSS (1997), dass der Kampf der Individuen um den Lebensraum noch nicht zur Ausscheidung von Bäumen aus dem Verband des Bestandes führt. In den Urwäldern findet man oft *A.araucana* Bäume dieser Dimensionen, die praktisch nebeneinander wachsen. Eine Erklärung hierfür wäre das langsame Wachstum von *A.araucana*, was zu einer pauschalen Anpassung zu den gleichgroßen Nachbarn führt. Diese Toleranz hat sich während der langen erdgeschichtlichen Entwicklung dieser Baumart entwickelt, da der Ausbreitungsmechanismus und die gruppierte Etablierung bei der Gattung *Araucaria* schon immer vorhanden waren (vgl. GOLTE, 1993). Zusätzlich, ist diesbezüglich noch sehr wichtig zu berücksichtigen, dass die Kronen von *A.araucana* von Natur aus verhältnismäßig klein sind, sodass eine starke Kronenkonkurrenz nicht auftritt.

Im Vergleich zu den dünneren Bäumen weisen die horizontalen Verteilungsmuster der dickeren Bäume schon die Konsequenzen der intra- bzw. interspezifischen Konkurrenz im Wald auf. Die dicksten *A.araucana* Bäume haben andere verdrängt und können den zur Verfügung stehenden Raum alleine ausnutzen. Bis zu Flächen von 1/9 Hektar kommen sie gleichmäßig verteilt vor und ab dieser Flächengröße weisen sie eine zufällige horizontale Verteilung auf.

Ähnliche Verteilungsmuster stellte WACHTEL (1990) für *Araucaria angustifolia* in einem südbrasilianischen Urwald fest. WACHTEL klassifizierte jedoch die Bäume nach drei soziologischen Schichten, die als unterständig, beherrscht und herrschend definiert wurden. Die horizontale Verteilung der unterständigen *A.angustifolia* Individuen entspricht der *A.araucana* Bäume bis BHD 50 cm, die Verteilung der beherrschten *A.angustifolia* Bäume derjenigen der *A.araucana* Individuen im BHD-Bereich zwischen 50 und 100 cm und die Verteilung der herrschenden *A.angustifolia* Bäumen ist sehr ähnlich mit der Verteilung der *A.araucana* Individuen mit über 100 cm BHD.

Auch die geklumpfte Verteilung der *N.pumilio* Bäume mit einem BHD unter 50 cm, deutet auf eine Lückenetablierung innerhalb des Waldes hin. *N.pumilio* zeichnet sich durch hohe Fertilität, geringeres Lebensalter und geringe Einzelbaumstabilität als Opportunist mit großer Aggressivität bei der Besiedlung neuer Areale aus. Das bedeutet, dass eine erfolgreiche Etablierung und Entwicklung dieser Baumart in den *A.araucana* Plenterwäldern von Kronenlückenbildungen abhängig ist (vgl. BRUN, 1969; SCHMIDT, 1977; SCHLEGEL *et al.*, 1979; VEBLEN, 1982; MORALES, 1983; CAVIERES, 1987; BURNS, 1991, 1993; DONOSO, 1993; FINCKH und PAULSCH, 1995; FINCKH, 1996). Das Lichtbedürfnis von *N.pumilio* wird im Vergleich zu dem anderer *Nothofagus*-Arten als mäßig bezeichnet, da zur Naturdynamik der anderen Arten die von Kronenlücken erzeugten Lichtverhältnisse nicht ausreichen, um sich erfolgreich etablieren zu

können (MUTARELLI und ORFILA, 1971; SCHMIDT und URZÚA, 1982; DONOSO, 1993). Offensichtlich sind jedoch die Lücken in *A.araucana* Wälder auch für *N.pumilio* nicht groß genug, um ihr Lichtbedürfnis vollkommen befriedigen zu können. Daher ist die Frequenz und Dominanz von *N.pumilio* in diesen Wäldern gering (vgl. SCHMIDT *et al.*, 1977). Die etablierten *N.pumilio* Individuen üben eine starke Konkurrenz aus, weswegen sich nur wenige Bäume durchsetzen können. Dies ist an der fast zufälligen Verteilung der größeren Individuen abzulesen, was im übrigen auch auf eine zufällige Lückenbildung innerhalb des Waldes hindeutet.

#### Durchmesserzuwachs

*A.araucana* wächst sehr langsam, kann aber aufgrund ihrer Langlebigkeit 1.000 bis 2.000 Jahre alt werden und zu starken Dimensionen heranwachsen (HUECK, 1966; MUTARELLI und ORFILLA, 1970; SCHMIDT, 1977; SCHMIDT *et al.*, 1980; VELEN, 1982; RODRIGUEZ *et al.*, 1983). In Altbeständen, wie den untersuchten, sind Bäume mit einem BHD zwischen 100 und 120 cm die Regel, einzelne Bäume erreichen bis zu 200 cm (SCHMIDT *et al.*, 1980; RODRIGUEZ *et al.*, 1983). Die in der vorliegenden Arbeit ermittelten BHD-Zuwächse aus den Bohrspananalysen und die aus dem Vergleich der Vollkluppungen in den beiden Aufnahmejahren errechneten BHD-Zuwächse von *A.araucana* und *N.pumilio* auf den Kontrollflächen entsprechen völlig der Dynamik des Durchmesserzuwachses eines Plenterwaldes (vgl. FLURY, 1933; LEIBUNDGUT, 1945; PRODAN, 1947; MITSCHERLICH, 1961; SPIECKER, 1986; SCHÜTZ, 1989; BURSCHEL und HUSS, 1997).

In der Jugend nimmt das BHD-Wachstum nur sehr langsam zu, hält aber sehr lange und gleichmäßig an. Die maximalen Zuwächse finden erst an Bäumen mit großen Dimensionen statt. Bei den allerstärksten Individuen sinkt der Zuwachs dann wieder langsam ab. Das verzögerte Wachstum in der Unterschicht ist eine Folge der starken Beschattung, die von *A.araucana* toleriert wird. Diese Baumart ist in der Lage sowohl unter ihrem eigenen Schirm, als auch unter Schirmbeständen die außer *A.araucana* auch *Nothofagus*-Arten enthalten, gut zu wachsen und sich zu verjüngen. *A.araucana* kann sogar eine starke Beschattung von mehreren hundert Jahren aushalten, wobei sie kaum wächst, aber auch nicht abstirbt (SCHMIDT *et al.*, 1980; BURNS, 1991, 1993). Wie schon erwähnt, war an den Baumstümpfen der gefälltten *A.araucana* Bäume das langsame Jugendwachstum sehr gut zu erkennen. So wies der Kern der Bäume eine Zone von ausgesprochen engen Jahrringen auf. Vergleichbares ist unter mitteleuropäischen Verhältnissen nur von *A.alba* bekannt, die 200 Jahre unter Schatten überleben kann (vgl. MAGIN, 1959; SCHÜTZ, 1989). Im Gegensatz zu *A.araucana* sind, wie schon erwähnt die Lichtverhältnisse in den plenterartigen Waldstrukturen für *N.pumilio* weniger gut geeignet. Daher finden sich nur wenige Individuen dieser Art in der Unterschicht.

Die in der vorliegenden Arbeit auf den Kontrollflächen ermittelten BHD-Zuwachswerte stimmen mit den aus anderen Untersuchungen abgeleiteten Zuwachsangaben einigermaßen überein. Ein unmittelbarer Vergleich der in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Analysen des BHD-Zuwachses in Abhängigkeit der Kronenfreiheit mit anderen Studien ist jedoch nicht möglich, da dort keine Unterschiede zwischen Kronenfreiheitsklassen gemacht wurden.

MONTALDO (1951) stellte fest, dass am Vulkan Llaima *A.araucana* Bäume im Alter zwischen 20 und 130 Jahren im Durchschnitt über 2 mm/Jahr wachsen, von 130 bis 400 Jahren zwischen 1 und 2 mm/Jahr und unter 1 mm/Jahr wenn sie älter als 400 Jahre sind. Diese Werte deuten darauf

hin, dass es sich bei dem von MONTALDO (1951) analysierten Bestand nicht um einen Plenterwald handelt, sondern um einen Wald mit einschichtiger Struktur der sehr vermutlich nach einer rezenten Großstörung entstanden ist. Anders ist es bei den BHD-Zuwächsen von *A. araucana* die NIELSEN (1963) und CAVIERES (1987) angeben. Der erste Autor fand in einem Bestand in der „Reserva Forestal Malalcahuello“ (in der Nähe von Lonquimay), dass *A. araucana* in einem Alter zwischen 412 und 462 Jahren 2,0 mm/Jahr gewachsen ist, während sie in der Jugend, im Alter zwischen 62 und 112 Jahren, nur 0,4 mm/Jahr wuchs. CAVIERES (1987) gibt für einen Bestand in Lonquimay folgende BHD-Zuwächse wieder: Bis zu einem Alter von 80 Jahren erfolgte ein Zuwachs von unter 1 mm/Jahr. Ab diesem Zeitpunkt bis zu einem Alter von 300 Jahren steigerte sich der durchschnittliche Durchmesserzuwachs auf bis zu 2,34 mm/Jahr und sank danach wieder, in einem Alter von 690 Jahren auf unter 1 mm/Jahr. Die Tendenz dieser Zuwachsverläufe stimmt mit der auf den hier vorgestellten Kontrollflächen überein. Werte unter 1 mm/Jahr wurden auf den vom Verfasser untersuchten Flächen allerdings nicht ermittelt, selbst bei den Bäumen mit überschirmter Krone nicht. SCHMIDT *et al.* (1977) geben für einen 500-jährigen *A. araucana-N. pumilio* Bestand in Lonquimay in den Anden auf ca. 1.600 m ü.NN, einen durchschnittlichen Durchmesserzuwachs von 2,71 mm/Jahr an. Dabei wurden allerdings nur die vorherrschenden Bäume über 100 cm berücksichtigt. Der dabei ermittelte Zuwachs ist höher als die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung auf den Kontrollflächen festgestellten Zuwächse. Zwar sind die 20 bis 30 m hohen *A. araucana* Bäume mit freien Kronen in den letzten 35 Jahren 2,76 mm/Jahr gewachsen, der auf die gesamte Lebensdauer bezogene durchschnittliche BHD-Zuwachs dieser Individuen ist aber mit Sicherheit nicht so hoch. Der durchschnittliche BHD-Zuwachs aller Bäume mit freien Kronen betrug in den letzten 16 Jahren 2,23 mm/Jahr. DONOSO (1990) hat die auf der Versuchsfläche K-II geleisteten BHD-Zuwächse analysiert. Hierzu wurden Zuwachsbohrungen an Individuen aller Dimensionen durchgeführt, die Werte wurden jedoch als durchschnittlicher BHD-Zuwachs des Gesamtbestandes wiedergegeben. Der von diesem Autor ermittelte durchschnittliche Wert von 1,50 mm/Jahr stimmt mit dem durchschnittlichen BHD-Zuwachs der Kontrollflächen gut überein. Dieses Ergebnis ist keineswegs selbstverständlich, da bei DONOSO's Aufnahme unterschiedliche Höhenschichten und Kronenfreiheiten nicht explizit berücksichtigt wurden. Einen für die Versuchsfläche K-I wesentlich geringeren durchschnittlichen BHD-Zuwachs von 1 mm/Jahr hat WERNER (1992) ermittelt. Hierzu führte er an 25 regelmäßig auf der Fläche verteilten Bäumen eine Zuwachsbohrung durch, wobei er genauso wie DONOSO (1990) keine weiteren Entwicklungsmerkmale berücksichtigte.

Der von MORALES (1983) ermittelte BHD-Zuwachs von 2,8 mm/Jahr für *N. pumilio* in einem *A. araucana-N. pumilio* Wald in der Nähe der Versuchsflächen ist um 0,39 mm/Jahr größer als der durchschnittliche Zuwachs von *N. pumilio* auf den Kontrollflächen. Der Unterschied hat seine Gründe vermutlich in der Walstruktur, da der von MORALES (1983) untersuchten Bestand eine einschichtige Struktur aufweist und dort mehr *N. pumilio* vorhanden ist als in den Beständen von Los Quilmahues und Los Chenques. Das bedeutet, dass in Wäldern die sich in einer Aufbauphase der Bestandesentwicklung befinden, *N. pumilio* eine größere Chance zur Behauptung hat als in Beständen die sich im Flieggleichgewicht befinden. Weitere BHD-Zuwachsangaben von *N. pumilio* in *A. araucana-N. pumilio* Wäldern liegen nicht vor, jedoch können die Angaben von *N. pumilio* Urwälder der Regionen XI. und XII. Chiles als Orientierungsmaß genutzt werden. Für einen mehrschichtigen *N. pumilio* Urwald in der Zone von Skyring, XII. Region, stellten SCHMIDT und URZÚA (1982) einen BHD-Zuwachs von im Durchschnitt 1,7 mm/Jahr fest.

Dieser Wert liegt unter dem in Rahmen der vorliegenden Arbeit ermittelten. Er entspricht vielmehr den durchschnittlichen BHD-Zuwächsen der überschirmten Individuen auf den Kontrollflächen. Hinsichtlich den von SCHMIDT und URZÚA (1982) an Einzelbäumen festgestellten Zuwächsen von 4,0 mm/Jahr ist zu vermuten, dass sie an Individuen mit freien Kronen gemessen wurden. Einen gut vergleichbaren durchschnittlichen BHD-Zuwachs von 2,5 mm/Jahr über alle *N.pumilio* Individuen hinweg, haben ALVAREZ und GROSSE (1978) und MANOSALVA (1995) für *N.pumilio* in Aysén bzw. Coyhaique (XI. Region) festgestellt.

### Höhenentwicklung

Wenn sich ein plenterartiger Wald in einem Gleichgewichtszustand befindet, dann ist die entsprechende Höhenkurve dadurch gekennzeichnet, dass sie sich für längere Perioden kaum verändert, d.h. dass sie einen stationären Charakter aufweist (LEIBUNDGUT, 1945; PRODAN, 1949 [b]; ASSMAN, 1953). Für die vorliegende Arbeit standen nur die eigenen Höhenmessungen zur Verfügung, weswegen lediglich vermutet werden kann, dass die im Jahr 1998 für die Kontrollflächen berechnete Höhenkurve identisch ist mit der, die sich im Jahre 1982 ergeben hätte. Dieser Schluss liegt jedoch sehr nahe, da sich der Bestandaufbau in diesen Urwaldflächen in einem natürlichen Gleichgewichtszustand befindet.

Hinsichtlich der Höhenkurvendifferenzen zwischen den Bäumen mit unterschiedlicher Kronenfreiheit fällt auf, dass die Verlagerung der Höhenkurven bei den beiden Baumarten genau umgekehrt verläuft. Die Individuen von *N.pumilio* weisen Kurven auf, die umso höher liegen je überschirmter die Bäume sind. Im Gegensatz dazu werden bei *A.araucana* die höchsten Höhen bei einem gegebenen BHD von Bäumen mit freier Krone erreicht.

Die Reaktion im Höhenwachstum auf die Überschirmung ist bei *N.pumilio* durch das Lichtbedürfnis dieser Baumart zu erklären. Sie ist durch eine zügige Höhenentwicklung gekennzeichnet (vgl. MUTARELLI und ORFILA, 1971; SCHMIDT und URZÚA, 1982; URIARTE und GROSSE, 1991). Bei Mangel an Licht investieren die Individuen so wenig wie möglich in das Dickenwachstum, um ein uneingeschränktes Höhenwachstum aufrechtzuerhalten. Diese Situation äußert sich in nach oben verlagerten Höhenkurven und schlankeren Bäumen (ASSMANN, 1961). Die berechneten h/d Kurven für *N.pumilio* spiegeln dies wider. Tatsächlich weisen diejenigen Individuen, die eine freie Krone besitzen und so auch die größten BHD-Zuwächse leisten, das niedrigste h/d Verhältnis auf. Ähnlich Befunde sind auch aus mitteleuropäischen *A.alba-P.abies* Plenterwäldern bekannt (z.B. CASADO REBOLLO, 1996).

Wie die Ergebnisse zeigen, ist die Reaktion von *A.araucana* auf Überschirmung eine andere als die von *N.pumilio*. Wie bereits erwähnt, kann diese Baumart eine starke Beschattung von mehreren hundert Jahren aushalten und ist damit für den Aufbau von Plenterwäldern sehr geeignet. Schattenbaumarten haben von Natur aus in der Jugend eine langsamere Höhenentwicklung als lichtbedürftigere Baumarten (BURSCHEL und HUSS, 1997). Dies verstärkt sich noch unter den besonderen Lichtverhältnissen in plenterartigen Wäldern. Zum Beispiel stellte SOMMER (1961) anhand einer Stammanalyse fest, dass ein 140 jähriges überschirmtes *A.alba* Individuum nur 1,65 m in die Höhe gewachsen war. Generell, wird im Plenterwald das Höhenwachstum unter- und mittelständiger Bäume von Schattenbaumarten stärker verlangsamt als ihr Dickenwachstum (vgl. LEIBUNDGUT, 1945; MAGIN, 1959; SOMMER, 1961; MITSCHERLICH, 1961). Während der Unterdrückungszeit im Plenterwald

bilden die Schattenbaumarten noch schmale Jahrringe, während sie kaum in die Höhe wachsen (AMMON, 1951; ASSMANN, 1961; SCHÜTZ, 1989). Bei *A. araucana* wird dieser Effekt durch ihre lange Lebensdauer besonders verstärkt, denn die Unterdrückungszeit kann wesentlich länger dauern als in mitteleuropäischen Plenterwäldern. GROSFELD (1994) fand sogar, dass *A. araucana* ihr Höhenwachstum bei Überschirmung für neun Jahre völlig anhalten kann. Nach einer Überschirmungsdauer von z.B. 200 Jahren, erreicht die Konifere bei einem durchschnittlichen BHD-Zuwachs von 1,0 mm/Jahr, einen BHD von 20 cm, während sie im selben Zeitraum bei einem durchschnittlichen Höhenwachstum von 2,5 cm/Jahr (vgl. NIELSEN, 1963; SCHMIDT und CAMPOS, 1987; DONOSO, 1990; WERNER, 1992) erst 5 m hoch ist. Tatsächlich waren solche Individuen auf den Versuchsflächen oft zu finden, wobei sie sich unter starker Überschirmung befanden. Weniger überschirmte Bäume erreichen dagegen die selbe Höhe früher und weisen kleinere Durchmesser auf. Dieses Verhalten ist bei *A. araucana* auch in den oberen Höhenschichten auf allen Versuchsflächen zu erkennen, was auf ein lebenslang gehemmtes Höhenwachstum einiger Bäume hindeutet. Bei den größeren Individuen wird diese spezielle Höhendynamik auch durch die Alterskomponente geprägt. *A. araucana* wächst nur bis 750 Jahre in die Höhe (CAVIERES, 1987), kann aber danach noch in die Dicke zuwachsen (HUECK, 1966; MUTARELLI und ORFILLA, 1970; SCHMIDT *et al.*, 1980; VELEN, 1982). Das bedeutet zum Beispiel, dass ein Baum der hauptsächlich überschirmt und bedrängt aufgewachsen ist nach 1.250 Jahren 25 m hoch und 125 cm dick sein kann. Im Gegensatz dazu ist es möglich, dass ein Individuum das nicht so eingeengt und überschirmt aufgewachsen ist nach 500 Jahren genau so hoch ist, jedoch einen BHD von 90 cm aufweist. Es wird darauf hingewiesen, dass diese Beziehung zur Überschirmung für andere Baumarten noch nicht beschrieben wurden.

Die entsprechenden h/d Kurven von *A. araucana* bestätigen die eigenartige Höhendynamik dieser Baumart, denn die Individuen gleicher Dimensionen sind im Durchschnitt stabiler je überschirmter sie sind. Die allgemeine gute Stabilität der Plenterwälder ist sehr bekannt, jedoch sind so niedrige h/d Werte wie die von *A. araucana* bei den europäischen Baumarten nicht zu finden (vgl. LEIBUNDGUT, 1945; ZIMMERLE, 1950; ASSMANN, 1961; MITSCHERLICH, 1961; SPIECKER, 1986; SCHÜTZ, 1989; BURSCHEL und HUSS, 1997).

Die von PUENTE (1980) ebenfalls mittels polynomischen Modellen zweiten Grades errechneten Höhenkurven für *A. araucana* in plenterartigen Wäldern in den Ortschaften Quilquén, Galletué und Icalma (in der Nähe von Lonquimay) und für *N. pumilio* in Quilquén stimmen mit den Anfangsverläufen der jeweils höheren Kronenfreiheitskurven der vorliegenden Arbeit vollkommen überein. Der Unterschied zwischen den Kurven liegt lediglich an den maximalen Höhen der Individuen, die im Durchschnitt nach PUENTE's Funktion für *A. araucana* und *N. pumilio* 33,5 bzw. 24,5 m hoch sind. Da die von PUENTE (1980) untersuchten Bestände ebenfalls ein Plentergleichgewicht aufweisen und einen sehr ähnlichen Vorrat wie die Bestände der Kontrollflächen haben, sind die Unterschiede der Höhenkurven mit größter Wahrscheinlichkeit auf die Standorte zurückzuführen. Diesbezüglich wäre die Standortsgüte der in dieser Arbeit untersuchten Flächen besser als diejenigen von Quilquén, Galletué und Icalma.

#### Kronenmerkmale

Die Kronengrundrissformen der *A. araucana* und *N. pumilio* Bäume entsprechen der typischen Kronenentwicklung in Plenterwäldern (vgl. MITSCHERLICH, 1961). In der Unterschicht sind

die meisten *A. araucana* und *N. pumilio* Bäume überschirmt, was bedeutet, dass diese Individuen hauptsächlich auf diffuses Licht angewiesen sind (SOMMER, 1961). Als Konsequenz davon sind die Kronen im allgemein gut ausgerundet. In den mittleren Höhengschichten nimmt der Anteil an direktem Sonnenlicht zu, trifft jedoch meistens die Bäume nur einseitig, was dann zu einer einseitigen Kronenausbildung führt. In der oberen Schicht, steht für die Bäume wegen geringerer Überschirmung bzw. Seitendruck das Licht gleichförmig zur Verfügung, weswegen die Kronen sich nach allen Seiten entwickeln können und ziemlich ausgerundet sind. Trotz der bekannten guten Kronenausrundung von *A. araucana* (MONTALDO, 1974; KRÜSSMANN, 1983), sind die von MITSCHERLICH (1961) angegebenen Grundrisswerte für *A. alba* wesentlich niedriger.

Verglichen mit Bäumen aus gleichförmigen Hochwäldern, sind im allgemeinen die Kronen der Bäume in Plenterwäldern länger und besser entwickelt (LEIBUNDGUT, 1945; MITSCHERLICH, 1961; SCHÜTZ, 1989). Dieser Vergleich ist für *A. araucana* und *N. pumilio*, wegen Mangel an Kronenangaben, leider nicht zu bestätigen. Bezüglich der Kronenlänge und Kronenbreiteentwicklung von *A. alba* und *P. abies* in mitteleuropäischen Plenterwäldern, haben *A. araucana* und *N. pumilio* ein ähnliches Verhalten. Die Oberschicht weist längere und breitere Kronen auf als die Mittelschicht und diese wiederum größere Kronen als die Unterschicht (MITSCHERLICH, 1961; ASSMANN, 1961). Die metrischen Werte dieser Kronenmerkmale sind jedoch bei *A. araucana* und *N. pumilio* wesentlich geringer als diejenigen von vergleichbaren Bäumen von *A. alba* und *P. abies* im Plenterwäldern (vgl. LEIBUNDGUT, 1945; MITSCHERLICH, 1961; ASSMANN, 1961; KERN, 1966).

Eine natürliche Erscheinung, die bis heute noch nicht geklärt ist, ist die Abnahme des Bekronungsgrades bei *A. araucana* Bäumen auf total freien Flächen. Nach 100 Jahren ist der Schaft nur einige Meter astfrei, nach 200 Jahren etwa zur Hälfte der Baumhöhe, nach 300 Jahren 3/5-4/5 und bei älteren Bäumen sind ungefähr zu 5/6 des Schaftes astfrei (vgl. MONTALDO, 1974; KRÜSSMANN, 1983; RODRIGUEZ *et al.*, 1983). Auch wenn die *A. araucana* Bäume auf den untersuchten Flächen schon seit jeher eine bestimmte Überschirmung und Seitendruck erfahren haben, stimmen die erwähnten Bekronungsgrade mit denen, die sich aus den berechneten Kurven ergeben gut überein. Das Lichtbedürfnis von *N. pumilio* ist anhand von den ermittelten Bekronungsgraden gut nachzuvollziehen, denn die Bäume die nicht frei stehen besitzen wegen Lichtmangel ähnliche geringe Werte wie die von *A. araucana*. Die Bäume mit freien Kronen haben dagegen im Durchschnitt einen Bekronungsgrad von über 40 %. Die Abhängigkeit der relativen Kronenlänge von der Kronenfreiheit im Plenterwald wurde auch schon von SOMMER (1961) untersucht. Dieser Autor hat für *A. alba* Bäume der Oberschicht anhand einer Kronenklassenbildung gezeigt, dass die entsprechenden Bekronungsgrade umso größer sind, je freier die Baumkronen im Plenterwald sind. Es ist zu bemerken, dass das Verhältnis des Bekronungsgrades zum BHD bei *A. araucana* und *N. pumilio* nicht mit demjenigen in mitteleuropäischen Plenterwäldern übereinstimmt, da bei *A. alba* und *P. abies* die Bekronungsgrade mit zunehmenden BHD der Bäume ansteigen. Die Kronenlängen der stärksten *A. alba* und *P. abies* Bäume erreichen stets über 50 % der Baumhöhe (LEIBUNDGUT, 1945; SOMMER, 1961; MITSCHERLICH, 1961; ASSMANN, 1961; SPIECKER, 1986).

Hinsichtlich des Spreitungsgrades von *A. araucana* und *N. pumilio* deuten die Ergebnisse darauf hin, dass sich die Kronenbreite der Individuen zwischen dem unteren und mittleren BHD-Bereich weniger stark entwickelt wie das Höhenwachstum. Der Spreitungsgrad nimmt wegen

zunehmender Seitenkonkurrenz ab (vgl. SOMMER, 1961). Diejenigen Bäume, die es jedoch zum Oberstand schaffen, sind nicht mehr so eingengt und können ihre Kronen wieder in die Breite ausdehnen: der Spreitungsgrad nimmt wieder etwas zu. Ein ähnlicher Verlauf ist aus den Zahlenwerten von BADOUX (1949) für *A.alba* und *P.abies* in schweizerischen Plenterwäldern zu berechnen, wobei zu bemerken ist, dass die durchschnittlichen Spreitungsgrade von *A.araucana* und *N.pumilio* mit den Werten von *A.alba* und *P.abies* gut übereinstimmen. Die gute Standraumaussnutzung der größeren Bäume in den untersuchten Beständen ist auch aus den räumlichen Verteilungsmustern zu ersehen.

Hinsichtlich des Plumpheitsgrades ist zu bemerken, dass bei *A.araucana* die Kronen umso plumper sind je überschirmt die Bäume sind. Bei völlig überschirmten Bäume im Urwald sind die Kronen sogar genau so lang wie breit. Je freier die Bäume sind, desto geringer sind die Plumpheitsgrade. Dies deutet darauf hin, dass günstigere Lichtverhältnisse in den Plenterstrukturen eher die Entwicklung der Kronenlänge fördern als die Kronenbreite. Das Höhenwachstum der Bäume geht schneller vonstatten als die Astreinigung (vgl. SOMMER, 1961). Im Vergleich zu den Plumpheitsgraden von *A.alba* und *P.abies* in mitteleuropäischen Plenterwäldern sind die Werte von *A.araucana* wesentlich höher, wobei jedoch die Kronen von *A.alba* und *P.abies* in Plenterwäldern plumper sind als in Hochwäldern (vgl. ASSMANN, 1961).

Bezüglich dem Plumpheitsgrad der *N.pumilio* Kronen, konnte leider kein statistisch sicheres Regressionsmodell errechnet werden. Um falsche Interpretationen zu vermeiden, wurden deshalb für diese Beziehung keine Regressionskurven dargestellt.

Genauso wie bei *A.araucana* und *N.pumilio* auf den untersuchten Beständen nimmt das Ausladungsverhältnis bei *A.alba* und *P.abies* in schweizerischen Plenterwäldern mit zunehmendem BHD auch ab (vgl. BADOUX, 1949), wobei zu bemerken ist, dass die Ausladungsverhältniswerte der mitteleuropäischen Baumarten bei den dünneren Bäumen sogar höher sind als die von *N.pumilio*.

### Geschlechterverhältnis

Wie im Kapitel 2.16 erklärt wurde, unterscheiden sich bei *A.araucana* die auffälligen männlichen und weibliche Zapfen sehr gut voneinander, was eine Bestimmung der fruktifizierenden Bäume im Gelände erleichtert. Informationen über die Reproduktion von *A.araucana* sind hauptsächlich auf die Aufnahmen, die in den Versuchsflächen von Los Chenques unter der Leitung von Prof. Schmidt seit 1981 durchgeführt wurden, zurückzuführen. Anhand dieses Datenmaterials entstanden zwei Diplomarbeiten: MUÑOZ (1984) und CARO (1995).

In den Versuchsflächen von Los Chenques nahmen im Jahr 1981, vor der Anlage der waldbaulichen Maßnahmen, 33 % der *A.araucana* Bäume an der Reproduktion teil (MUÑOZ, 1984), 8 % mehr als auf den Kontrollflächen der vorliegenden Arbeit. Der Prozentunterschied von 4 % zwischen weiblichen und männlichen fruktifizierenden Bäumen ist jedoch der gleiche. In den von MUÑOZ (1984) untersuchten Versuchsflächen waren 14 % weibliche und 18 % männliche fruktifizierende Bäume vorhanden. Der Anteil einhäusiger Individuen schwankt um 1 %.

In den Kontrollflächen befinden sich die fruktifizierenden *A.araucana* Individuen hauptsächlich in den oberen Höhenschichten und sind im Durchschnitt über 95 cm dick. Dies wird auch von MUÑOZ (1984), CARO (1995) und von SCHMIDT und CARO (1998) beschrieben. CARO

(1995) stellt fest, dass von 26 weiblichen und 28 männlichen fruktifizierenden *A.araucana* Bäumen, jeweils nur ein Individuum einen BHD unter 50 cm aufwies.

Hinsichtlich der größeren Dimensionen weiblicher fruktifizierender Bäume, wie es in dieser Arbeit ermittelt wurde, wird von CARO (1995) und SCHMIDT und CARO (1998) nichts beschrieben. In einem *Araucaria angustifolia* Urwald in Südbrasilien wurde jedoch der gleiche Dimensionsunterschied festgestellt (vgl. WACHTEL, 1990). Eine Erklärung hierfür konnte WACHTEL jedoch nicht finden. Ob diese Ergebnisse zufällig sind oder eine wissenschaftliche Erklärung haben kann nur anhand von weiteren Studien festgestellt werden. Diese Resultate könnten aber darauf hindeuten, dass die weiblichen Bäume älter werden und deshalb im Durchschnitt dicker sind und auch, dass für die Bildung von weiblichen Zapfen mehr Licht erforderlich ist als für die Bildung von männlichen, was dazu führen würde, dass weibliche Zapfen eher bei höheren Bäume vorhanden sind. Auf den Kontrollflächen waren die weiblichen fruktifizierenden Bäume im Durchschnitt 17 cm dicker und 3,0 m höher als die männlichen fruktifizierenden Bäume.

Hinsichtlich der Produktion von weiblichen Zapfen, ist eine sehr starke Schwankung von Jahr zu Jahr und von Baum zu Baum gegeben. Die durchschnittliche Jahresproduktion von 1981 bis 1996, betrug auf der Kontrollfläche K-I, 135 Zapfen/ha, wobei 1988 nur sieben und 1992 894 Zapfen/ha vorhanden waren. Seit 1981 haben sich in der Kontrollfläche K-I neun neue Individuen bei der Reproduktion eingefügt, fünf weibliche und vier männliche Bäume. Die Produktion der fünf weiblichen fruktifizierenden Bäume betrug jedoch in der ganzen Periode nur 28 Zapfen/ha, also 1,3 % der Gesamtproduktion (vgl. SCHMIDT und CARO, 1998). In Bezug zur Variation zwischen Bäumen wird festgestellt, dass z.B. ein 130 cm dicker und 25 m hoher Baum seit 1981 nur 7 Zapfen produziert hat, während ein anderer, gleich dicker und gleich hoher Baum dagegen 419 Zapfen produzierte (vgl. CARO, 1995; SCHMIDT und CARO, 1998).

### Stammqualität

Hinsichtlich der Stammqualität beider Baumarten bestätigen die Resultate der vorliegenden Arbeit vorherige Kenntnisse (z.B. SCHMIDT *et al.*, 1980; KRÜSSMANN, 1983; RODRIGUEZ *et al.*, 1983). Der Schaft von *A.araucana* ist wegen seiner ausgesprochenen Vollholzigkeit sowie auch geraden Form schon immer bekannt gewesen. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass 65 % der *A.araucana* Individuen auf den Kontrollflächen keine Krümmung, keine Zwiesel und einen kreisförmigen Stammquerschnitt aufwiesen. Bezüglich der Gesundheit der *A.araucana* Stämme ist zu erinnern, dass im allgemeinen die alten erdgeschichtliche Gattungen kaum pathologische Feinde haben. Das praktisch einzige Insekt, das Stämmen von *A.araucana* schaden kann ist der Koleopter *Hylurgonotus brunneus*, wobei er nur dort, wo keine Borke vorhanden ist angreifen kann (GIGANTI *et al.*, 1994). Die überaus dicke Borke von *A.araucana* dient als Schutz gegen Brände und Sonnenstrahlung sowie auch gegen pathologische Angriffe (vgl. DALLIMORE und JACKSON, 1961; EISELT, 1964; RODRIGUEZ *et al.*, 1983; GOLTE, 1993; BURNS, 1993; FINCKH und PAULSCH, 1995; FINCKH, 1996). Die Untersuchungen von GIGANTI (1994) stellen fest, dass in ungestörten *A.araucana* Urwäldern Schäden von *Hylurgonotus brunneus* praktisch nicht existieren. Dies ändert sich jedoch in Wäldern, die von Bränden betroffen wurden, da bei Bäumen, die diese Ereignisse überleben meistens Teile der plattenartigen Borke abfallen. In solchen Beständen hat GIGANTI (1994) an bis zu 60 % der Individuen Schäden durch *Hylurgonotus brunneus* gefunden.

Die Qualität der *N.pumilio* Stämme hängt von der Lage der Wälder im Verbreitungsgebiet dieser Baumart ab. Die *N.pumilio* Wälder in den Regionen XI und XII Chiles sind mit vergleichbar gutem Holz wie dem der anderen *Nothofagus* Wälder (*N.obliqua*, *N.aplina*, *N.dombeyi*) in den Regionen VIII bis X bestockt. In reinen *N.pumilio* Sekundärwäldern in der XII Region sind sogar über 80 % der Bäume mit guten Stammqualitäten zu finden (SCHMIDT und CALDENTY, 1994). Die Baumstämme von *N.pumilio* in Wäldern der Andenkordillere von der X Region zum Norden weisen jedoch wesentlich schlechtere Qualitäten als die südlicheren Wälder auf (DONOSO, 1981). Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen letzteres, da nur 10 % der Bäume fehlerfreie und gesunde Stämme aufweisen. Die Schaftform von *N.pumilio* ist von Natur aus mit Abstand nicht so gut wie die von *A.araucana*, wozu noch zu berücksichtigen ist, dass die Laubbaumart äußerst empfindlich gegen Wind ist (vgl. URIARTE und GROSSE, 1991; DONOSO, 1993). Da die höheren Lagen der Andenkordillere in denen sich die untersuchten Wälder befinden sich durch starken Wind auszeichnen, sind Krümmungen und Zwieseln übliche Erscheinungen. Anders als *A.araucana* hat *N.pumilio* zahlreiche pathologische Feinde. Die wichtigsten Insekten welche die Baumstämme dieser Baumart schädigen sind: *Chilecomadia valdiviana*, *Pterobothris corrosus* und *Aegorhinus vitulus* (SCHMIDT und URZÚA, 1982; LANFRANCO, 1991). MORALES (1983) hat für *N.pumilio* in einem *A.araucana-N.pumilio* Wald in der Nähe der Versuchsflächen festgestellt, dass die Gesundheit sich mit zunehmenden Alter des Holzes deutlich verschlechtert, d.h. obere Stammstücke sind relativ gesünder als untere, und umso älter bzw. dicker die Bäume sind desto kranker erscheinen die Baumstämme. Letzteres ist auch in der vorliegenden Arbeit an der allgemeinen Verschlechterung der Stammqualität mit zunehmender BHD-Klasse festzustellen.

### **5.3 Auswirkungen von waldbaulichen Maßnahmen auf die Struktur und das Wuchsverhalten von *A.araucana-N.pumilio* Urwaldbeständen**

#### Durchmesserstruktur

Durch die waldbaulichen Eingriffe wurden die plenterartigen Durchmesserstrukturen der Bestände nicht verändert, denn es wurden prinzipiell nur Bäume der stärksten BHD-Klassen entnommen, wobei noch genügend Starkholz vorhanden blieb, um eine Plenterverteilung zu gewährleisten. Auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung war, trotz der Eingriffe, der Anteil von starken Bäumen im Vergleich zu mitteleuropäischen Plenterwäldern noch wesentlich größer (vgl. FLURY, 1933; LEIBUNDGUT, 1945; AMMON, 1951; KÖSTLER, 1956, 1958; MAGIN, 1959; SAUKEL, 1959; MITSCHERLICH, 1961, 1963; SOMMER, 1962; KAMMERLANDER, 1978; PRETZSCH, 1981, 1985; SPIEKER, 1986; SCHÜTZ, 1989; FUCHS, 1996; PRETZSCH und BACHMANN, 2000).

Seit der Ausführung der waldbaulichen Maßnahmen im Jahr 1982 haben sich die Durchmesserstrukturen der Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung in unterschiedlicher Weise entwickelt. Auf den Versuchsflächen mit mittlerer Grundflächenhaltung hat sich, wie bei den Kontrollflächen, nichts wesentliches verändert. Im Jahr 1998 ist eine sehr ähnliche Plenterverteilung zu erkennen. Im Gegensatz dazu ist auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung eine klare Differenzierung zwischen den Durchmesserstrukturen von 1982 und jenen von 1998 gegeben. Während dieser Zeit hat die Individuenzahl im BHD-Bereich

zwischen 5 und 20 cm so stark zugenommen, dass sich 1998 bereits 77 % der gesamten Stammzahl darin konzentrieren. Auch in Bezug auf die Baumartenzusammensetzung sind Differenzen vorhanden. Auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung ist die Stammzahl der dünnsten *A. araucana* Bäume wesentlich höher als diejenige von *N. pumilio*. Auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung ist es genau umgekehrt. Hier hat sich während der Beobachtungsperiode die Zahl von *N. pumilio* mehr als verdoppelt und stellt 1998 60 % aller Bäume unter 10 cm BHD.

Die Entwicklung der Stammzahlverteilung auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung ist ein Ausdruck für die Gefährdung des Plentergefüges. Ein Überwiegen von Schwachholz, wie es auf diesen Flächen der Fall ist, oder auch von Mittelholz oder Starkholz kann zu so starken Störungen führen, dass das Plentergefüge zwar noch zu erkennen ist, dass es aber ohne Eingriffe verloren zu gehen droht (KÖSTLER, 1956, 1958). Würden die Versuchsflächen mit geringer Grundflächenhaltung sich selbst überlassen, wäre ein Übergang zu einer einschichtigen Waldstruktur zu erwarten. Im diesem Hochwald würde *N. pumilio* die dominierende Baumart sein. Auf ein ähnliches Beispiel deutet MITSCHERLICH (1961) bei der Analyse eines *A. alba-P. abies* Plenterwaldes im Schwarzwald hin. Obwohl in dem von MITSCHERLICH untersuchten Wald sogar mehr Individuen in den kleineren BHD-Klassen vorhanden waren als auf den hier vorgestellten Flächen mit geringer Grundflächenhaltung, wird die Struktur noch als plenterartig bezeichnet. Aber auch MITSCHERLICH (1961) weist darauf hin, dass dieser *A. alba-P. abies* Wald sich ohne Plenterung immer weiter vom Zustand des Plentergleichgewichtes entfernen würde um schließlich in einen einschichtigen Hochwald überzugehen. Demnach müsste, wenn auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung ein Plenterwald erhalten werden soll, dort künftig geplentert werden. Das dabei angestrebte Plentergleichgewicht muss nicht unbedingt mit der Stammzahlverteilung des ursprünglichen Urwaldes übereinstimmen. So hat PRODAN (1949 [a]) gezeigt, dass es für einen Bestand nicht nur ein, sondern sehr verschiedene Plentergleichgewichte<sup>54</sup> gibt, wobei in den Untersuchungen von KÖSTLER (1956, 1958), SAUKEL (1959), MITSCHERLICH (1961, 1963), PRETZSCH (1981, 1985), SCHÜTZ (1989) und FUCHS (1996) darauf hingewiesen wird, dass bei verhältnismäßig geringen Zieldurchmessern stets mit einer Stammzahlzunahme in den unteren BHD-Klassen gerechnet werden muss und umgekehrt, bei zunehmendem Zieldurchmesser und Anreicherung von Starkholz mit Stammzahlarmut in den mittleren- bzw. schwächeren BHD-Klassen gerechnet werden muss. Im Falle einer zu starken Anreicherung von Starkholz, würde die Abnahme der Stammzahlen im Bereich der schwächeren BHD-Klassen ebenfalls zu einem Verlust der Plenterverteilung führen. Dieser Strukturverlust ist im „Kreuzberger Plenterwald“ vorzusehen, wenn künftig nicht entsprechend geplentert wird (vgl. FUCHS, 1996).

---

<sup>54</sup> Schon Ende des 19. Jahrhunderts wurde von de LIOCOURT (1898, z. n. ASSMANN, 1961 und BURSCHEL und HUSS, 1997) ein Gleichgewichtsmodell für den Plenterwald aufgestellt. Das Liocourtsche Gesetz stellt die Stammzahlverteilung eines sich im Gleichgewicht befindenden Plenterwaldes als fallende geometrische Reihe dar. MEYER (1933) hat aus diesem Gesetz seine bekannte Formel abgeleitet, wobei er gezeigt hat, dass in Plenterwäldern die Stammzahl der verschiedenen BHD-Klassen einer Exponentialfunktion folgen. Er stellte dabei fest, dass die Stammzahl der BHD-Klassen von den Durchmessern der im Bestand stärksten vorhandenen Bäumen abhängt. MITSCHERLICH (1961, 1963) hat sogenannte Gleichgewichtsverteilungen berechnet, indem er von der stärksten im Bestand vertretenen BHD-Klasse ausging. Er berechnete mit Hilfe des BHD-Zuwachses der Stämme verschiedener BHD-Klassen, wie viel Stämme der jeweils nächstniedrigen BHD-Klasse benötigt werden, um die Stammzahl einer BHD-Klasse wieder aufzufüllen, die durch Auswuchs, Mortalität und Entnahme von Stämmen abnimmt.

### Grundfläche und Vorrat

Die Vorräte der Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung nach den Eingriffen, 758 bzw. 455 m<sup>3</sup>/ha, waren im Vergleich zu mitteleuropäischen Verhältnissen noch als vorratsreich bzw. vorratsgut einzustufen (vgl. FLURY, 1933; LEIBUNDGUT, 1945; AMMON, 1951; KÖSTLER, 1956, 1958; SAUKEL, 1959; MITSCHERLICH, 1961, 1963; KAMMERLANDER, 1978; PRETZSCH, 1981, 1985; SPIEKER, 1986; FUCHS, 1996; PRETZSCH und BACHMANN, 2000).

Hinsichtlich der Grundflächen- und Vorratsveränderungen seit der Ausführung der waldbaulichen Maßnahmen ist zu bemerken, dass auf allen Flächen mit Eingriffen die entsprechenden Zunahmen nur auf *A.araucana* zurückzuführen sind. Bei der Konifere waren die Grundflächen- bzw. Volumenzuwächse höher als die entsprechenden Verluste durch abgestorbene Bäume. Im Gegensatz dazu, hat sich bei *N.pumilio* die Grundfläche auf den Flächen mit Eingriffen während der Periode 1982-1998 nicht verändert und hinsichtlich des Vorrates auch nicht auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung. Auf denen mit geringer Grundflächenhaltung reichte der Volumenzuwachs nicht aus um den Vorratsverlust der abgestorbenen Bäume auszugleichen.

Betrachtet man nur die Zuwächse, so kann man feststellen, dass die sehr ähnlichen Grundflächenzuwächse von *A.araucana* auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung, 0,34 bzw. 0,33 m<sup>2</sup>/ha,a, nur halb so hoch sind wie der von PUENTE (1980) für die Bewirtschaftung von ähnlich vorratsreichen *A.araucana* Plenterwäldern errechnete theoretische Zuwachs von 0,7 m<sup>2</sup>/ha,a. Dieser berechnete Zuwachs von PUENTE wurde für die Periode 1987-1990 als wichtige Grundlage bei der Bewirtschaftung von *A.araucana* Wäldern genommen. An diesem Beispiel wird deutlich, auf welcher groben Grundlagen die Bewirtschaftung bisher basierte. Es wurden zu hohe Grundflächenzuwächse angenommen, obwohl sich die von PUENTE (1980) berücksichtigten Bestände sogar auf schlechteren Standorten befanden als die in der vorliegenden Arbeit untersuchten (vgl. Kap. 5.2).

Ursache für solche Schwächen war das Fehlen ausreichender Untersuchungen von *A.araucana* Urwäldern, insbesondere hinsichtlich der Folgen von Eingriffen. Ein weiterer Ausdruck für letzteres, war das Fehlen von passenden Funktionen um die Vorräte der untersuchten Bestände zu berechnen (s. Kap. 3.43). Deshalb müssen die angegebenen Werte als grobe Schätzungen betrachtet werden.

Die auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung geleisteten *A.araucana* Volumenzuwächse von 3,7 bzw. 3,3 m<sup>3</sup>/ha,a sind nur um 27 bzw. 13 % höher als auf den Kontrollflächen und liegen im Bereich anderer ermittelten Zuwächse von *A.araucana* in Urwäldern (z.B. MUTARELLI und ORFILA, 1970; SCHMIDT *et al.*, 1980; OJEDA, 1989) (s. Kap. 5.2). Berücksichtigt man den Volumenzuwachs der Begleitbaumart *N.pumilio*, der in den drei Behandlungsvarianten praktisch gleich war, so erhöhen sich die Zuwächse auf den Flächen mit Eingriffen auf 5,2 bzw. 4,9 m<sup>3</sup>/ha,a. Vergleicht man die Zuwächse der vorliegenden Arbeit mit Werten von bewirtschafteten mitteleuropäischen Plenterwäldern, so stellt man fest, dass sie niedriger sind. Der Grundflächen- und Volumenzuwächsen von Beständen mit vergleichbaren Vorräten im Kreuzberger Plenterwald, also von vorratsreichen für die Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung und vorratsguten für die mit geringer Grundflächenhaltung, schwanken in

beiden Fällen zwischen 0,6 und 0,8 m<sup>2</sup>/ha,a bzw. 7,7 und 15,1 m<sup>3</sup>/ha,a (vgl. PRETZSCH und BACHMANN, 2000). Diese im Kreuzberger Wald unabhängige Beziehung zwischen Zuwachs und Höhe des Vorrates (vgl. KNOKE, 1998), wird in der vorliegenden Arbeit sowohl für *A.araucana* sowie auch für *N.pumilio* ebenfalls ermittelt. Zwischen den Kontrollflächen und denen mit Eingriffen sind trotz der verschiedenen maximalen Durchmesser und Vorratshöhen keine wesentlichen Volumenzuwachsunterschiede vorhanden. Zu ähnlichen Ergebnissen kam MITSCHERLICH (1961) bei seinen Untersuchungen in Plenterwäldern des Schwarzwaldes. Anhand zahlreicher ertragskundlicher Versuchsflächen innerhalb eines Vorratsrahmens von 200 bis 500 m<sup>3</sup>/ha stellte er fest, dass der Volumenzuwachs nicht vom Zieldurchmesser und der Vorratshöhe abhängig war. Dieser Befund bedeutet, dass die im Durchschnitt dickeren Bäumen in Plenterwäldern mit mittlerer Vorratshöhe die gleiche Leistung erbringen wie die im Durchschnitt dünneren Bäumen in Plenterwäldern mit geringer Vorratshöhe. Letzteres wurde von BADOUX (1949) im Detail anhand der Volumenleistung verschieden dicker Bäume und den dazu benötigten Standräumen untersucht. Er stellte dabei fest, dass der Bereich der guten Ausnützung des Standraumes relativ breit ist, wobei die starken Bäume standraumbezogen stets eine nur mäßige Volumenleistung erbringen. Der Durchmesser von *A.alba* Individuen ab dem die standraumbezogene Leistung als mäßig bezeichnet wurde, variierte bei den verschiedenen untersuchten Plenterwäldern zwischen 65 und 90 cm. Diesbezüglich meint auch SCHÜTZ (1989), dass die sehr starken Bäume (BHD > 100 cm) einen übermäßigen Standraum beanspruchen, zum Nachteil der Bäume der unteren Schichten. Die Vitalität der letztgenannten Bäume wird deshalb beeinträchtigt und die Volumenleistung dieser Individuen wird zu stark gehemmt. Aus diesem Grund ist SCHÜTZ (1989) der Meinung, die Zieldurchmesser in Plenterwäldern prinzipiell herabzusetzen und einen eher geringen als einen allzu hohen Vorrat anzustreben.

### Durchmesserzuwachs

Hinsichtlich der Auswirkungen der waldbaulichen Eingriffe ist zu bemerken, dass auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung *A.araucana* und *N.pumilio* eine praktisch identische prozentuale BHD-Zuwachsreaktion hervorriefen. Auf diesen Flächen war bei beiden Baumarten die typische BHD-Zuwachsdynamik eines Plenterwaldes nachzuvollziehen. Dagegen war auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung die Auswirkung der Eingriffe bei beiden Baumarten unterschiedlich. So wiesen beide Baumarten auf den letztgenannten Flächen zwar höhere Zuwächse auf als auf denen mit mittlerer Grundflächenhaltung, insbesondere in der Unterschicht, die Bäume der Art *N.pumilio* sind jedoch wesentlich stärker zugewachsen als *A.araucana*. Diese Zuwachsreaktion war sogar so vehement, dass die plenterartige BHD-Zuwachsdynamik dahingehend verändert wurde, dass nicht mehr die Bäume der mittleren Durchmesser- bzw. Höhenklassen, sondern die dünnsten bzw. niedrigsten Individuen am stärksten zuwachsen. Letztere erklärt auch den vehementen Einwuchs von *N.pumilio* in die unterste BHD-Klasse. Es ist zu vermuten, dass auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung die jüngeren *A.araucana* Individuen nicht stärker reagiert haben, weil sie von der vehementen Reaktion von *N.pumilio* unterdrückt wurden. Es gibt Befunde die ermitteln, dass *A.araucana* in der Jungphase umso stärker zuwächst je mehr Licht sie zur Verfügung hat (z.B. MONTALDO, 1974; DONOSO, 1990; WERNER, 1992) (s. Kap. 5.5).

Erwähnenswert ist auf jedem Fall, dass die allgemein stärkere Reaktion der Bäume der Unterschicht auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung vollkommen den Erfahrungen aus mitteleuropäischen Plenterwäldern entspricht, denn die Bäume die sich in der Unterschicht befinden können nach kurzer Zeit der Gewöhnung an die neuen Strahlungsbedingungen am schnellsten zuwachsen. Die vorangegangene Beschattung verlangsamt hauptsächlich das Wachstum der oberirdischen Baumanteile und weniger das Wurzelwachstum, so dass Individuen die eine lange Zeit überschirmt waren ein sehr gut entwickeltes, weitreichendes Wurzelwerk besitzen (SAFAR, 1954). Nach starken Eingriffen können die Bäume nach Überwindung des Freistellungsschocks dann ebenso schnell wachsen und die gleichen Zieldurchmesser erreichen, als wenn sie ohne allzu große Behinderungen aufgewachsen wären (vgl. FLURY, 1933; KÖSTLER, 1956, 1958; MITSCHERLICH, 1961; SCHÜTZ, 1989; BURSCHEL und HUSS, 1997). Das bedeutet, dass selbst ein Baum mit einer z.B. 150 Jahre andauernden Unterdrückungszeit, sobald die Beschattung aufgrund eines Eingriffes beseitigt wurde, sich in seinem weiteren Wachstum wie ein 15 bis 20 jähriger Baum verhält (SCHÜTZ, 1989). Dies konnte SPIEKER (1986) in einem *A.alba*-*P.abies* Plenterwald im Schwarzwald bestätigen. So stellte er fest, dass nach einer starken Freistellung durch einen waldbaulichen Eingriff der BHD-Zuwachs der Bäume der Unterschicht mit Abstand am stärksten reagierte.

Wie bereits im Kapitel 5.2 erwähnt wurde, ermittelten DONOSO (1990) und WERNER (1992) durchschnittliche BHD-Zuwächse indem sie Zuwachsbohrungen an *A.araucana* Bäume durchführten, ohne dazu zusätzliche Parameter wie die Kronenfreiheit zu berücksichtigen. Insofern sind ihre Angaben mit den hier vorgestellten BHD-Zuwächsen nur bedingt vergleichbar. DONOSO (1990) ermittelte auf der Fläche M-II einen BHD-Zuwachs von 1,81 mm/Jahr und auf der Fläche G-II, 2,93 mm/Jahr, während WERNER (1992) auf der Fläche M-I einen BHD-Zuwachs von 1,72 mm/Jahr feststellte und auf der Fläche G-I, 2,37 mm/Jahr. Die Werte der Flächen M-I, M-II und G-I stimmen mit den in der vorliegenden Arbeit ermittelten durchschnittlichen Zuwächsen von 1,94 und 2,20 mm/Jahr für die Flächen mit mittlerer bzw. geringer Grundflächenhaltung einigermaßen überein. Der Zuwachs der Fläche G-II ist jedoch 0,73 mm/Jahr höher als der durchschnittliche Wert der Flächen mit geringer Grundflächenhaltung. Da in allen Fällen sehr ähnliche Werte zu erwarten sind, deuten diese Differenzen darauf hin, dass grobe Zusammenfassungen von Bäumen in plenterartigen Wäldern, in denen eine Vielfalt von Entwicklungsmöglichkeiten vorhanden sind, zu unpräzisen Angaben führen können. Im Gegensatz zu DONOSO's und WERNER's Angaben, handelt es sich bei den im Rahmen der vorliegenden Arbeit ermittelten Zuwächsen um Mittelwerte von statistisch klar voneinander abgrenzbaren Teilkollektiven. Der von DONOSO (1990) angegebene Zuwachs von 2,93 mm/Jahr für die Fläche G-II, entspricht am ehesten dem in der Periode 1982-1998 durchschnittlichen Zuwachs der Bäume mit freien Kronen auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung.

Erwähnenswert ist auf jedem Fall, dass die BHD-Zuwächse von alten *A.araucana* Bäume die auf Freiflächen wachsen, nicht größer sind, als die Zuwächse von Bäumen die sich im geschlossenen Wald befinden. DONOSO (1990) und WERNER (1992) ermittelten jeweils für vier frei stehende *A.araucana* Bäume mit Brusthöhendurchmessern zwischen 69 und 116 cm durchschnittliche Zuwächse von 2,62 bzw. 2,75 mm/Jahr. Diese Werte sind geringer als die Zuwächse von Bäumen mit vergleichbaren Durchmessern und freier Krone, die sich auf Flächen mit mittlerer und

geringer Grundflächenhaltung entwickelten. Die von DONOSO (1990) und WERNER (1992) für Solitäre festgestellten Zuwächsen entsprechen damit eher dem von ähnlich dicken Bäumen mit freien Kronen auf den Kontrollflächen geleisteten Zuwächsen.

In Bezug auf BHD-Zuwachsangaben von *N.pumilio* in Beständen mit waldbaulichen Behandlungen, liegen Angaben, die zu Vergleichen genutzt werden können, nur aus der XI. und XII. Region Chiles vor. Dennoch können aus diesen Arbeiten wichtige Hinweise entnommen werden. So hat *N.pumilio* die Fähigkeit, ihren natürlichen Zuwachs auf durchforsteten Flächen zu vervierfachen (SCHMIDT und URZÚA, 1982). Im Gegensatz zu *A.araucana* wächst diese Laubbaumart umso stärker, je freier sie ist (vgl. TRAVERSO, 1982; URIARTE, 1987). In offenen Beständen kann der BHD-Zuwachs bei vitalen Bäumen 6,0 mm/Jahr erreichen (TRAVERSO, 1982; SCHMIDT und CALDENTEY, 1994) und bei jungen Individuen (17 Jahre) sogar 7,1 mm/Jahr (VERA, 1985). Diese Zuwächse sind höher als die höchsten durchschnittlichen Werte der Bäume mit freien Kronen auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung. Dennoch konnte auch auf den letztgenannten Versuchsflächen eine starke Reaktion des BHD-Zuwachses, die sich aus den biologischen Eigenschaften dieser Baumart erklärt, beobachtet werden.

### Höhenentwicklung

Anders als auf den Urwaldflächen, weisen die Stammzahlverteilungen nach Höhenklassen auf den Flächen mit Eingriffen eine klare Plenterstruktur auf. Nach LEIBUNDGUT (1945) stellen Verteilungen, wie sie auf den Flächen mit Eingriffen zu finden sind einen „guten“ Plenteraufbau dar, da sich die plenterartige Durchmesserstruktur auch in der Höhenverteilung widerspiegelt. Im Vergleich zu den Kontrollflächen sind auf den Flächen mit Eingriffen mehr *A.araucana* Bäume in den niedrigeren Höhenschichten vorhanden, während die Stammzahl von *N.pumilio* nur auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung wesentlich höher ist. Wie schon erwähnt wurde, ist auf den letztgenannten Flächen ohne menschlichem Eingriff ein Übergang zu einem von *N.pumilio* dominierten einschichtigen Hochwald sehr wahrscheinlich. Dagegen ist auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung die Stammzahl von *N.pumilio* nicht anders als auf den Kontrollflächen, weil vermutlich, wie schon erwähnt, die Lichtverhältnisse dazu noch nicht ausreichen.

Im Jahr 1998 sind die Höhenkurven der Flächen mit Eingriffen anders als diejenigen der Kontrollflächen. Lediglich die überschilderten Bäume bildeten davon eine Ausnahme. Wenn man davon ausgeht, dass sich die untersuchten Plenterurwaldbestände vor der Durchführung der waldbaulichen Eingriffe sich, genauso wie die Kontrollflächen in einem Gleichgewichtszustand befanden und, dass die Höhenkurven solcher Bestände mit derjenigen der Kontrollflächen gleich waren, dann kann man auch vermuten, dass sich während der Beobachtungsperiode die Höhenkurven der Flächen mit Eingriffen verschoben haben.

Nach LEIBUNDGUT (1945) sind Variationen der Höhenkurven immer dann zu erwarten, wenn sich durch Eingriffe der Vorrat, das Stärkeklassenverhältnis oder der soziologische Aufbau eines im Plentergleichgewicht befindenden Bestandes ändert. Auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung erfolgte die Verschiebung der Höhenkurven beider Baumarten nach unten, d.h. hin zu niedrigeren Höhen. Eine Erklärung für diese Verschiebung ist die BHD-Zuwachsreaktion auf waldbauliche Eingriffe, da die verbleibenden Bäume nach starken

Durchforstungen ihren BHD-Zuwachs mehr verstärken als den Höhenzuwachs. Schon 1953 hat ASSMANN gezeigt, dass nach waldbaulichen Maßnahmen die Höhenkurven von starkholzärmeren Plenterwäldern bei den größeren BHD-Klassen, wie es auf den Flächen mit Eingriffen der Fall ist, unter den Kurven von starkholzreicheren Beständen (Kontrollflächen) liegen. Wie schon erwähnt, ist bei den *A.araucana* Bäumen mit bedrängter und mit freier Krone die BHD-Zuwachsreaktion zwischen den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung nicht allzu unterschiedlich, was auch an der identischen Verschiebung der Höhenkurven abzulesen ist. Im Unterschied dazu, ist die BHD-Zuwachsreaktion bei den *N.pumilio* Bäumen auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung deutlich stärker, so dass sich nur deren Höhenkurve, nicht aber die Kurve der Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung, signifikant von der Kontrollflächenkurve nach unten verschiebt.

Eine zu den Flächen mit Eingriffen genau umgekehrte Verlagerung der Höhenkurven findet in mitteleuropäischen Plenterwäldern bei denen eine Verschiebung des Vorrates auf die stärkeren Stufen erfolgt statt (z.B. MITSCHERLICH, 1961; BIEHL, 1991; FUCHS, 1966). Die Erhöhung des Vorrates in den stärkeren BHD-Klassen ist mit einer Erhöhung des mittleren Alter dieser Stufen verbunden. Die älter werdenden Bäume nehmen wegen des geringeren Standraums kaum an Durchmesser zu, während sie noch in die Höhe wachsen. Dies führt zu einer Vergrößerung der mittleren Höhe der oberen BHD-Klassen und folglich zu einer Verlagerung der Höhenkurve nach oben (ASSMANN, 1953).

#### Kronenmerkmale

Die von den waldbaulichen Eingriffen erzeugten Änderungen der Lichtverhältnisse haben keine Auswirkung auf die Grundrissform der Kronen von *A.araucana*. Dies ist bei *N.pumilio* anders, da in den unteren Höhengschichten eine stärkere einseitige Kronenentwicklung stattgefunden hat und zwar umso stärker je geringer die Grundflächenhaltung. Dagegen ist in den oberen Schichten der Flächen mit geringer Grundflächenhaltung das durch die Eingriffe erzeugte Licht für *N.pumilio* schon so ausreichend, dass sogar die Kronen ausgerundeter sind als auf den Kontrollflächen.

Betrachtet man die Regressionskurven der Zusammenhänge zwischen dem BHD bzw. der Höhe mit den verschiedenen Kronenmerkmalen und den daraus abgeleiteten Kronenindizes wird festgestellt, dass wenn die berechneten Kurven der verschiedenen Behandlungsvarianten gleich sind, dies bei *A.araucana* stets zwischen den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung der Fall ist, bei *N.pumilio* dagegen zwischen den Kontrollflächen und denen mit mittlerer Grundflächenhaltung. Diese Ergebnisse bestätigen die schon vorgenannten Befunde. Nach den waldbaulichen Eingriffen haben die *A.araucana* Bäume unabhängig von der verbliebenen Grundflächenhaltung eine sehr ähnliche Entwicklung erfahren, während *N.pumilio* sich nur auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung wesentlich von den Kontrollflächen differenzieren kann. Genauso wie beim Durchmesserzuwachs, sind auch bezüglich den Kronenmerkmalen die stärksten Reaktionen sowohl bei *A.araucana* sowie auch bei *N.pumilio* bei den dünnsten bzw. niedrigsten Bäume vorhanden. Die waldbaulichen Eingriffe verbessern die Lichtverhältnisse in der Unterschicht relativ stärker als in den oberen Schichten. Die Bäume, die sich in dieser Schicht befinden können nach Überwindung des Freistellungsschocks relativ stärker reagieren als die größeren Individuen (MITSCHERLICH, 1961; ASSMANN, 1961; SPIEKER, 1986; SCHÜTZ, 1989). Nach ASSMANN (1961) und SOMMER (1961) hat eine starke Freistellung bei den dickeren bzw. höheren Nadelbäumen nur eine Umstellung in der

Benadelung zur Folge, wobei sich die Kronenbreite und die Kronenlänge nicht wesentlich verändern.

Nach Eingriffen in Plenterwäldern findet neben einer BHD-Zuwachsreaktion auch eine Reaktion im Höhenzuwachs statt (vgl. FLURY, 1933; LEIBUNDGUT, 1945; SAFAR, 1954; KÖSTLER, 1956, 1958; MITSCHERLICH, 1961; SCHÜTZ, 1989). Letzteres kann in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden, da keine Höhenzuwächse bestimmt wurden, es kann jedoch aus den Analysen der Kronenparameter abgeleitet werden. Da auf den Flächen mit Eingriffen die Kronenlänge bzw. der Bekronungsgrad zunahm, wird angenommen, dass die Bäume in die Höhe gewachsen sind, wobei die Astreinigung anscheinend nicht so schnell verlief wie der Höhenzuwachs. Die Kronenbreite nahm ebenfalls während der Beobachtungsperiode zu, wodurch auch der Spreitungsgrad zunahm. Es ist jedoch zu bemerken, dass die durch die Eingriffe erzeugten besseren Lichtverhältnissen das Höhenwachstum stärker fördern bzw. den Bekronungsgrad erhöhen als die Entwicklung der Kronenbreite. Letzteres ist an der Abnahme des Plumpheitsgrades abzulesen. Allerdings ist zu bemerken, dass auch wenn im allgemein die besseren Lichtverhältnisse in der Unterschicht eher die Kronen verlängern, insbesondere bei *N.pumilio*, die Kronenbreite verhältnismäßig rascher zunimmt als der entsprechenden BHD-Zuwachs, da das Ausladungsverhältnis auf den Flächen mit Eingriffen zunimmt. Letzteres wird von ASSMANN (1961) für *F.sylvatica* Bestände beschrieben: „nach Auflichtungen vergrößern sich die Kronen in rascherem Tempo, als die Schaftdurchmesser ansteigen, sodass dann das Ausladungsverhältnis größer wird“.

#### Einfluss auf die Fruktifikation

Wie in Kapitel 4.211.6 gezeigt wurde, befinden sich im Urwald die fruktifizierenden Individuen in den oberen Höenschichten. Aus diesem Grund ist zu vermuten, dass bei den waldbaulichen Eingriffen mehrere fruktifizierende *A.araucana* Bäume entnommen wurden. Erstaunlicherweise sind im Jahr 1998 auf den Flächen mit Eingriffen jedoch mehr fruktifizierende Bäume vorhanden als auf den Kontrollflächen. Allerdings ist auffallend, dass auf diesen Flächen die fruchtragenden Bäume im Durchschnitt geringere BHD- und Höhendimensionen aufweisen als auf den Kontrollflächen. Daraus kann geschlossen werden, dass bei den waldbaulichen Eingriffen zwar große fruktifizierende Bäume entnommenen wurden, die verbesserten Mikroklimaverhältnisse im Wald jedoch zur Bildung von Zapfen bereist bei kleineren Bäumen führten, sodass letztendlich die Anzahl fruktifizierender Individuen zunahm. Diese Beobachtung wird auch von MUÑOZ (1984), CARO (1995) und SCHMIDT und CARO (1998) für die Versuchsflächen von Los Chenques beschrieben. Sie stellen fest, dass je geringer die Grundflächenhaltung ist desto mehr kleinere bzw. niedrigere Bäume fruktifizieren. Auf der Fläche G-I war die Zunahme an fruktifizierenden Bäumen sogar drei Mal so hoch wie auf der Fläche M-I (CARO, 1995). Geht man davon aus, dass die Anzahl fruktifizierender Bäume sich vor Versuchsbeginn nicht zwischen den Versuchsflächen unterschied, deuten die von CARO (1995) bestätigten Zunahmen darauf hin, dass auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung mehr fruchtragende Individuen entnommen wurden, da im Jahr 1998 die Anzahl fruchtragender Bäume auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung sehr ähnlich ist.

### Geschlechterverhältnis

Interessant ist, dass bei den Aufnahmen von 1998 auf den Flächen mit mittlerer Grundflächehaltung der Anteil männlicher fruktifizierender Bäume größer war als auf den Kontrollflächen. Auf den Flächen mit geringer Grundflächehaltung überwog dagegen der Anteil weiblicher fruktifizierender Bäume. Ob diese Unterschiede auf die verschiedenen Grundflächehaltungen zurückzuführen sind oder ein zufälliger Effekt ist, konnte mit den vorliegenden Daten nicht geklärt werden. Für letzteres sprechen jedoch die Angaben der Untersuchung von CARO (1995), nach denen seit 1982 die neuen fruchtragenden Individuen auf den Flächen M-I und G-I stets ein Verhältnis von 1:1 zwischen weiblichen und männlichen fruktifizierenden Bäumen aufwiesen.

Hinsichtlich der Fruktifikation der Zapfen, deuten die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit darauf hin, dass für die Fruktifikation von weiblichen *A.araucana* Zapfen mehr Licht nötig ist als für die Fruktifikation von männlichen Zapfen. Für letzteres spricht, dass die Anzahl von dünnen bzw. niedrigen männlichen fruktifizierenden Bäumen auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächehaltung ähnlich größer ist als auf den Kontrollflächen, während die Anzahl kleiner weiblicher fruktifizierender Bäume nur auf den Flächen mit geringer Grundflächehaltung wesentlich größer ist. Letztere wurde auch von CARO (1995) festgestellt. Sie fand, dass auf der Fläche G-I 58 % der weiblichen fruchtragenden Individuen einen BHD unter 50 cm aufwiesen, während es auf der Fläche M-I nur 10 % waren.

Das Wichtige an der Zunahme von weiblichen Individuen ist letztendlich die Zunahme der Zapfenproduktion und so auch die größere Verfügbarkeit von Samen. Diesbezüglich ist auf den Flächen mit Eingriffen die Zapfenproduktion genauso unregelmäßig wie auf den Kontrollflächen. Die guten und schlechten Zapfenproduktionsjahre sind auf allen Flächen die gleichen. 1984 und 1988 waren sehr schlechte Produktionsjahre, dagegen waren 1987 und 1992 sehr gute Jahre (vgl. CARO, 1995). Allerdings ist zu bemerken, dass seit 1981 auf der Fläche M-I im Durchschnitt 156 weibliche Zapfen/ha,a produziert wurden, 16 % mehr als auf der Fläche K-I und auf der Fläche G-I sogar 199 Zapfen/ha,a, 48 % mehr als im Urwaldbestand (vgl. SCHMIDT und CARO, 1998). Auffallend ist, dass auf der Fläche G-I die Bäume unter 50 cm BHD zwar 58 % der weiblichen fruktifizierenden Bäume stellen, deren Zapfenproduktion jedoch nur 27 % der Gesamtproduktion ausmacht. Das bedeutet, dass geringe Grundflächehaltungen zwar zur Bildung weiblicher Zapfen bei kleineren Bäumen führen und somit auch die Anzahl weiblicher fruchtragender Individuen erhöht, der Haupteffekt ist jedoch die Stimulation der Zapfenbildung bei den vorhandenen großen weiblichen fruchtragenden Bäumen.

### Stammqualität

Im Vergleich zu den Kontrollflächen weisen die Flächen mit mittlerer Grundflächehaltung keine wesentlichen Unterschiede bezüglich der Qualität der Stämme beider Baumarten auf, während auf den Flächen mit geringer Grundflächehaltung zwei Unterschiede vorhanden sind: In der kleinsten BHD-Klasse 10-20 cm ist der Anteil gesunder und fehlerfreier Stämme (Güteklasse A) von *N.pumilio* wesentlich höher und ab der BHD-Klasse 110 cm sind nur noch schlechte *A.araucana* Stämme (Güteklassen C und D) vorhanden.

Die erste Differenz ist auf den zahlreichen Einwuchs von *N.pumilio* in den Flächen mit geringer Grundflächehaltung zurückzuführen, der überwiegend durch sehr vitale, gesunde und gut

geformten Bäumen gekennzeichnet ist. Letzteres, weil wie schon mehrmals erwähnt, das auf diesen Flächen vorhandenes Lichtverhältnis das Bedürfnis von *N.pumilio* vollkommend befriedigt.

Der zweite Unterschied ist ein Ausdruck für die Bevorzugung der Bäume mit den besten Stammqualitäten bei der Durchführung der Eingriffe. Diese in *A.araucana* Wäldern sehr übliche Form des Holzeinschlags, in Chile „Floreo“ genannt, ließ zwar noch relativ geschlossene, bestockte, artenreiche Wälder zurück, der forstwirtschaftliche Wert wurde jedoch drastisch reduziert (vgl. GOLTE, 1973; PUENTE, 1980; DONOSO, 1993; FINCKH, 1996). Wie an den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung zu sehen, sind solche Wälder durch überalterte, dicke Bäume mit sehr schlechten und wertlosen Stammqualitäten charakterisiert.

#### **5.4 Die Verjüngungsdynamik von *A.araucana*-*N.pumilio* Urwaldbeständen**

Wie schon erwähnt, befindet sich der untersuchte *A.araucana* Plenterwald in einem natürlichen Gleichgewichtszustand, also weist er ein natürliches Plentergleichgewicht auf. Die Erhaltung eines Plentergleichgewichtes ist sehr stark von der Verjüngungsdynamik der Baumarten abhängig die den Wald bilden (vgl. AMMON, 1951; SAFAR, 1954; KÖSTLER, 1956; MITSCHERLICH, 1961; KERN, 1966; LEIBUNDGUT, 1972; KAMMERLANDER, 1978; SCHÜTZ, 1989; DUC, 1991).

##### Dichte

Der Gleichgewichtszustand eines Plenterwaldes kann nur erhalten bleiben, wenn sich die Verjüngung genügend zahlreich einstellt und gleichzeitig auch eine genügend große Zahl von Nachwuchsstämmen in die unterste BHD-Klasse einwächst (vgl. AMMON, 1951; SAFAR, 1954; KÖSTLER, 1956; MITSCHERLICH, 1961; SCHÜTZ, 1989; DUC, 1991). Letzteres findet also in den untersuchten *A.araucana* Urwäldern statt. Die in der vorliegenden Arbeit für diese Wälder festgestellte Verjüngungsdichte schwankte zwischen 7.895 und 11.859 *A.araucana* und 1.732 und 2.989 *N.pumilio* Pflanzen/ha. Eine sehr ähnliche Dichte von 9.000 *A.araucana* Pflanzen/ha ermittelten SCHMIDT und CAMPOS (1988) für die Fläche K-I. CARO (1995) untersuchte die Dichte des Jungwuchses von *A.araucana* um die Mutterbäume. Sie stellte dabei fest, dass die Dichte der Pflanzen mit zunehmender Entfernung des Mutterbaumes abnimmt. Die maximale Distanz zwischen Verjüngung und Mutterbaum betrug 11 m, wobei die durchschnittliche Dichte von *A.araucana* in diesem Areal bei 21.000 Pflanzen/ha lag. Diese Zahl ist über doppelt so hoch wie die in dieser Arbeit festgestellten Dichte der Konifere. Es ist jedoch zu beachten, dass hier nicht nur das Areal um die Mutterbäume aufgenommen wurde, sondern es wurde eine systematische Aufnahme über die gesamte Fläche realisiert.

Die Existenz der Verjüngung von *A.araucana* ist wegen ihres Ausbreitungsmechanismus völlig von der Präsenz von Mutterbäumen abhängig. Auch wenn es einige Angaben zu Wurzelbrut und Stockausschlägen gibt (z.B. MUTARELLI und ORFILA, 1970; SCHILLING und DONOSO, 1976; WERNER, 1992; DONOSO, 1993; FINCKH und PAULSCH, 1995; FINCKH, 1996; HÖVELMANN, 1999; RECHENE, 2000) und vermutlich Vögel und Säugetiere die Vektoren für die Fernausbreitung sind, um devastierte Standorte neuzubesiedeln (vgl. VEBLEN, 1982; GEDDA, 1982; FINCKH und PAULSCH, 1995; FINCKH, 1996), ist der wichtigste Ausbreitungsmechanismus die Barochorie, d.h. das Fallenlassen der Samen. Wie im Kapitel 5.2

dargelegt, variiert die jährliche Zapfenproduktion stark. Daraus könnte geschlossen werden, dass auch das Samenangebot in den einzelnen Jahre sehr unterschiedlich ist. Tatsächlich ermittelt MUÑOZ (1984) für das Jahr 1982 eine Produktion von 3.920 Samen/ha und für 1983 auf der selben Fläche 21.840 Samen/ha. Was ebenfalls sehr stark variiert, ist die Samenanzahl die ein Zapfen enthalten kann. Nach den Ermittlungen von RODRIGUEZ *et al.* (1983), KRÜSSMANN (1983), MUÑOZ (1984) und CARO (1995) variiert die durchschnittliche Samenzahl zwischen 92 und 200 Stück pro Zapfen. MUÑOZ (1984) ist der Meinung, dass diese Variationen auf unterschiedliche klimatische Verhältnisse zurückzuführen sind, welche nach seiner Ansicht auch die Größe und das Gewicht der einzelnen Samen beeinflussen.

Die Samen von *A.araucana* sind zwischen 3,5 und 5 cm lang und zwischen 3,8 und 5 gr. schwer (EISELT, 1964; MUTARELLI, 1966; RODRIGUEZ *et al.*, 1983; KRÜSSMANN, 1983; MUÑOZ, 1984; VALENZUELA, 1984; CARO, 1995). Deshalb liegt 40 % des Samenaufschlages innerhalb der Kronenprojektion (Radius = 4 m) und nur 4 % der abgefallenen Samen lassen sich weiter als 8 m vom Stamm des Mutterbaumes entfernt finden (SCHMIDT und CAMPOS, 1988). Im Durchschnitt liegt der Samenfall 7 m von den Mutterbäumen entfernt, wobei der Entfernungsextremwert bei 13 m liegt (MUÑOZ, 1984). CARO (1995) stellt bei Berücksichtigung eines Kronenradius von 5 m fest, dass 69 % des Samenaufschlages innerhalb der Kronenprojektion lag, wobei keine Samen weiter als 11 m vom Mutterbaum zu finden waren. Diese enge Beziehung zwischen Samenaufschlag und Mutterbaum wurde im Gelände durch einfache Beobachtungen nachvollzogen, genauso wie die daraus folgende logische Beziehung zwischen Verjüngung und Mutterbaum. Diesbezüglich stellten FINCKH und PAULSCH (1995) und FINCKH (1996) in einem *A.araucana-N.pumilio* Wald im Villarrica-Nationalpark fest, dass der *A.araucana* Jungwuchs unter 50 cm Höhe mit weiblichen *A.araucana* Bäumen höchst signifikant korreliert war, während es mit männlichen Bäumen keine Korrelation gab.

In Bezug zur Verjüngung von *A.araucana* die sich um die Mutterbäume befindet, stellte CARO (1995) fest, dass von der Gesamtzahl 73 % der Pflanzen unter 20 cm hoch waren, während nur 3 % eine Höhe von über 2 m aufwies. Diese unter den Mutterbäumen überwiegende Zahl von kleineren Pflanzen wurde auch von FINCKH und PAULSCH (1995) und FINCKH (1996) bestätigt. Wie schon erwähnt, stellten sie fest, dass *A.araucana* Pflanzen unter 50 cm Höhe eine höchst signifikante positive Korrelation mit weiblichen Bäume haben. Diese Beziehung fand mit Verjüngung über 2 m Höhe nicht statt, wobei jedoch diese Pflanzen eine höchst signifikant positive Korrelation mit Kronenlücken aufwiesen. In *A.araucana* Urwälder scheint also bei Anwesenheit von Mutterbäumen die Keimlingsetablierung von *A.araucana* kein Problem zu sein, obwohl sie hauptsächlich in schattigen Bereichen stattfindet (unter den Kronen der Mutterbäume). Wahre Überlebenschancen haben jedoch nur die Pflanzen, die sich auf freieren Flächen innerhalb des Waldes entwickeln, was bedeutet, dass je entfernter die Pflanzen von den Mutterbäumen keimen, desto bessere Chance weisen sie zum überleben auf.

Die in der vorliegenden Arbeit ermittelte hohe Zahl von *A.araucana* Pflanzen unter 20 cm Höhe auf den Kontrollflächen ist nach den erwähnten Angaben nicht verwunderlich, da auf diesen Flächen im Durchschnitt 20 Mutterbäume vorhanden sind, um denen herum die Dichte doppelt so hoch ist wie die auf der gesamten Waldfläche und 70 % dieser Pflanzen unter 20 cm hoch sind.

Für *N.pumilio* sind die Kronenlücken in den *A.araucana* Wäldern noch wichtiger als für die Konifere selbst, denn sie kann wegen ihrem Lichtbedürfnis nur auf freien Flächen keimen. Da

diese Baumart flugfähige Samen hat etabliert sie sich ziemlich schnell auf Flächen mit genügendem Licht, wo sie dann auch schnell in die Höhe wächst (vgl. BRUN, 1969; SCHMIDT, 1977; VELEN, 1982; MORALES, 1983; CAVIERES, 1987; BURNS, 1991, 1993; DONOSO, 1993). Wie an der geringen Dichte von *N.pumilio* zu erkennen ist, kommen solche Lücken in *A.araucana* Plenterwäldern nur gelegentlich vor, was die Anwesenheit der Laubbaumart stark beschränkt (SCHMIDT, 1977). Zusätzlich muss sie bei Besiedlung von freien Flächen mit der aggressiven Bambusart *Ch.argentina* konkurrieren. Die Dichte von *N.pumilio* ist in den nördlicheren Lagen, wo sie meistens als Begleitbaumart vorkommt (z.B. *A.araucana* Wälder), am niedrigsten (VELEN *et al.*, 1977; VELEN, 1979; DONOSO, 1981). Im Vergleich zu der in den untersuchten *A.araucana* Wäldern vorhandenen Dichte von bis 3.000 Pflanzen/ha, kann *N.pumilio* in Reinbeständen der Regionen XI. und XII. Chiles bis zu 280.000 Pflanzen/ha erreichen (vgl. SCHLEGEL *et al.*, 1979).

Die für die Kontrollflächen festgestellte Verjüngungsverteilung nach Höhenklassen, in der die Zahl der Pflanzen mit zunehmender Höhenklasse exponentiell abnimmt, wird auch für mitteleuropäische Plenterwälder beschrieben (z.B. LEIBUNDGUT, 1972; KAMMERLANDER, 1978; DUC, 1991; VÖLKELE, 1995). Hinsichtlich der Verjüngungsdichte in mitteleuropäischen Plenterwäldern wird festgestellt, dass sie stark variiert. LEIBUNDGUT (1972) und DUC (1991) geben für Plenterwälder im Emmental in der Schweiz im Durchschnitt etwas geringere Dichten an als die der Kontrollflächen. Dagegen ergaben die Untersuchungen von MITSCHERLICH (1961) und KERN (1966) im Schwarzwald sehr ähnliche Pflanzenzahlen, während KAMMERLANDER (1978) im Raum Tirol und insbesondere VÖLKELE (1995) im bayerischen Wald mit 178.500 St./ha bedeutend höhere Pflanzahlen ermittelten.

### Höhenentwicklung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Höhenentwicklung der Verjüngungspflanzen zwar nicht analysiert, jedoch wird es als wichtig erachtet, an dieser Stelle auf zwei Arbeiten hinzuweisen die sich mit dem Höhenzuwachs von *A.araucana* Jungwuchs beschäftigen. DONOSO (1990) und WERNER (1992) haben in den Versuchsflächen K-II, M-II, G-II bzw. K-I, M-I, G-I die Auswirkungen der waldbaulichen Maßnahmen auf das Höhenwachstum der *A.araucana* Verjüngungspflanzen analysiert. Dabei stellten DONOSO (1990) und WERNER (1992) fest, dass in den untersuchten Urwaldbeständen der *A.araucana* Jungwuchs sehr langsam in die Höhe wächst, im Durchschnitt 1,75 bzw. 1,77 cm/Jahr. Die von ihnen ermittelten geringe Höhenzuwächse spiegeln die Zuwachsdynamik des plenterartigen Bestandesaufbaus der *A.araucana* Wälder vollkommen wieder. Wie schon erwähnt wurde, wird in Plenterwäldern das Höhenwachstum der Verjüngung und der unterständigen Bäume durch die Überschildung der größeren Bäume stark gehemmt (vgl. LEIBUNDGUT, 1945; AMMON, 1951; MAGIN, 1959; SOMMER, 1961; ASSMANN, 1961; MITSCHERLICH, 1961; SCHÜTZ, 1989). GROSFELD (1994) stellte fest, dass *A.araucana* ihr Höhenwachstum bei starker Überschildung sogar für neun Jahre völlig anhalten kann. Bedauerlicherweise haben DONOSO (1990) und WERNER (1992) die Vielfalt der Entwicklungsmöglichkeiten des Plenterwaldes bei ihren Untersuchungen nicht berücksichtigt. Sie deuteten jedoch darauf hin, dass der Höhenzuwachs zwischen den verschiedenen *A.araucana* Verjüngungspflanzen stark variierte. Einen gleichen Schluss zog DUC (1991) aus seinen Untersuchungen. Er stellte fest, dass *P.abies* und *A.alba* Verjüngungspflanzen von weniger als 1 cm/Jahr bis zu 17 cm/Jahr in die Höhe wachsen können.

### Horizontale Verteilungsmuster

Die erwähnten Reproduktions- und Ausbreitungsmechanismen sowie die Lichtbedürfnisse der beiden Baumarten bestimmen auch ihre horizontalen Verteilungsmuster im Bestand. Die Keimlinge und Sämlinge von *A.araucana* kommen stark geklumpt vor, was auch wegen der beschränkten Samendispersion gut verständlich ist. Mit zunehmender Pflanzenhöhe nimmt die Klumpungsstärke ab, da die Wahrscheinlichkeit, Pflanzen unmittelbar nebeneinander zu finden abnimmt. Letzteres, weil erstens mit zunehmender Pflanzenhöhe die intra- bzw. interspezifische Konkurrenz steigt und zweitens, weil die Pflanzen die sich von den Mutterbäumen weiter entfernt entwickeln und so größere Überlebenschancen haben, weniger sind als diejenigen, die sich unter den Kronen der Mutterbäume befinden. Bei *N.pumilio* ist die leichte Klumpung auf die beschränkte Möglichkeit der Besiedlung zurückzuführen. Dort wo sich freie Flächen ergeben, kann die Laubbaumart zahlreich keimen. Da solche Fläche jedoch in den *A.araucana* Wäldern unregelmäßig vorkommen, findet man die Verjüngung von *N.pumilio* in Gruppen, also geklumpt. Die Konkurrenz um den Standraum ist stark, was bedeutet, dass das Einwachsen in höhere Klassen mit dem Ausscheiden von anderen Pflanzen verbunden ist. Deshalb wird die Verteilung der *N.pumilio* Pflanzen mit zunehmender Höhe auch zufälliger.

Die Anwesenheit von Bambusarten, wie *Ch.argentina*, wirkt sich bei beiden Baumarten als Aggregationsmechanismus aus, was ein geklumpertes Vorkommen fördert (vgl. WATANABE, 1997).

FINCKH und PAULSCH (1995) und FINCKH (1996) haben bei ihren Untersuchungen zwar ebenfalls festgestellt, dass der *A.araucana* Jungwuchs in Urwäldern geklumpt vorkommt, anders jedoch als in der vorliegenden Arbeit fanden sie, dass Pflanzen über 2 m Höhe noch geklumpt vorkommen. Allerdings haben sie zur Bestimmung der Verteilung das Verfahren von MORISITA (1956) verwendet, was dann eigentlich einen unmittelbaren Vergleich mit den eigenen Ergebnissen nicht ermöglicht. Das MORISITA Verfahren ist für Flächenaufnahmen geeignet und die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Methoden, die Poisson-Verteilungs- und Varianz/Mittelwert-Quotient-Methode, für Stichprobenaufnahmen.

### Vitalität

Wie schon mehrmals erwähnt, muss in Plenterwäldern mit einer längeren Unterdrückungszeit der Unterschicht gerechnet werden. Dies führt im allgemeinen zu einem vegetierenden Jungwuchs (DUC, 1991). Diesbezüglich sind die schattentoleranten Baumarten diejenigen, die am wenigsten darunter leiden. Sie sind am ehesten in der Lage diese Situation auszuhalten und wie AMMON (1951) meint „auf den Abruf zum Weiterwachsen zu warten“. Anders ist der Lebenslauf des Jungwuchses lichtbedürftiger Baumarten; ihm fällt das Warten schwer und dieses drückt sich auch in einer schlechteren Vitalität aus.

Diese Befunde kommen in den eigenen Befunden ebenfalls zum Ausdruck, denn 43 % des *A.araucana* Jungwuchses ist sehr vital, während es bei *N.pumilio* nur 18 % sind. Zusätzlich zum ohnehin geringem Licht kommt in diesen Wäldern noch ein weiterer Lichtkonkurrent hinzu: die Bambusart *Ch.argentina* (vgl. FINCKH und PAULSCH, 1995; FINCKH, 1996). Bedauerlicherweise wurde die Vitalität der Pflanzen unter *Ch.argentina* nicht eigens aufgenommen. Im Gelände konnte jedoch festgestellt werden, dass die Vitalität durch den Schatten der Bambusart offensichtlich verschlechtert wurde. Diesbezüglich stellte WATANABE

(1997) fest, dass im allgemeinen die Pflanzenvitalität bei Anwesenheit von Bambusbedeckung deutlich abnimmt und zwar umso stärker je lichtbedürftiger die Baumart. Letzteres kann anhand der Daten der vorliegenden Arbeit auf indirekte Weise bestätigt werden: Von dem gesamten *A.araucana* Jungwuchs befanden sich 29 % unter *Ch.argentina*, wobei jedoch nur 21 % der gesamten *A.araucana* Verjüngung als nicht vital einzustufen war. Das bedeutet, dass es *A.araucana* Pflanzen gab, die sich unter Bambus befanden und vital waren. Bei *N.pumilio* ist das anders, denn erstens, kann sich wegen des höheren Lichtbedürfnisses nur 11 % des Jungwuchses unter Bambus entwickeln und zweitens sind trotzdem 46 % der *N.pumilio* Pflanzen nicht vital.

Mit zunehmender Höhenklasse ist jedoch eine klare Tendenz zur Verbesserung der Vitalität der Pflanzen bei beiden Baumarten zu erkennen. Das ist eigentlich nicht verwunderlich, denn die Pflanzen, die sich durchsetzen sind die vitalsten. Eine Ausnahme hierzu sind die *A.araucana* Pflanzen unter 20 cm Höhe, die die höchste Vitalität aufweisen. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die hohe Vitalität dieser Höhenklasse auf die Keimlinge und Sämlinge zurückzuführen ist, da sie noch eine gewisse Zeit von den Reservestoffen ihrer Samen profitieren und so ungünstige Wachstumsbedingungen besser aushalten können (vgl. GOLTE, 1993; DONOSO, 1993).

#### Sprossbasisdurchmesser

Wie schon mehrmals in der vorliegenden Arbeit erwähnt wurde, sind die *A.araucana* Bäume für ihre ausgesprochen gute Einzelbaumstabilität und Stammvollholzigkeit schon immer bekannt gewesen (SCHMIDT *et al.*, 1980; KRÜSSMANN, 1983; RODRIGUEZ *et al.*, 1983). Was jedoch nicht bekannt war, ist, dass diese Eigenschaften schon bei den Keimlingen von 1 cm gegeben sind. Vergleicht man die Sprossbasisdurchmesser bei gegebener Höhe zwischen Pflanzen von *A.araucana* und *N.pumilio*, so wird festgestellt, dass die Pflanzen der Konifere doppelt so dick sind, also auch doppelt so stabil. Dieser stabile Aufbau der Pflanzen von *A.araucana* drückt sich auch bei der Etablierung aus, da man sehr oft in der Natur einzelne kleine Pflanzen sieht die auf freien Flächen wachsen, die sehr stark von Wind betroffen werden. Genau umgekehrt ist es bei der Verjüngung von *N.pumilio*, denn sie ist außerordentlich empfindlich gegen Wind. Sie braucht für ihre Etablierung und Entwicklung einen Seitenschutz oder eine gewisse Überschildung, um sich gegen den Wind zu schützen. Der Schirm darf jedoch nicht zu dicht sein, damit auch noch genügend Licht in die Unterschicht gelangt (vgl. SCHMIDT und URZÚA, 1982; URIARTE und GROSSE, 1991; SCHMIDT und CALDENTY, 1994).

Hinsichtlich der Formigkeit beider Baumarten sind schon Unterschiede in der Verjüngung vorhanden. Während bei *A.araucana* die Individuen mit 5 cm BHD einen Sprossbasisdurchmesser von 6 cm haben, weisen *N.pumilio* Individuen mit gleichen BHD-Dimensionen einen Sprossbasisdurchmesser von 8 cm auf. Das heißt, dass *A.araucana* Bäumchen mit 5 cm BHD im Durchschnitt eine Formzahl von 85 aufweisen, während 5 cm dicke *N.pumilio* Individuen nur eine Formzahl von 69 haben. Die Verjüngungspflanzen von *A.araucana* sind also wesentlich vollholziger als diejenigen von *N.pumilio*.

#### Einfluss von *Ch.argentina*

Nach CONAF-CONAMA (1997) gibt es in Chile sechs wichtige Bambusarten, von denen die Art *Chusquea argentina* (Parodi) die geringste Verbreitung aufweist und so den unwichtigsten Einfluss über die chilenischen Wälder hat. Deshalb gibt es keine speziellen Studien über diese

Bambusart. Die Eigenschaften und Ausbreitungsmechanismen der sechs Arten sind jedoch sehr ähnlich (DONOSO, 1993). Die wichtigsten Eigenschaften dieser Bambusarten sind: ein sehr starkes Lichtbedürfnis und eine sehr schnelle und vehemente Besiedlung von freien Flächen (DONOSO, 1993; WATANABE, 1997). Dies konnte auch im Gelände festgestellt werden, denn der Bedeckungsgrad von *Ch. argentina* schwankte sehr deutlich unter den verschiedenen Übershirmungsgraden des Urwaldes.

Für *A. araucana* sowie auch für *N. pumilio* ist die Präsenz von *Ch. argentina* ein Hindernis für die Keimung und Entwicklung der Verjüngung. Beide Baumarten tendieren dazu nicht mit der Bambusart zusammen zu wachsen, wobei sie Bedeckungsgrade des Bambus bis 25 % noch gut ertragen können. Da *A. araucana* schattentoleranter ist als *N. pumilio*, ist die Laubbaumart mit *Ch. argentina* noch negativer korreliert als die Konifere. Anwesenheit von *N. pumilio* Pflanzen unter Bedeckungsgraden von über 25 % ist nahezu kaum zu finden. Anders ist es bei *A. araucana*, denn der Konifere gelingt es noch bei Bedeckungen bis zu 50 % einen Meter hoch zu werden. Bei Bedeckungsgraden bis 75 % kann *A. araucana* noch keimen, jedoch haben die Pflanzen fast keine Chance zu überleben. FINCKH und PAULSCH (1995) und FINCKH (1996) beschreiben für einen plenterartigen *A. araucana*-*N. pumilio* Bestand eine sehr ähnliche Beziehung zwischen *A. araucana* und der zweit verbreitetsten Bambusart Chiles, *Chusquea culeou* E. Desv. Bedauerlicherweise ist ein genauer Vergleich nicht möglich, da FINCKH und PAULSCH (1995) und FINCKH (1996) nur die Korrelation des Jungwuchses mit Bedeckungsgraden über 25 % untersuchten, ohne weitere Unterteilungen zu realisieren. Sie fanden jedoch auch, dass es den *A. araucana* Samen noch gelingt unter *Chusquea* zu keimen, die Pflanzen jedoch im Schatten des Bambus meistens einen Meter Höhe nicht erreichen. Auf Grund dieser Ergebnisse weisen FINCKH und PAULSCH (1995) und FINCKH (1996) darauf hin, dass eine vitale und dichte *N. pumilio* Verjüngung die *A. araucana* Pflanzen ebenfalls ausdunkeln würde, weshalb der *A. araucana* Jungwuchs in solchen Fällen keine Überlebenschance hätte.

### **5.5 Auswirkung von waldbaulichen Maßnahmen auf die Verjüngungsdynamik von *A. araucana*-*N. pumilio* Urwaldbeständen**

Von den im Kapitel 5.4 analysierten Sachverhalten, werden in diesem Kapitel die Themen „horizontale Verteilungsmuster“ und „Sprossbasisdurchmesser“ nicht erwähnt, da die waldbaulichen Maßnahmen auf diese beiden Aspekte keinen wesentlichen Einfluss hatten.

#### Dichte

Wie schon mehrmals erwähnt wurde, wiesen vor Versuchsbeginn die untersuchten Bestände ein sehr ähnliches Plentergleichgewicht auf. Unterstellt man, dass vor Versuchsbeginn auch die Verjüngungsdynamik zwischen den Beständen nicht allzu unterschiedlich war, so haben die waldbaulichen Behandlungen die Dichte von *A. araucana* und *N. pumilio* beeinflusst. Auf den Flächen mit Eingriffen hat die Verjüngungsdichte von *A. araucana* abgenommen und diejenige von *N. pumilio* zugenommen. Es ist jedoch zu bemerken, dass zwischen den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung die Zahl von *A. araucana* Pflanzen, 6.752 bzw. 6.647 St./ha, sich nicht wesentlich unterschied, die Verjüngungsdichte von *N. pumilio* auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung mit 4.723 St./ha jedoch größer war als diejenige auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung mit 3.151 St./ha.

Bei Betrachtung der Dichte nach Höheklassen, stellt man fest, dass bei beiden Baumarten die oberen Höhenklassen an Pflanzen zunahm, während die Zahl der kleineren Pflanzen bei *A.araucana* stark abnahm und bei *N.pumilio* gleich blieb. Die Abnahme von kleinen *A.araucana* Pflanzen auf den Flächen mit Eingriffen ist keineswegs logisch, da auf diesen Flächen die Produktion von weiblichen Zapfen und so auch von Samen während der Periode 1982-1998 zunahm (vgl. MUÑOZ, 1984; CARO, 1995; SCHMIDT und CARO, 1998). Eine Erklärung hierfür ist vermutlich die starke Ausdunklung der Bodenoberfläche durch die entstandene dichte Bambus- und Baumunterschicht. Die durch die waldbaulichen Eingriffe erzeugten Lichtverhältnisse haben zu einer vehementen Entwicklung der zum Zeitpunkt der Eingriffe vorhandenen Verjüngung und Bodenvegetation geführt. So nahmen die oberen Höhenklassen der Verjüngung an Pflanzen zu und es fand Einwuchs in die unterste BHD-Klasse statt. Zur gleichen Zeit nahm auf den Flächen mit Eingriffen auch der Bedeckungsgrad von *Ch.argentina* zu. Wie im Gelände deutlich zu sehen war, hat sich auf den Flächen, entweder eine ziemlich dichte Baumunterschicht gebildet oder eine dichte Bambusschicht. Trotz der erhöhten Samenproduktion und der ausgesprochenen guten Schattentoleranz gelingt es *A.araucana* anscheinend nicht, unter der dichten einschichtigen Unterschicht zahlreich genug zu keimen, um die größere Mortalität zu kompensieren. FINCKH und PAULSCH (1995) und FINCKH (1996) weisen darauf hin, dass *A.araucana* wegen der zu starken Ausdunklung bei Bedeckungsgraden über 25 % von *Ch.argentina* oder einer dichten *N.pumilio* Verjüngung keine Überlebenschance hat.

*N.pumilio* konnte bis jetzt ihre Keimungsrate erhalten, da sie durch ihre sehr hohe Fertilität und flugfähige Samen sehr schnell die erzeugten freien Flächen besiedelte (vgl. SCHMIDT, 1977; SCHLEGEL *et al.*, 1979; VEBLEN, 1982; BURNS, 1991, 1993; DONOSO, 1993; HÖVELMANN, 1998). Allerdings ist zu vermuten, dass zukünftig die Keimungsrate der Laubbaumart stark abnehmen wird, da wegen ihrer aggressiven Besiedlung sowie auch der von der Bambusart *Ch.argentina*, die freien Flächen abnehmen werden.

Ein unklarer Sachverhalt, ist die sehr ähnliche Reaktion der Verjüngung von *A.araucana* auf allen Flächen mit Eingriffen, obwohl auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung kein starker Einwuchs in die unterste BHD-Klasse stattfand und sich auch keine so dichte Unterschicht bildete. Ob nun die auf diesen Flächen stattgefundene Zunahme an Bambusbedeckung *A.araucana* so beeinflusst, dass es zu einer ähnlichen Auswirkung wie bei der Bambus- und Baumunterschicht auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung kommt, kann mit diesen Resultaten nicht gesagt werden. Hierzu müsste man genauere Untersuchungen durchführen.

Da es für jeden Bestand verschiedene Plentergleichgewichte gibt (PRODAN, 1949 [a]), muss die Dichte auf den Flächen mit Eingriffen nicht unbedingt mit der der Kontrollflächen übereinstimmen um ein Plentergefüge zu erhalten. Eine genaue Festlegung einer Verjüngungsstammzahl zur Erhaltung eines Plenterwaldes ist nicht möglich, da die Zahl von Verjüngungspflanzen die sich einstellen muss und auch die Zahl von Nachwuchsstämmen, die gleichzeitig in die unterste BHD-Klasse einwachsen muss, von dem Plentergleichgewicht abhängig ist (vgl. AMMON, 1951; SCHÜTZ, 1989; DUC, 1991). Das ist auch anhand der Verjüngungsdichten von mitteleuropäischen Plenterwäldern nachzuvollziehen, die, obwohl sie meistens „echte“ Plentergefüge darstellen, alle unterschiedliche Verjüngungsdichten aufweisen (vgl. MITSCHERLICH, 1961; KERN, 1966; LEIBUNDGUT, 1972; KAMMERLANDER, 1978;

DUC, 1991; VÖLKEL, 1995). Es wird jedoch für die untersuchten Flächen mit Eingriffen, insbesondere für die mit geringer Grundflächenhaltung, darauf hingewiesen, dass eine Nachwuchspflege (Plenterung) dringend nötig ist, um das Plentergefüge zu erhalten. Die vorhandene dichte *N.pumilio* Unterschicht wird ohne menschlichen Eingriff zukünftig eine einschichtige Waldstruktur bilden. Gleichzeitig beschattet sie zu stark die Bodenoberfläche, sodass der kleine Nachwuchs nicht zahlreich überleben kann. Vor allem ist eine Nachwuchspflege dringend nötig, da die Eingriffe auf diesen Flächen die Baumart *A.araucana* nicht fördern und so auch keinen Beitrag zu Erhaltung dieser Baumart leisten.

### Höhenentwicklung

Vor Versuchsbeginn war der Höhenzuwachs des *A.araucana* Jungwuchses auf den Flächen K-I, K-II, M-I, M-II, G-I und G-II sehr ähnlich (vgl. DONOSO, 1990; WERNER, 1992). Das änderte sich nach der Ausführung der waldbaulichen Maßnahmen, da das bessere Lichtangebot zu einer Zunahme des Höhenzuwachses der *A.araucana* Pflanzen führte. Diese Reaktion wird auch für *P.abies* und *A.alba* in mitteleuropäischen Plenterwäldern beschrieben (z.B. AMMON, 1951; SAFAR, 1954; MITSCHERLICH, 1961; SOMMER, 1961). Anders als bei den ermittelten Höhenzuwachsen auf den Kontrollflächen sind hier die Ergebnisse von DONOSO (1990) und WERNER (1992) unterschiedlich. DONOSO (1990) stellte fest, dass die Pflanzen auf der Fläche mit mittlerer Grundflächenhaltung, M-II mit 4,00 mm/Jahr stärker zuwachsen als auf der Fläche mit geringer Grundflächenhaltung, G-II, mit 3,38 mm/Jahr. WERNER (1992) ermittelte genau das Gegenteil, da nach seinen Erhebungen die Flächen M-I und G-I im Durchschnitt 2,33 bzw. 3,63 cm/Jahr zuwachsen. Diese Differenzen deuten darauf hin, dass bei Zuwachsanalysen im Plenterwald die verschiedenen Entwicklungsmöglichkeiten soweit wie möglich berücksichtigt werden müssten. Mit großer Wahrscheinlichkeit liegen die Unterschiede zwischen DONOSO (1990) und WERNER (1992) nur an der Auswahl der Pflanzen. Keiner von den beiden Autoren erwähnt den direkten Überschirmungsgrad den die entnommenen Pflanzen hatten und auch nicht inwieweit sie von *Ch.argentina* bedeckt waren. Diese spezifischen Wachstumsbedingungen können den Zuwachs genauso so stark beeinflussen wie die generellen Schirmstellungen der verschiedenen Behandlungsvarianten.

DONOSO (1990) und WERNER (1992) untersuchten auch den Höhenzuwachs von Verjüngungspflanzen die sich auf Freiflächen befanden. Dabei stellten sie fest, dass der Höhenzuwachs dieser Pflanzen um ein Mehrfaches größer ist als unter Schirm. DONOSO (1990) ermittelte einen durchschnittlichen Höhenzuwachs von 9,7 cm/Jahr, während WERNER (1992) sogar einen durchschnittlichen Zuwachs von 28,5 cm/Jahr feststellte. Diese Angaben sind sehr wichtige Hinweise für die Pflanzung von *A.araucana*, es bedeutet aber nicht, wie DONOSO (1990) zu einfach vorschlägt, dass für die Förderung von *A.araucana* stärkere Eingriffe in den Urwäldern nötig sind. Zwar wächst die Verjüngung von *A.araucana* umso besser je größer das Lichtangebot, jedoch berücksichtigt DONOSO (1990) nicht, dass in *A.araucana* Wälder auch *N.pumilio* und *Chusquea* anwesend sind, die, wie die vorliegende Arbeit zeigt, von dem besseren Lichtangebot wesentlich schneller und stärker profitieren als *A.araucana*. Die raschere Reaktion der Laubbaumart und des Bambus verhindern sogar die normale Entwicklung von *A.araucana*. Was DONOSO (1990) nicht erwähnt ist, dass bei starken Öffnungen von *A.araucana* Plenterwäldern es außerordentlich wichtig ist, konsequent zu plentern, um *A.araucana* zu fördern und nicht *N.pumilio* oder *Ch.argentina*.

### Vitalität

Die Ausführung der waldbaulichen Maßnahmen hat im Durchschnitt die Vitalität des *A.araucana* Jungwuchses nicht wesentlich beeinflusst, wobei jedoch zu bemerken ist, dass die Vitalität der kleineren Verjüngungspflanzen verschlechtert wurde und diejenige der höheren *A.araucana* Pflanzen sich leicht verbessert hat. Dies bestätigt, dass trotz der allgemeinen Verbesserung der Lichtverhältnisse auf den Flächen mit Eingriffen, die kleinen *A.araucana* Pflanzen davon nicht profitieren. Bei den höheren Pflanzen ist das anders, da die Wahrscheinlichkeit den besseren Lichtgenuss auszunützen, zunimmt.

Die Auswirkung der waldbaulichen Eingriffe auf die Vitalität von *N.pumilio* ist bedeutender; hier verbessert sich die Pflanzenvitalität mit abnehmender Grundflächenhaltung. Auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung ist sogar 51 % des gesamten *N.pumilio* Jungwuchses als sehr vital einzustufen. Anders als bei der Konifere wirkt sich die Verbesserung in allen Höhenklassen aus, wobei jedoch auch hier gilt: je höher desto vitaler. Die Verbesserung der Vitalität der kleineren *N.pumilio* Pflanzen liegt am besseren Lichtgenuss von dem sie profitieren. Anders als *A.araucana*, konnte sich *N.pumilio* genau dort etablieren, wo genügend Licht vorhanden war. Dieses Verhalten ist ein Ausdruck ihrer Lebensstrategie, da sie sich durch eine sehr hohe Fertilität und geringerem Lebensalter als Opportunist mit großer Aggressivität bei der Besiedlung neuer Areale auszeichnet (vgl. BRUN, 1969; SCHMIDT, 1977; SCHLEGEL *et al.*, 1979; VELEN, 1982; MORALES, 1983; CAVIERES, 1987; BURNS, 1991, 1993; DONOSO, 1993; FINCKH und PAULSCH, 1995; FINCKH, 1996).

### Einfluss von *Ch.argentina*

Für beide Baumarten sind Bedeckungsgrade über 25 % von *Ch.argentina* ein Hindernis für die Entwicklung. Deshalb muss bei der Durchführung von waldbaulichen Eingriffen in *A.araucana* Wäldern auch die Reaktion des Bambus berücksichtigt werden, da er sich bei genügend Licht sehr schnell verbreitet, freie Waldflächen erobert und so eine außerordentliche starke Konkurrenz für die Verjüngungspflanzen darstellt.

Wie zu erwarten war, haben die von den waldbaulichen Maßnahmen erzeugten besseren Lichtverhältnisse auf den Flächen mit Eingriffen zu einer Zunahme der Bedeckung von *Ch.argentina* geführt, umso stärker je geringer die Grundflächenhaltung. Im Durchschnitt bedeckte *Ch.argentina* auf den Flächen mit mittlerer und geringer Grundflächenhaltung 7 bzw. 14 % mehr Bodenoberfläche als auf den Kontrollflächen. Diese Zunahme drückt sich auch im Verhältnis zur Verjüngung aus, da auf den Flächen mit Eingriffen bei beiden Baumarten die Anteile von Pflanzen die sich unterhalb von *Ch.argentina* befinden höher sind als auf den Kontrollflächen und die entsprechenden Anteile ohne *Ch.argentina* niedriger. Die Auswirkungen der Zunahme des Bedeckungsgrades von *Ch.argentina* auf die Verjüngung von *A.araucana* und *N.pumilio*, wurden im Lauf dieses Kapitels bereits erwähnt.

## 5.6 Zusammenfassende Interpretation der Ergebnisse und Empfehlungen

### Zusammenfassende Interpretation der Ergebnisse

#### Urwald

- Vor Versuchsbeginn wiesen die neun untersuchten *A.araucana-N.pumilio* Urwaldbestände auf einer Flächengröße von einem Hektar eine Plenterstruktur auf, wobei Bäume bis zu einem Durchmesser von 2 m vorhanden waren. Letzteres spricht dafür, dass dieser Wald seit langer Zeit von keiner Großstörung betroffen ist und sich in einem dynamischen Gleichgewichtszustand befindet. Solange kein katastrophales Ereignis diese Plenterurwälder stört, wird *A.araucana* stets die dominierende Baumart und *N.pumilio* eine Begleitbaumart bleiben.
- Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit bestimmten mittleren jährlichen Durchmesserzuwächse von *A.araucana* und *N.pumilio* entsprechen den Befunden aus anderen Studien. Der Durchmesserzuwachs von *N.pumilio* ist in allen BHD- bzw. Höhenklassen größer als der von *A.araucana*. Der jährliche Volumenzuwachs je Hektar von *A.araucana* ist jedoch wesentlich größer als der von *N.pumilio*, da erstens weniger *N.pumilio* vorhanden ist und zweitens die *A.araucana* Bäume im Durchschnitt dicker und höher sind. Die *A.araucana-N.pumilio* Plenterurwälder sind mit  $1.300 \text{ m}^3/\text{ha}$  als sehr vorratsreich einzustufen.
- In diesen Urplenterwäldern wirkt sich eine Überschirmung bei *A.araucana* und *N.pumilio* unterschiedlich aus. Während bei gegebener Höhe überschirmte *A.araucana* Bäume im Durchschnitt dicker sind als Bäume mit freier Krone, sind bei *N.pumilio* die Bäume mit freier Krone im Durchschnitt dicker als diejenigen mit überschirmter Krone. Der für *A.araucana* festgestellte Befund ist bislang für andere Baumarten noch nicht beschrieben worden.
- Die Zusammenhänge zwischen den Kronenindizes „Bekronungsgrad“, „Spreitungsgrad“, „Plumpheitsgrad“ sowie „Ausladungsverhältnis“ und dem BHD bzw. der Höhe entsprechen in den untersuchten *A.araucana-N.pumilio* Urwaldbeständen zum größten Teil denjenigen mitteleuropäischer Plenterwälder. Hinsichtlich aller genannten Kriterien ist die Krone von *A.araucana* kleiner als die von *N.pumilio*.
- Die Stammqualität von *A.araucana* ist wesentlich besser als die von *N.pumilio*. Im gesamten BHD-Spektrum (10-200 cm) von *A.araucana* sind stets Bäume mit sehr guten Stammqualitäten vorhanden, während bei *N.pumilio* ab einem Durchmesser von 80 cm alle Bäume sehr schlechte Stammqualitäten aufweisen.
- *A.araucana* zeichnet sich wegen ihres beschränkten Ausbreitungsvermögens (Barochorie) durch eine stark geklumpfte Etablierung aus. Diese horizontale Verteilung ist noch bis zu Bäumen mit 50 cm BHD sichtbar. Die geklumpfte Verteilung der Verjüngung ist bei *N.pumilio* nicht so stark ausgeprägt wie die bei *A.araucana*. Bei *N.pumilio* ist das geklumpfte Vorkommen auf die beschränkte Ansammlungsmöglichkeit im Bestandesschatten zurückzuführen.
- In *A.araucana* Urwäldern befinden sich die fruktifizierenden Bäume überwiegend in den oberen Höhenklassen, wobei zu bemerken ist, dass mehr männliche als weibliche fruktifizierende Bäume vorhanden sind.

- Die durchschnittliche Verjüngungsdichte von *A.araucana* ist fünf Mal so hoch wie die von *N.pumilio*. Die Verjüngungspflanzen beider Baumarten, insbesondere die von *N.pumilio*, reagieren empfindlich auf die Konkurrenz durch die Bambusart *Ch.argentina*. Die im Urwald auftretende Bedeckung von *Ch.argentina* reicht im Falle von *A.araucana* nicht aus, das Ankommen von Keimlingen bzw. das Überleben einer, aus waldbaulicher Sicht, ausreichenden Zahl dieser Verjüngungspflanzen zu verhindern. Auf den Urwaldflächen deutete sich an, dass genügend *A.araucana* Pflanzen in die untersten BHD-Klasse einwachsen und so das natürliche Plentergleichgewicht erhalten.

#### *Auswirkungen der waldbaulichen Maßnahmen*

- Die Auswirkungen von waldbaulichen Maßnahmen in *A.araucana* Urwäldern sind von der Grundflächenhaltung abhängig und nicht von der Stärke des Eingriffes.
- Auf allen Flächen mit Eingriffen haben sowohl bei *A.araucana* als auch bei *N.pumilio* die dünnsten bzw. niedrigsten Bäume am stärksten auf das verbesserte Lichtangebot reagiert.
- Auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung konnte *A.araucana* ungehindert auf das erhöhte Lichtangebot reagieren, da die Lichtverhältnisse für *N.pumilio* noch nicht ausreichten um zu einer starken Reaktion zu führen und *A.araucana* zu bedrängen. Auf diesen Flächen blieb die Plenterstruktur von 1982 erhalten.
- Auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung führte das zusätzliche Lichtangebot zu einer sehr vehementen Reaktion bei *N.pumilio*. Infolge der dadurch erhöhten interspezifischen Konkurrenz wurde *A.araucana* v.a. in den unteren Schichten stark bedrängt. Die Konifere konnte das zusätzliche Lichtangebot hingegen nicht in vermehrten Zuwachs umsetzen. Der Zuwachs war auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung ähnlich wie auf denen mit geringer Grundflächenhaltung. Auf den letztgenannten Flächen ist im Jahr 1998 noch eine Plenterstruktur vorhanden, jedoch hat sich durch den vehementen Einwuchs von *N.pumilio* die Durchmesserstruktur, insbesondere die Baumartenanteile in den unteren BHD-Klassen deutlich verändert. Es ist zu vermuten, dass auf den letztgenannten Flächen ohne menschlichen Einfluss zukünftig die Plenterstruktur in eine von *N.pumilio* dominierte einschichtige Waldstruktur übergehen wird.
- Das durch die waldbaulichen Eingriffen erhöhte Lichtangebot hat bei *A.araucana* zur Zapfenbildung bei dünneren bzw. niedrigeren Bäumen geführt. Unabhängig von der verbliebenen Grundfläche war die Zahl von kleinen männlichen fruktifizierenden Bäume auf allen Flächen mit waldbaulichen Eingriffen in gleichem Maße größer als auf den Urwaldflächen, während die Zahl von weiblichen fruktifizierenden Bäumen nur auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung wesentlich größer war.
- Auf den Flächen mit Eingriffen stellte sich eine Bedeckung mit der Bambusart *Ch.argentina* ein, die umso höher war, je geringer die Grundflächenhaltung ist. Die auf den Flächen mit Eingriffen entstandene dichte Unterschicht aus Bambus und unterständigen Bäumen beschattet die Bodenoberfläche so stark, dass hier weniger *A.araucana* Verjüngungspflanzen unter 60 cm Höhe überleben können als im Urwald.

### Empfehlungen zur Förderung und Erhaltung von *A.araucana*

Die nachfolgenden Empfehlungen basieren zum Teil auf den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, schließen aber wichtige Entscheidungsgrundlagen mit ein, sofern diese nach Ansicht des Autors zur Förderung und Erhaltung von *A.araucana* von Bedeutung sind. Die Empfehlungen sind vor dem Hintergrund zu sehen, dass *A.araucana* seit 1976 (mit Ausnahme von 1987-1990) einem absoluten Holzeinschlagsverbot unterliegt. Anlass für diese Maßnahme war die Rodung und Ausbeutung, welche diese Urwälder in den letzten 120 Jahren erfahren haben. Der genaue Degradationszustand der gegenwärtigen *A.araucana* Wälder ist unbekannt.

### *Urwald*

Hinsichtlich des untersuchten Urwaldes deuten die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit darauf hin, dass die Ermittlungen von VELEN (1982), DONOSO (1993), FINCKH und PAULSCH (1995) und FINCKH (1996) für die *A.araucana-N.pumilio* Wälder korrekt sind. So kann *A.araucana* sich in diesen Wäldern gut entwickeln und sich mittels ihrer Langlebigkeit und Reproduktions- und Beharrungsstrategien gut gegen *N.pumilio* durchsetzen. Ob sich *A.araucana* auch in anderen Waldformationen ebenfalls so gut behaupten kann, müsste Gegenstand weiterer Dynamikstudien sein. Empfehlenswert wären auch Untersuchungen über die genetische Struktur der gegenwärtigen *A.araucana* Wälder, da Populationen mit unterschiedlicher genetischer Zusammensetzung zwar heute ein sehr ähnliches Wuchsverhalten aufweisen können, unterschiedliche Auswirkungen bei den verschiedenen Genotypen durch zukünftige Umweltveränderungen, wie z.B. Klimaveränderungen, jedoch nicht auszuschließen sind. *A.araucana* wird bessere Anpassungs- und Überlebenschancen haben, je größer ihre genetische Vielfalt ist. Heute sind zwar 48 % der *A.araucana* Wälder in Nationalparks geschützt, ob diese aber alle Populationen und Rassen einschließen, ist nicht bekannt. Bevor das Holzeinschlagsverbot aufgehoben wird, sollten die Ergebnisse solcher Untersuchungen vorliegen, um sämtliche Vorkommen bzw. Genotypen zu schützen.

### *Degradierete Wälder*

Wie schon erwähnt, wurden die *A.araucana* Wälder in den letzten 120 Jahren genutzt, ohne Kenntnisse über die Auswirkungen solcher Nutzungen zu haben. Das Ergebnis waren viele gerodete und degradierte Wälder. Allerdings gab es Fälle, in denen Nutzungen als angemessen angesehen wurden, da man meinte, man hätte die ursprüngliche mehrschichtige Struktur beibehalten. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit weisen jedoch darauf hin, dass durch die Erhaltung einer plenterartigen Durchmesserstruktur alleine eine Plenterwaldstruktur auf Dauer nicht gesichert ist. Die *A.araucana* Plenterwälder in denen Eingriffe durchgeführt wurden, mit der die Grundfläche auf ca. 37 m<sup>2</sup>/ha abgesenkt wurde und von denen man annahm, dass *A.araucana* dort begünstigt wurde, werden mit großer Wahrscheinlichkeit zukünftig in einschichtige Waldstrukturen übergehen, in denen *N.pumilio* die dominierende Baumart sein wird. Solche, in vielen Fällen noch wesentlich stärker, degradierte Wälder sind in Chile sehr häufig. Die gegenwärtige Rechtslage sichert *A.araucana* zwar vor neuen Rodungen und Ausbeutungen, es darf jedoch nicht vergessen werden, dass viele *A.araucana* Wälder bereits degradiert sind und man so Wälder schützt, in denen *A.araucana* von den konkurrenzstarken

*Nothofagus*-Arten und zum Teil sogar von den aggressiven Bambusarten bedrängt wird. Obwohl Großstörungen zur Dynamik der *A.araucana* Wälder gehören, kann nicht davon ausgegangen werden, dass *A.araucana* sich nach den starken menschlichen Eingriffen von Natur aus wieder erholen und verbreiten wird, da dass Ausmaß der menschlichen Aktivität in den letzten 120 Jahren den Umfang solcher Großstörungen um ein Vielfaches überschritten hat.

Aus diesen Erläuterungen ergeben sich drei Alternativen:

- Der Totalschutz der *A.araucana* Wälder wird fortgesetzt. In diesem Fall besteht die Gefahr, dass in den degradierten Wäldern, nach den Befunden dieser Arbeit, nicht zur Förderung und Erhaltung von *A.araucana* beigetragen wird, sondern deren Gefährdung durch die Konkurrenz von *Nothofagus spp.* und *Chusquea spp.* erhöht wird.
- Man investiert in die Erhaltung der *A.araucana* Wälder, indem man durch Nachwuchspflege versucht die interspezifische Konkurrenz zwischen *A.araucana* und den *Nothofagus*- und Bambusarten zu regeln. Diese Investition müsste vom Staat übernommen werden.
- Die dritte Möglichkeit, die die Nachteile der beiden zuerst genannten Alternativen nicht aufweist, besteht darin die *A.araucana* Wälder außerhalb der Nationalparks nachhaltig zu bewirtschaften.

#### *Nachhaltige Bewirtschaftung*

Obwohl *A.araucana* in der Jugendphase umso schneller wächst, je größer das Lichtangebot ist, darf trotzdem auf keinen Fall der Kahlschlag eine Alternative bei der Bewirtschaftung der *A.araucana* Wälder sein. Die wichtigsten Argumente zur absoluten Ablehnung des Kahlschlages sind folgende:

- Die Standorte auf denen *A.araucana* wächst, sind durch sehr labile Bodenstrukturen gekennzeichnet. Die Erosions- und Wasserschutzfunktionen können nur durch eine Dauerwaldbestockung gewährleistet werden.
- Wegen des räumlich beschränkten Ausbreitungsmechanismus von *A.araucana*, könnte man die durch einen Kahlschlag erzeugte Freifläche nur durch Pflanzung schnell in Bestockung bringen. Selbst dann wäre ein Erfolg der Nachzucht von *A.araucana* aber nicht sichergestellt, da trotz des schnelleren Wachstums auf der Freifläche, *A.araucana* im Vergleich zu den *Nothofagus*- und Bambusarten langsamer wächst und damit von dem größeren Lichtangebot weniger profitiert. Zusätzlich zu den Kosten der Pflanzung, müsste man mit hohen Kosten für die Konkurrenzregelung rechnen. Solche Kosten sind angesichts der langen Umtriebszeit mit großer Wahrscheinlichkeit nicht rentabel.

Die *A.araucana* Wälder bilden auf kleinen Flächen natürliche Plenterwälder, weshalb es nach Ansicht des Autors vollkommend logisch ist, im Fall einer nachhaltigen Bewirtschaftung die natürlichen Waldstrukturen und Wachstumsprozesse zu nutzen. Außerdem stellen die Plenterwälder ideale Schutzwälder dar.

Obwohl der Plenterbetrieb die einzige nach dem chilenischen Waldgesetz für diese Wälder erlaubte Betriebsform ist, wird in Chile jedoch von vielen Förstern und Waldbesitzern diese nicht als einzige Alternative zur Bewirtschaftung von *A.araucana* Wäldern angesehen. Dies führte dazu, dass in der Periode zwischen 1987 und 1990 nicht nur nach dem Plenterprinzip gewirtschaftet wurde und dies war der Grund dafür, dass man *A.araucana* erneut durch ein absolutes Holzeinschlagsverbot unter Schutz stellte und zum Naturdenkmal erklärte. Die Erhaltung der Vorschrift nur plenterartig zu nutzen scheiterte u.a. daran, dass:

- eine strengere Überwachung der durchgeführten Nutzungen fehlte. So wurde nicht kontrolliert, dass tatsächlich nur so viele Bäume gefällt wurden, wie von der Forstbehörde genehmigt wurden.
- das für den Plenterbetrieb erforderliche waldbauliche Können fehlte.
- ein Mangel an Kenntnissen über die Auswirkungen von Eingriffen in *A.araucana* Wälder besteht.

Mangelnde Kontrolle ist ein Aspekt der für alle Wälder in Chile gilt, da man bisher leider nicht von der Absicht der Walderhaltung der Waldbesitzer und Einschlagsfirmen ausgehen kann. Nach der Ansicht des Autors, wird in Chile eine nachhaltige Bewirtschaftung der Naturwälder nicht stattfinden, solange nicht genug in eine Kontrolle investiert wird. Deshalb müsste die Aufhebung des Holzeinschlagsverbots von *A.araucana* mit einer intensiveren Kontrolle verbunden sein.

Fehlendes waldbauliches Können kann nur überwunden werden, wenn die Universitäten und Fachhochschulen nicht nur die Betriebsformen für großflächige Plantagenbewirtschaftungen lehren, sondern auch alternative Bewirtschaftungskonzepte für Naturwälder vorlegen. Diesbezüglich könnte man für die Bewirtschaftung von *A.araucana* Wälder unterstellen, dass nur Förster mit soliden Kenntnissen über Plenterprinzipien und selbstverständlich auch über *A.araucana* hierzu eine Genehmigung erhalten. Die entsprechende Ausbildung könnte durch spezielle Kurse erfolgen.

Als Beitrag zur Verbesserung der mangelnden Kenntnisse über *A.araucana* versteht sich die vorliegende Arbeit. Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass die Schaffung von bewirtschafteten *A.araucana* Plenterwäldern die beste und geeignetste Form ist, ungewünschte lichtbedürftigen *Nothofagus*- und Bambusarten zu kontrollieren und so *A.araucana* zu fördern und zu erhalten. Dies ist am Wuchsverhalten der Baumart in den unberührten Plenterurwäldern gut abzulesen. Allerdings sind in den Urwäldern Bäume bis zu 200 cm BHD vorhanden, Baumdimensionen die in bewirtschafteten Plenterwäldern aus ökonomischen und arbeits-technischen Gründen vollkommen ausgeschlossen sind. In den Beständen mit Grundflächenhaltungen von ca. 53 m<sup>2</sup>/ha bzw. Vorräten von ca. 750 m<sup>3</sup>/ha und Zieldurchmessern von ca. 160 cm scheinen die Konkurrenzarten noch keine Behinderung für eine normale Entwicklung von *A.araucana* darzustellen, während in Beständen mit Grundflächenhaltungen von ca. 37 m<sup>2</sup>/ha bzw. Vorräten von ca. 450 m<sup>3</sup>/ha und Zieldurchmessern von ca. 130 cm eine Nachwuchspflege unbedingt nötig ist um *A.araucana* zu fördern und zu erhalten. Im allgemeinen gilt, dass die Konkurrenzregelung umso intensiver sein muss, je geringer der Zieldurchmesser der bewirtschafteten *A.araucana* Plenterwälder ist. Das bedeutet, dass die dafür aufzuwendenden Kosten mit zunehmendem Zieldurchmesser sinken. Für große Zieldurchmesser spricht auch, dass

der große Anteil an Starkholz einer der Vorteil des Plenterbetriebs gegenüber anderen Betriebsformen ist (BURSCHEL und HUSS, 1997) und im allgemeinen zu einer hohen Wertleistung führt (vgl. MITSCHERLICH, 1963; SCHÜTZ, 1989). Andererseits muss jedoch berücksichtigt werden, dass dicke Bäume standraumbezogen nur eine mittelmäßige Volumenleistung erbringen (vgl. BADOUX, 1949; MITSCHERLICH, 1961; SPIEKER, 1986; SCHÜTZ, 1989) und, dass das Steigungspotential des Wertzuwachses mit zunehmendem Zieldurchmesser bzw. Vorratshöhe kontinuierlich abnimmt (KNOKE, 1998, 1999).

Hinsichtlich des richtigen oder optimalen Zieldurchmessers bzw. Vorratshöhe für bewirtschaftete *A.araucana* Plenterwälder kann jedoch, trotz der vorgenannten Befunde, kein konkreter Hinweis gegeben werden, da sich beide Größen nach den Renditen der für jeden einzelnen Waldbesitzer offenstehenden Investitionsalternativen richten (KNOKE, 1998, 1999). Nach der Ansicht des Autors könnte derzeit die Bewirtschaftung von *A.araucana* Wäldern nach dem Plenterprinzip nur für Besitzer oder Einschlagsfirmen möglich sein, die von ihrem Betrieb bzw. den Beständen eine niedrige Rentabilität verlangen. Dies ist jedoch in Chile außerordentlich selten, da die sozio-ökonomische Rahmenbedingungen und die schlechte Erschließung bei der Waldbewirtschaftung eine hohe Rentabilität in kurzen Perioden verlangen.

Trotz der in diesem Kapitel dargestellte Aspekte, die einer nachhaltigen Bewirtschaftung von *A.araucana* Wälder nach dem Plenterprinzip entgegen stehen, sind weitere Forschungsaktivitäten in *A.araucana* Wäldern außerordentlich wichtig, um bei Veränderung der gegenwärtigen Situation, die biologischen und waldbaulichen Grundlagen für eine nachhaltige Bewirtschaftung zu legen.

## 6 Zusammenfassung

Die Baumart *Araucaria araucana* (Mol.) K.Koch unterliegt in Chile einem absoluten Holzeinschlagsverbot. Anlass für diese Maßnahme war die Rodung und Ausbeutung, die die Urwälder dieser Baumart in den letzten 120 Jahren erfahren haben. Die gegenwärtige Rechtslage sichert zwar heute alle *A.araucana* Wälder, es kann jedoch in naher Zukunft möglich werden, dass das Holzeinschlagsverbot aufgehoben wird und so, mangels Kenntnissen zur waldbaulichen Behandlung von *A.araucana*, die Nutzung dieser Wälder außerhalb der Nationalparks erneut auf nicht nachhaltige Weise durchgeführt wird. Aus diesem Grund ist es dringend erforderlich, Behandlungskonzepte herzuleiten, um einerseits die Übernutzung von *A.araucana* zu verhindern und andererseits ihr Nutzungspotential zu erschließen.

Im Rahmen des Zieles der vorliegenden Studie, der **Förderung und Erhaltung von *A.araucana***, sollten sowohl *A.araucana* Urwaldbestände wie auch die Auswirkungen von waldbaulichen Maßnahmen in diesen Urwaldbeständen untersucht werden. Hierzu konnte auf die in chilenischen *A.araucana* Wäldern wichtigste Versuchsanlage zurückgegriffen werden. Die Versuchsflächen dieser Anlage wurden in den Jahren 1981-1982 im Rahmen des Projektes „Estudio de la Regeneración del Tipo Forestal *Araucaria araucana*“ (CONAF/PNUD/FAO-CHI/76/003) unter der Leitung von Prof. Dr. H. Schmidt in nahezu unberührten *A.araucana-N.pumilio* Urwaldbeständen in der Nähe von Lonquimay angelegt. Sie umfassen 21 Flächen mit unterschiedlicher Grundflächenhaltung. Für die Realisierung der vorliegenden Arbeit wurden von diesen 21 Flächen neun jeweils ein Hektar große Versuchsflächen ausgewählt und in den Jahren 1998 und 1999 erneuert aufgenommen: drei unberührte Urwaldbestände bzw. Kontrollflächen (ca. 82 m<sup>2</sup>/ha), drei Versuchsflächen mit mittlerer Grundflächenhaltung (ca. 52 m<sup>2</sup>/ha) und drei Flächen mit geringer Grundflächenhaltung (ca. 37 m<sup>2</sup>/ha).

### Urwald

Der untersuchte Urwald ist seit langer Zeit nicht durch eine Großstörung beeinflusst worden und weist auf einem Hektar ein natürliches Plentergleichgewicht auf, wobei Bäume bis zu 200 cm BHD vorkommen. Solange kein katastrophales Ereignis diese Wälder stört, wird *A.araucana* stets die dominierende Baumart und *N.pumilio* eine Begleitbaumart bleiben. Die *A.araucana-N.pumilio* Plenterbestände sind mit 1.300 m<sup>3</sup>/ha als sehr vorratsreich einzustufen.

In diesen Urplenterwäldern wirkt sich eine Überschirmung bei *A.araucana* und *N.pumilio* unterschiedlich aus. Während bei gegebener Höhe überschirmte *A.araucana* Bäume im Durchschnitt dicker sind als Bäume mit freier Krone, sind bei *N.pumilio* die Bäume mit freier Krone im Durchschnitt dicker als diejenigen mit überschirmter Krone. Der für *A.araucana* festgestellte Befund ist bislang für andere Baumarten noch nicht beschrieben worden.

Die Verjüngungspflanzen beider Baumarten reagieren empfindlich auf die Konkurrenz durch die Bambusart *Chusquea argentina*. Die im Urwald auftretende Bambusbedeckung behindert jedoch nicht das ausreichende Ankommen und Überleben von neuen *A.araucana* Keimlingen. Sie reichen aus, um zahlreich genug in die untersten BHD-Klassen einzuwachsen und so das natürliche Plentergleichgewicht zu erhalten.

Auswirkung der waldbaulichen Maßnahmen

Wie die Untersuchung der Flächen mit Eingriffen gezeigt hat, sind die Auswirkungen von waldbaulichen Maßnahmen in *A.araucana* Urwäldern von der Grundflächenhaltung bestimmt und nicht von der Stärke des Eingriffes.

Auf allen Flächen mit Eingriffen haben sowohl bei *A.araucana* als auch bei *N.pumilio* die dünnsten bzw. niedrigsten Bäume am stärksten auf das verbesserte Lichtangebot reagiert.

Auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung konnte *A.araucana* im Vergleich zu *N.pumilio* relativ mehr auf das erhöhte Lichtangebot reagieren, da für *N.pumilio* die Lichtverhältnisse noch nicht ausreichten um zu einer starken Wachstumsreaktion zu führen. Auf diesen Flächen blieb die Plenterstruktur von 1982 erhalten.

Auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung war das zusätzliche Lichtangebot für *N.pumilio* zufriedenstellend und führte zu einer sehr vehementen Reaktion dieser Baumart. Die damit erzeugte Steigerung der interspezifischen Konkurrenz führte zu einer Unterdrückung von *A.araucana* in den unteren Schichten, sodass die Konifere auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung nicht wesentlich stärker reagieren konnte als auf den Flächen mit mittlerer Grundflächenhaltung. Auf diesen Flächen ist im Jahr 1998 noch eine Plenterstruktur vorhanden, jedoch hat sich durch den vehementen Einwuchs von *N.pumilio* die Durchmesserstruktur, insbesondere der Baumartenanteil in den unteren BHD-Klassen deutlich verändert.

Die auf den Flächen mit Eingriffen entstandene dichte Bambus- und Baumunterschicht hat die Bodenoberfläche so stark ausgedunkelt, dass die Mortalität von *A.araucana* Pflanzen unter 20 cm Höhe, trotz des größeren Samenangebots, nicht durch die Keimung von *A.araucana* Pflanzen kompensiert werden konnte.

Es ist zu vermuten, dass auf den Flächen mit geringer Grundflächenhaltung ohne menschlichen Einfluss zukünftig die Plenterstruktur in eine von *N.pumilio* dominierte einschichtige Waldstruktur übergehen wird. Da es in Chile viele Wälder gibt, in denen die Grundflächen stark reduziert wurden, ist davon auszugehen, dass auf diesen Flächen *A.araucana* ohne Pflegeeingriffe langfristig durch *Nothofagus*- und Bambusarten verdrängt wird. Das existierende Holzeinschlagsverbot trägt also in vielen Fällen nicht zur Förderung und Erhaltung von *A.araucana* bei, sondern erhöht deren Gefährdung durch die Konkurrenz von *Nothofagus spp.* und *Chusquea spp.* Für solche Situationen wäre eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder die vernünftigste Lösung, da so einerseits die interspezifische Konkurrenz zwischen *A.araucana* und den *Nothofagus*- und Bambusarten geregelt und andererseits die Wertschätzung degradierter Wälder erhöht werden könnte. Da *A.araucana* auf sehr labilen Standorten wächst und dort auf kleinen Flächen natürliche Plenterwälder bildet, ist hierzu das Plenterprinzip das richtige Bewirtschaftungskonzept. Im Falle von Plenterungen in *A.araucana* Beständen, die eine Grundfläche von ca. 50 m<sup>2</sup>/ha nicht deutlich unterschreiten ist die Erhaltung dieser Baumart nicht gefährdet. Allerdings ist zu bemerken, dass sich im Falle einer nachhaltigen Bewirtschaftung von *A.araucana* Wäldern nach dem Plenterprinzip die Zieldurchmesser nach den Renditen der für jeden einzelnen Waldbesitzer offenstehenden Investitionsalternativen richten würden. Letzteres müsste jedoch, um die Fehler der Vergangenheit zu vermeiden, mit waldbaulichem Können und einer angemessenen Überwachung der geplanten Bewirtschaftungsmaßnahmen verbunden sein.

## 7 Literaturverzeichnis

- AAGESEN, D. (1993): The natural and social geography of *Araucaria araucana*. MSc Thesis. University of Minnesota, Minneapolis, USA. 199 S.
- ALVAREZ, S. und GROSSE, H. (1978): Antecedentes generales y análisis para el manejo de Lenga en Alto Mañihuales, Aysén. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 144 S.
- AMMON, W. (1951): Das Plenterprinzip in der Waldwirtschaft. Verlag Paul Haupt Bern-Stuttgart. 158 S.
- ARMESTO, J., VILLAGRÁN, C. und DONOSO, C. (1994): „Desde la era glacial a la industrial. La historia del bosque templado chileno“. *Ambiente y Desarrollo*. 10:66-72.
- ASSMANN, E. (1953): Die Verlagerung der Höhenkurven von Plenterwaldflächen und ihre Ursachen. *Allg. Forst- u. J. Ztg.* 124: 175-177.
- ASSMANN, E. (1954): Die Standraumfrage und die Methodik von Mischbestandsuntersuchungen. *Allg. Forst- u. J. Ztg.* 125: 149-153.
- ASSMANN, E. (1961): *Waldetragskunde*. München, Bonn, Wien: Bayerischer Landwirtschaftsverlag GmbH. München, Deutschland. 491 S.
- BADOUX, E. (1949): L'allure de l'accroissement dans la forêt jardinée. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen*. 26 (1): 9-58
- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W. und WEIBER, R. (1996): *Multivariate Analysemethoden*. 8. Aufl. (1. Aufl. 1980). Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York. 591 S.
- BASCUR, F., BLANCO, S., CHANG, A., CONTRERAS, M., FERNÁNDEZ, C., GILCHRIST, J., GONZÁLEZ, L., GUERRA, G. und RODRÍGUEZ, M. (1987): Diagnóstico del área de distribución del tipo Forestal Araucaria. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- BIEHL, R. (1991): *Buchenplenterwirtschaft - dargestellt am Beispiel des Forstreviers Langula*. Diplomarbeit. Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften. Technische Universität Dresden. Dresden, Deutschland. 101 S. Unveröffentlicht.
- BORTZ, J. (1993): *Statistik: Für Sozialwissenschaftler*. 4 Aufl. (1 Aufl. 1977). Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, Deutschland. 753 S.
- BRUN, R. (1969): *Strukturstudien im gemäßigten Regenwald Südchiles als Grundlage für Zustandserhebungen und Forstbetriebsplanung*. Dissertation. Forstwissenschaftliche Fakultät. Albert-Ludwigs Universität Freiburg. Freiburg im Breisgau, Deutschland. 156 S.
- BURNS, B. R. (1991): *The regeneration dynamics of Araucaria araucana (Mol.) Koch*. PhD Thesis. Department of Geography. University of Colorado, Boulder, USA. 221 S.
- BURNS, B. R. (1993): *Fire-Induced Dynamics of Araucaria araucana-Nothofagus antarctica Forest in the Southern Andes*. *Journal of Biogeography*, Vol.20 (6): 669-685.

- BURSCHEL, P. und HUSS, J. (1997): Grundriss des Waldbaus. 2 Aufl. (1 Aufl. 1987). Parey Verlag. Berlin, Deutschland. 487 S.
- CANAVOS, G. (1997): Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y Métodos. 3 Aufl. (1 Aufl. 1984). McGraw-Hill Verlag. Madrid, Spanien. 651 S.
- CARO, M.P. (1995): Producción y dispersión de semillas de *Araucaria araucana* en Lonquimay. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 55 S.
- CASADO REBOLLO, A. (1996) Application of the sorting and cubing program BDAT on all-aged trees: A case study for spruce and fir on the Kreuzberg Municipal Forest. Diplomarbeit. Forstwissenschaftliche Fakultät. Ludwig-Maximilians Universität München. Freising, Deutschland. 92 S. Unveröffentlicht.
- CAVIERES, A. (1987): Estudio de crecimiento de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch en un bosque virgen de Araucaria-Lenga. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- CONAF-CONAMA (1997): Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Datenbank des Projekts.
- CUNILL, P. (1970): Factores de la destrucción del paisaje chileno: recolección, caza y talas coloniales. Número Especial Informaciones Geográficas. Santiago, Chile. 235-264.
- DAILLIMORE, W. und JACKSON, B. (1961): Handbook of Coniferae. Edward Arnold. London, England. S.686.
- DELMASTRO, R. und DONOSO, C. (1980): Review of distribution, variation and utilization of gene resource of *Araucaria araucana* (Mol.) Koch in Chile. Simposio IUFRO em melhoramiento genético e produtividade de Espécies florestais de rápido crescimento.
- DONOSO, C. (1981): Tipos forestales de los bosques nativos. CONAF. Documento de Trabajo N°38. Investigación y Desarrollo Forestal (CONAF-PNUD-FAO). Santiago, Chile. 61 S.
- DONOSO, C. (1993): Bosques templados de Chile y Argentina, Santiago de Chile. 447 S.
- DONOSO, C., GERDING, V., OLIVARES, B., REAL, P., SANDOVAL, V., SCHLATTER, R. und SCHLEGEL, F. (1984): Antecedentes para el manejo del bosque nativo de Forestal Arauco (Sector Cordillera de Nahuelbuta). Proyecto Forestal Arauco - Universidad Austral de Chile. Informe de Convenio N° 74. 183 S.
- DONOSO, S. (1990): Crecimiento de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch bajo diversas intensidades de corta. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 73 S.
- DUC, P. (1991): Untersuchungen zur Dynamik des Nachwuchses im Plenterwald. Schweiz. Z. Forstwes. 142 (4): 299-319.
- EISELT, M. (1964): Nadelgehölze. Verlag Neuman. Leipzig, Deutschland.
- EISENHAUER, G. (1981): Chile: Auf dem Weg zu einem Waldland mit Zukunft. Holz aktuell. 3: 48-53.

- EL KATEB, H. (1991): Der Einfluss waldbaulicher Maßnahmen auf die Sprossgewichte von Naturverjüngungspflanzen im Bergmischwald. Forstliche Forschungsberichte München. Nr. 111. 193 S.
- EL KATEB, H. (2000): Analyse zur Bewertung waldbaulicher Maßnahmen. Lehrstuhl für Waldbau und Forsteinrichtung. Wissenschaftszentrums Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt. Department für Ökosystem- und Landschaftsmanagement. Technische Universität München. Freising, Deutschland. Unveröffentlicht
- ENRIGHT, N. J. und HILL, R. S. (1995): Ecology of the Southern Conifers. Melbourne University Press. Melbourne. 321 S.
- FINCKH, M. (1996): Die Wälder des Villarica-Nationalparks (Südchile) - Lebensgemeinschaften als Grundlage für ein Schutzkonzept. Cramer Verlag. Berlin-Stuttgart, Deutschland. 181 S.
- FINCKH, M. und PAULSCH, A. (1995): *Araucaria araucana*. Die ökologische Strategie einer Reliktkonifere. Flora. 190: 365-382.
- FLURY, P. (1933): Untersuchungen über die Wachstumsverhältnisse des Plenterwaldes. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen. 18 (1): 55-151.
- FREUND, J. und LITTELL, C. (1992): SAS, System für Regression. 2. Aufl. (1. Aufl. 1991). SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 210 S.
- FUCHS, A. (1996): Forsteinrichtung im Kreuzberger Plenterwald. Forstwissenschaftliches Centrallblatt. 115: 51-62.
- FUENZALIDA, H. (1965): Clima. Geografía Económica de Chile. Texto refundido. Corporación de Fomento a la Producción. Santiago. 483 S.
- GAJARDO, R. (1980): Vegetación del bosque de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch en la Cordillera de los Andes. Departamento de Silvicultura. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile, Santiago, Chile. Boletín Técnico 57: 25 S.
- GASTÓ, J. (1979): Ecología. El hombre y la transformación de la naturaleza. Editorial Universitaria. Santiago, Chile.
- GEDDA, M. (1982): La *Araucaria araucana*. Monumento Natural de Chile. Geomundo 6 (4): 364-368.
- GIGANTI, H.E. (1994): Porcentaje de daño por insectos en fustes de especies maderables en los bosques de Moquehue, Argentina. Turrialba. 36 (1): 111-116.
- GIGANTI, H.E., DAPOTO, G. und GENTILI, M. (1994): Lepidópteros de los bosques nativos del Departamneto Aluminé, Neuquén, Argentina. Bosque. 11 (2): 37-44.
- GOLDAMMER, J.G., CWIELONG, P., RODRIGUEZ, N. und GEORERGEN, J. (1996): One Thousand Years of Fire History of Andino-Patagonian Forests. Recovered from Sediments of the Epuén River, Chubut Province, Argentina. In: Biomass burning and global change. Vol. II (J.S. Levine ed.). MIT Press. Cambridge, MA, USA. 653-659 S.

- GOLTE, W. (1973): Das südchilenische Seengebiet - Besiedlung und wirtschaftliche Erschließung seit dem 18. Jahrhundert. Bonner Geographische Abhandlungen 47. Dümmlers Verlag, Bonn, Deutschland. 183 S.
- GOLTE, W. (1978): Die südandine und die südbrasilianische Araukarie. Ein ökologischer Vergleich. Erdkunde. Bonn, Deutschland. 32: 279-296.
- GOLTE, W. (1993): *Araucaria* - Verbreitung und Standortsansprüche einer Koniferengattung in vergleichender Sicht. Erdwissenschaftliche Forschung. Stuttgart, Deutschland. 27. 167 S.
- GROSFELD, J.E. (1994): Arquitectura y dinámica del crecimiento de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch. Universidad Nacional del Comahue. Centro Regional Universitario Bariloche. San Carlos de Bariloche, Rio Negro, Argentinien.
- GUSSMANN, H.U. (1958): Eine forstliche Gesetzgebung in Chile. Tübingen, Deutschland. 165 S.
- HAIG, J. T. and collab. (1946): Forest resources of Chile as a basis for industrial expansion. Forest Services US Department of Agriculture in cooperation with CORFO. Santiago, Chile.
- HASELOFF, O. und HOFFMANN, H. (1970): Kleines Lehrbuch der Statistik. 4. Aufl. (1. Aufl. 1960). De Gruyter Verlag. Berlin, Deutschland. 330 S.
- HÖVELMANN, O. (1998): Untersuchung einer Brandfläche in einem *Araucaria araucana*-*Nothofagus antarctica* Wald. Diplomarbeit. Forstwissenschaftliche Fakultät. Albert-Ludwigs Universität Freiburg. Freiburg im Breisgau, Deutschland. 176 S. Unveröffentlicht.
- HUECK, K. (1966): Die Wälder Südamerikas. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, Deutschland. 422 S.
- HUECK, K. (1978): Los bosques de Sud América: ecología, composición, e importancia económica. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica, Ltda. Alemania.
- KAMMERLANDER, H. (1978): Aufbau, Verjüngung und Verbissgefährdung der Plenterwälder im Raum Kufstein/Tirol. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. 129 (9): 711-726.
- KENNEL, E. (1973) Bayern. Waldinventur 1970/71, Inventurabschnitt I: Großrauminventur, Aufnahme und Auswertungsverfahren. Forschungsberichte der Forstlichen Forschungsanstalt München. 11: 142 S.
- KERN, K.G. (1966): Wachstum und Umweltfaktoren im Schlag- und Plenterwald. Schriftreihe der Forstlichen Abteilung der Universität Freiburg. Freiburg im Breisgau, Deutschland. Band 5. 232 S.
- KERSHAW, K.A. (1973): Quantitative and dynamic Ecology. American Elsevier Publishing Company. New York, USA:
- KNOKE, T. (1998): Analyse und Optimierung der Holzproduktion in einem Plenterwald - zur Forstbetriebsplanung in ungleichaltrigen Wäldern. Forstliche Forschungsberichte München. Nr. 170. 182 S.

- KNOKE, T. (1999): Zur betriebswirtschaftlichen Optimierung der Vorratshöhe in einem Plenterwald. *Forts und Holz*. 54 (16): 483-488.
- KÖHLER, W., SCHACHTEL, G. und VOLESKE, P. (1996): *Biostatistik: Einführung in die Biometrie für Biologen und Agrarwissenschaftler*. 2 Aufl. (1 Aufl. 1984). Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, Deutschland. 285 S.
- KÖSTLER, J.N. (1956): Allgäuer Plenterwaldtypen. *Forstwissenschaftliches Centrallblatt*. 75: 423-458.
- KÖSTLER, J.N. (1958): Plenterbestände im Begrenzer Wald. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen*. 75: 224-256.
- KRAFT, G. (1884): *Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichthiebe*. Hannover, Deutschland.
- KRAMER, H. und AKCA, A. (1995): *Leitfaden zur Waldmeßlehre*. 3 Aufl. (1 Aufl. 1982). Sauerländer Verlag. Frankfurt, Deutschland. 226 S.
- KRÜSSMANN, G. (1983): *Handbuch der Nadelgehölze*. 2 Aufl. (1 Aufl. 1972). Paul Parey Verlag. Hamburg und Berlin, Deutschland. 396 S.
- LAMPRECHT, H. (1986): *Waldbau in den Tropen*. Paul Parey Verlag. Hamburg und Berlin, Deutschland. 318 S.
- LANFRANCO, D. (1991): Sinopsis de los insectos que atacan bosques de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser) en Magallanes. *Anuales del Instituto de la Patagonia*. 20 (1) : 89-93.
- LAUER, W. (1961): Wandlungen im Landschaftsbild des südchilenischen Seengebietes seit Ende der spanischen Kolonialzeit. *Schr. Geographischen Institut. Universität Kiel*. 20: 227-276.
- LEIBUNDGUT, H. (1945): Waldbauliche Untersuchungen über den Aufbau von Plenterwäldern. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen*. 24 (1): 219-296.
- LEIBUNDGUT, H. (1956): Empfehlungen für die Baumklassenbildung und Methodik über die Wirkung von Waldpflegemaßnahmen. 12.IUFRO-Congress. Oxford, England. Bd.2: 92-94.
- LEIBUNDGUT, H. (1972): Struktur eines Emmentaler Plenterwaldes. *Forstwissenschaftliches Centrallblatt*. 91 (4): 222-237.
- MAGIN, R. (1959): Struktur und Leistung mehrschichtiger Mischwälder. *Mitteilung aus der Staatsforstverwaltung Bayerns*. Heft 30. 161 S.
- MANOSALVA, L. (1995): Antecedentes dendrométricos básicos de un rodal de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. Et Endl.) Krasser), en el sector Cerro La Virgen, XI Región. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 64 S.
- MARMILLOD, D. (1982): *Methodik und Ergebnisse von Untersuchungen über Zusammensetzung und Aufbau eines Terrassenwaldes im peruanischen Amazonien*. Dissertation. Georg-August Universität Göttingen. Göttingen, Deutschland. 198 S.

- MATHER, K. (1972): Statistical Analysis in Biology. 6. Aufl. (1. Aufl. 1943). Science Paperbacks. London, Great Britain. 267 S.
- MEYER, H.A. (1933): Eine mathematische-statistische Untersuchung über den Aufbau des Plenterwaldes. Schweiz. Z. Forstwes. 84: 33-46/88-103/124-131.
- MITSCHERLICH, G. (1961): Untersuchungen in Plenterwäldern des Schwarzwaldes. Die Versuchsflächen Wolfach 3/II und Freudenstadt, Plenterwald 5. Allg. Forst- u. J. Ztg. 132 (3/4): 61-73/85-96.
- MITSCHERLICH, G. (1963): Untersuchungen in Schlag- und Plenterwäldern. Allg. Forst- u. J. Ztg. 134 (1): 1-12.
- MONTALDO, P. (1951): Condiciones ecológicas y dasonómicas de la especie *Araucaria araucana* (Mol.) Koch. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 135 S.
- MONTALDO, P. (1974): La bio-ecológica de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch. Bol. Inst. Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación. Venezuela. 46-48: 3-55.
- MOONEY, H.A. (1977): Convergent Evolution in Chile and California mediterranean climate ecosystems. ed. Dowden, Hutchinson and Ross. Stroudsburg, Pennsylvania.
- MORALES, J. (1983): Estudio de crecimiento de *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser, en un bosque virgen de *A. araucana-N. pumilio* en el sector de Lonquimay, IX Región. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 81 S.
- MORISITA, M. (1959) : Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. Mem. Fac. Sci. Kyuchu. Univ. Ser. E. Biology. 2: 215-235.
- MUÑOZ, R. (1984): Análisis de la productividad de semillas de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch en el área de Lonquimay-IX Región. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 98 S.
- MUTARELLI, E. (1966): Algunos aspectos dasométricos y dendrológicos de *Araucaria araucana*. Revista Forestal Argentina. 10: 96-103.
- MUTARELLI, E. und ORFILA, E. (1970): Ensayo de tratamientos experimentales en bosque de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch en la zona del lago Moquehue. Neuquén, Argentina. Revista Forestal Argentina. 14: 109-123.
- MUTARELLI, E. und ORFILA, E. (1971): Observaciones sobre la regeneración de Lenga en parcelas experimentales del Lago Mascaradi, Argentina. Revista Forestal Argentina. 15: 69-78.
- NEGER, F.W. und MÜNCH, E. (1952): Die Nadelhölzer (Koniferen) und übrigen Gymnospermen. Sammlung Göschen, Band 355. Berlin, Deutschland. 140 S.
- NIELSEN, U. (1963): Crecimiento y propiedades de la especie *Araucaria araucana*. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 77 S.

- OBERDORFER, E. (1960): Pflanzensoziologische Studien in Chile. Flora et Vegetatio Mundi II. Verlag J. Cramer. Weinheim, Deutschland. 208 S.
- OJEDA, J.F. (1989): Plan de Manejo y volúmenes disponibles en el predio Quinquén. Solicitud aprobada por CONAF IX Región para al corta y reforestación de un bosque nativo del tipo forestal Araucaria. Anexo 5. Certificado 6801. Corporación Nacional Forestal. Región IX.
- OLBERG, A. (1955): Ein neuer Vorschlag für ein Baumklassensystem. Allg. Forst- u. J. Ztg. 126: 65-67.
- ORFILA, E. (1970): Tabla local de cubicación para *Araucaria araucana* (Mol.) Koch en la zona del Lago Moquehue, Neuquén, Argentina. Revista Forestal Argentina. 14 (3): 69-81.
- OTTO, H. (1994): Waldökologie. Eugen Ulmer Verlag. Stuttgart, Deutschland. 391 S.
- PERALTA, M. (1980): Geomorfología, clima y suelos del tipo forestal Araucaria en Lonquimay. Departamento de Silvicultura. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. Boletín Técnico 57. 35 S.
- PRETZSCH, H. (1981): Ertragskundliche Merkmale des Plenterwaldversuches Kreuzberger Forst. Diplomarbeit. Forstwissenschaftliche Fakultät. Ludwig-Maximilians Universität München. München, Deutschland. 154 S. Unveröffentlicht.
- PRETZSCH, H. (1985): Die Fichten-Tannen-Buchen-Plenterwaldversuche in den ostbayerischen Forstämtern Freyung und Bodenmais. Forstarchiv. 56: 3-9.
- PRETZSCH, H. und UTSCHIG, H. (1989): Das „Zuwachs-Verfahren“ für die Abschätzung krankheitsbedingter Zuwachsverluste auf den Fichten- und Kiefern-Weiserflächen in den bayerischen Schadgebieten. Forstarchiv. 60: 188-193.
- PRETZSCH, H. und BACHMANN, M. (2000): Exkursionsführer MWW-EF53/3: Plenterwaldversuch Kreuzberger Forst FRY 129, Forstamt Freyung. 17 S. Unveröffentlicht.
- PRODAN, M. (1947): Der Stärkezuwachs in Plenterbeständen, Schw. Z. f. F. 275-288.
- PRODAN, M. (1949 [a]): Die theoretische Bestimmung des Gleichgewichtszustandes im Plenterwald. Schweiz. Z. Forstwes. 100: 81-99.
- PRODAN, M. (1949 [b]): Normalisierung des Plenterwaldes? Schriftenreihe der Badischen Forstlichen Versuchsanstalt. Freiburg im Breisgau, Deutschland. Heft 7. 21 S.
- PUENTE, M. (1980): Utilización de un bosuqe del tipo forestal Araucaria con criterios de permanencia. Departamento de Silvicultura. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. Boletín Técnico 57. 22 S.
- RECHENE, C. (2000): Estudio sobre los bosques de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch en Argentina. In Druck.
- RODRIGUEZ, R., MATHEI, O. y QUEZADA, M. (1983): Flora arbórea de Chile. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 94 S.
- SACHS, L. (1974): Angewandte Statistik. 4. Aufl. (1. Aufl. 1968). Springer Verlag. Berlin, Heidelberg und New York. 545 S.

- SAFAR, J. (1954): Die Entwicklung des Tannenjungwuchses in den Plenterwäldern Kroatiens. Schweiz. Z. Forstwes. 105 (11/12): 592-613/712-733.
- SAUKEL, F.P. (1959): Plenterwaldbestände des Bayerischen Waldes. Forstwissenschaftliches Centrallblatt. 78: 279-297.
- SCHILLING, G. und DONOSO, C. (1976): Reproducción vegetativa natural de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch. Inv. Agric. 2 (3): 121-122.
- SCHLEGEL, F., VELEN, T.T. und ESCOBAR, B. (1979): Estudio ecológico de la estructura, composición, semillación y regeneración del bosque de Lenga (*Nothofagus pumilio*). Informe Convenio 8. Serie Técnica. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 40 S.
- SCHMIDT, H. (1977): Dinámica de un bosque virgen de Araucaria-Lenga (Chile). Bosque. 2 (1): 3-11.
- SCHMIDT, H. und CALDENTEY, J. (1994): Apuntes Tercer Curso Silvicultura de los Bosques de Lenga. Corporación Nacional Forestal; Corporación Nacional de la Madera - Austral; Universidad de Chile. Punta Arenas, Chile. 95 S.
- SCHMIDT, H. und CAMPOS, E. (1987): Regeneración en un bosque de Araucaria-Lenga: 5. Período vegetativo 1985-1986. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 24 S.
- SCHMIDT, H. und CAMPOS, E. (1988): Regeneración en un bosque de Araucaria-Lenga: 6. Período vegetativo 1987-1988. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 15 S.
- SCHMIDT, H. und CARO, M.P. (1998): Producción de semillas de *Araucaria araucana* bajo condiciones silviculturales. Trabajo presentado al Primer Congreso Latinoamericano IUFRO. Valdivia, Chile. 7 S.
- SCHMIDT, H., TORAL, M. und BURGOS, P. (1977): Silvicultura y uso de bosques de Araucaria. Región de Lonquimay. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 28 S.
- SCHMIDT, H., TORAL, M. und BURGOS, P. (1980): Aspectos de estructura y de regeneración natural para el manejo silvícola de los bosques de Araucaria-Lenga de Chile. IUFRO Meeting: Forestry Problems of the Genus *Araucaria*. Curitiba, Brasilien. 59-166.
- SCHMIDT, H. und URZÚA, A. (1982): Transformación y manejo de los bosques de Lenga en Magallanes. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. Ciencia Agrícolas. 11: 62 S.
- SCHMIDT, H., URZÚA, A., BURGOS, P. und MUÑOZ, R. (1982): Regeneración en un bosque de Araucaria-Lenga: 2. Instalación del ensayo. Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/76/003. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 80 S.
- SCHMIDT-VOGT, H., (1991): Naturnahe Fichtenwirtschaft. Wilhelm Munker Stiftung. Siegen, Deutschland. Heft.31. 55 S.

- SCHMITHÜSEN, J. (1960): Die Nadelhölzer in den Waldgesellschaften der südlichen Anden. *Vegetatio*. 9: 313-327.
- SCHMITHÜSEN, J. (1978): Konkurrenz als begrenzender Faktor bei Restarealen alter Koniferentaxa mit einem Ausblick auf ökologische Konsequenzen für die Forstwirtschaft. In: TROLL, C. und LAUER, W. (Hrsg.): *Geoökologische Beziehungen zwischen der temperierten Zone der Südhalbkugel und den Tropengebirge*. Erdwissenschaftliche Forschung. Wiesbaden, Deutschland. 11: 124-134.
- SCHUBERT, R. und WAGNER, G. (1984): *Pflanzennamen und botanische Fachwörter*. Neuman Verlag, Leipzig, Deutschland. 662 S.
- SCHÜTZ, J. P. (1989): Der Plenterbetrieb. Deutsche Übersetzung von Chr. Dietz. Unterlage zur Vorlesung Waldbau III, Waldverjüngung und zu SANASILVA-Fortbildungskursen. Zürich: Fachbereich Waldbau, ETH Zürich. Unveröffentlicht.
- SCHÜTZ, J. P. (1992): Die waldbaulichen Formen und die Grenzen der Plenterung mit Laubbaumarten. *Schweiz. Z. Forstwes.* 143 (6): 442-460.
- SCHÜTZ, J. P. (1994): Geschichtlicher Hergang und aktuelle Bedeutung der Plenterung in Europa. *Allg. Forst- u. J. Ztg.* 165 (5-6): 106-114.
- SEIBERT, P. (1993): Historische Veränderungen der Vegetation in Südamerika. Rundgespräch der Kommission für Ökologie. Band 7 „Probleme der Umweltforschung in historischer Sicht“. Verlag Dr. Friedrich Pfeil. München, Deutschland. 181-192 S.
- SEITZ, R. (1983): Hat die Araukarie in Brasilien noch Zukunft? *Allgemeine Forstzeitschrift*. 38: 177-181.
- SOMMER, H.G. (1961): Tannenkronen im Plenterwald. *Forstwissenschaftliches Centrallblatt*. 80: 215-223.
- SOMMER, H.G. (1962): Alter und Baumhöhen in Plenterbeständen. *Forstwissenschaftliches Centrallblatt*. 81: 11-17.
- SPIECKER, H. (1986): Das Wachstum der Tanne und Fichten auf Plenterwald Versuchsflächen des Schwarzwaldes in der Zeit 1950-1984. *Allg. Forst- u. J. Ztg.* 157 (8): 152-164.
- STRASBURGER, E., NOLL, F., SCHENCK, H. und SCHIMPER, A.F.W. (1991): *Lehrbuch der Botanik für Hochschulen*. 33. Aufl. (1. Aufl. 1894). Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, Deutschland. 589 S.
- TRAVERSO, P. (1982): Estudio de competencia en renovales de *Nothofagus pumilio* (Poepp. Et Endl.) Krasser, en la XI Región. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 95 S.
- URIARTE, A. (1987): Crecimiento y calidad de la regeneración en renovales de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. Et Endl.) Krasser), en bosques secundarios de la provincia de Última Esperanza, XII Región. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 102 S.

- URIARTE, A. und GROSSE, H. (1991): Los bosques de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. Et Endl.) Krasser). Una orientación para su uso y manejo. Informe Técnico 126. Instituto Forestal. Concepción, Chile 92 S.
- VALENZUELA, R. (1984): Algunas concepciones de los mapuches cordilleranos respecto a la *Araucaria araucana*. Medio Ambiente. 7 (1): 65-68.
- VEBLEN, T.T. (1979): Structure and dynamics of *Nothofagus* forests near timberline in south-central Chile. Ecology. 60 (5): 937-940.
- VEBLEN, T.T. (1982): Regeneration patterns in *Araucaria araucana* forests in Chile. Journal of Biogeography. 9:11-28.
- VEBLEN, T.T. und SCHLEGEL, F. (1982): Reseña ecológica de los bosques del sur de Chile. Bosque. 4 (2): 73-115.
- VEBLEN, T.T., ASHTON, D., SCHLEGEL, F. und VEBLEN, A. (1977): Distribution and dominance of species in the understorey of a mixed evergreen deciduous *Nothofagus* forest in south-central Chile. Journal of Ecology. 65: 815-830.
- VEIT, H. und GARLEFT, H. (1996): División geológico-geomorfológico de la región de los bosques templados. Ecología de los bosques nativos de Chile. Armesto, Villagrán und Arroyo. 30-49 S.
- VERA, O. (1985): Evaluación de intervenciones silvícolas en un renoval mixto de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. Et Endl.) Krasser) y Coigue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.), ubicado en la Reserva Forestal Coyhaique, XI Región. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 108 S.
- VÖLKEL, U. (1995): Analyse der Verjüngung in ausgewählten Bereichen des Kreuzberger Plenterwaldes. Diplomarbeit. Forstwissenschaftliche Fakultät. Ludwig-Maximilians Universität München. Freising, Deutschland. 94 S. Unveröffentlicht.
- WACHTEL, G. (1990): Untersuchungen zur Struktur und Dynamik eines Araukarien-Naturwaldes in Südbrasilien. Dissertation. Forstwissenschaftliche Fakultät. Albert-Ludwigs Universität Freiburg. Freiburg im Breisgau, Deutschland. 176 S.
- WATANABE, M. (1997): Ecological Characteristics of *Chusquea quila* Kunth from Central-South Chile. Bamboo Journal. 14: 1-14.
- WEBER, E. (1986): Grundriss der biologischen Statistik. 9. Aufl. (1. Aufl. 1948). Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, Deutschland. 652 S.
- WECK, J. (1957): Die Wälder der Erde. Springer Verlag. Berlin-Göttingen-Heidelberg, Deutschland. 145 S.
- WEISCHET, W. (1970): Chile, seine länderkundliche Individualität und Struktur. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt. Darmstadt, Deutschland. 618 S.
- WERNER, W. (1992): Naturwälder mit *Araucaria araucana* (Mol.) Koch. in Chile. Auswirkung verschiedener Schirmstellungen auf das Höhenwachstum ihrer Verjüngung. Diplomarbeit. Forstwissenschaftliche Fakultät. Ludwig-Maximilians Universität München. München, Deutschland. 91 S. Unveröffentlicht.

- WHILHELM, E. (1968): Fire ecology of the Valdivian Rain Forest“. Proceedings 8th Conference of Tall Timbers Fire Ecology. 55-70 S.
- WHITMORE, T.C. (1975): Tropical rain forests of the Far East. Oxford. England.
- WHITTAKER, R.H. (1975): Communities and Ecosystems. The Macmillan Company. Collier Macmillan Current Concepts in Biology. Macmillan Series. New York, USA.
- ZIMMERLE, H. (1950): Die Stammform der Weißtanne im Hochwald und im Plenterwald und diejenige der Fichte zum Vergleich. Allg. Forst- u. J. Ztg.. 121/122: 107-118.

## 8 Anhang

### 1 Stammzahl der Versuchsflächen vor und nach der Anlage der Behandlungen

Behandlung	Versuchsfläche	Stammzahl (St./ha)					
		Vor der Behandlung			Nach der Behandlung		
		<i>A. araucan</i>	<i>N. pumilio</i>	Gesamt	<i>A. araucan</i>	<i>N. pumilio</i>	Gesamt
Kontrolle	K-I	204	159	363	204	159	363
	K-II	191	208	399	191	208	399
	K-III	183	184	367	183	184	367
Mittlere Grundflächenhaltung	M-I	202	283	485	184	169	353
	M-II	404	127	531	368	121	489
	M-III	308	106	414	284	103	387
Geringe Grundflächenhaltung	G-I	315	130	445	248	106	354
	G-II	239	119	358	180	117	297
	G-III	362	236	598	309	235	544

**Tab. 1:** Stammzahl der neun untersuchten Versuchsflächen vor und nach der Anlage der Behandlungen

**2 Parameter und Signifikanzniveaus der Indikatorvariablen und Wechselwirkungen der Zusammenhänge zwischen den untersuchten abhängigen Variablen und dem Brusthöhdurchmesser**

Abhängige Variable	Y	h/d	Kronenbreite	Kronenlänge	Bekronungsgrad	Spreitungsgrad	Plumpheitsgrad	Ausladungsverhältnis	BHDZuwachs
Unabhängige Variable	X	BHD							AusgangsBHD
Ausgewählte Transformation	Y	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)
	X	LN (X)	(X)	(X)	(X)	(X) + (X <sup>2</sup> )	LN (X)	LN (X)	(X) + (X <sup>2</sup> )

Indikatorvariablen Wechselwirkungen	Parameter								
b0	79,39421	1,48911	1,75637	29,23956	31,85335	76,84595	24,28358	1,14450	
X	-10,98127	0,03906	0,03983	-0,07211	-0,36208	2,23298	-4,08169	0,03416	
X <sup>2</sup>					0,00226			-0,00026	
Z1	-8,32923	-0,27726	-0,34769	-3,35906	-1,38692	18,82872	-1,70374	-0,21278	
Z2	-7,07768	-0,28196	-0,32141	-3,47250	-3,10027	17,41716	-2,67127	-0,09338	
Z3	4,09367	-0,12002	-0,13461	-2,05133	-3,00540	5,52864	-0,98742	-0,10413	
Z4				-2,78600	-1,35000			-0,10819	
Z5	1,78667	-0,08787	-0,10322	-1,89700	-2,11380	5,59764	-1,01538	-0,08790	
Z6			-0,17905					0,12140	
Z7				-1,21300	-0,79844	4,13535			
Z8								0,08445	
X Z1	1,65270	-0,00390	-0,00801	-0,00956	-0,03856	-3,55612	0,17182	-0,00339	
X Z2	1,35177	-0,00363	-0,00611	0,00953	0,01360	-2,11992	0,43757	-0,00553	
X Z3	-0,84667	0,00047		0,01440	0,04248	-1,51176	0,20007	-0,00687	
X Z4				0,02210				-0,00541	
X Z5	-0,33133	0,00018	-0,00006	0,02140	0,05600	-1,32687	0,25247	-0,00725	
X Z6			0,00100					-0,00715	
X Z7				0,01437		-0,43061		-0,00467	
X Z8								-0,01021	
X <sup>2</sup> Z1					0,00040			-0,00001	
X <sup>2</sup> Z2					0,00007			0,00003	
X <sup>2</sup> Z3					-0,00021			0,00005	
X <sup>2</sup> Z4								0,00005	
X <sup>2</sup> Z5					-0,00045			0,00007	
X <sup>2</sup> Z6								0,00006	
X <sup>2</sup> Z7								0,00004	
X <sup>2</sup> Z8								0,00010	

Tab. 2: **Parameter** der Indikatorvariablen und Wechselwirkungen der Zusammenhänge zwischen den untersuchten abhängigen Variablen und dem **BHD** bei *A.araucana*

Abhängige Variable	Y	h/d	Kronenbreite	Kronenlänge	Bekronungsgrad	Spreitungsgrad	Plumpheitsgrad	Ausladungsverhältnis	BHDZuwachs
Unabhängige Variable	X	BHD							AusgangsBHD
Ausgewählte Transformation	Y	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)
	X	LN (X)	(X)	(X)	(X)	(X) + (X <sup>2</sup> )	LN (X)	LN (X)	(X) + (X <sup>2</sup> )
adjustierter R <sup>2</sup>		0,662	0,720	0,671	0,145	0,295	0,327	0,395	0,678
F Global		***	***	***	***	***	***	***	***

Indikatorvariablen Wechselwirkungen	Signifikanzniveau								
b0	***	***	***	***	***	***	***	***	***
X	***	***	***	***	***	***	***	***	***
X <sup>2</sup>					***				***
Z1	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Z2	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Z3	***	*	**	***	***	***	***	*	***
Z4	n.s.	n.s.	n.s.	***	*	n.s.	n.s.	n.s.	**
Z5	*	*	**	*	***	***	**	***	***
Z6	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**
Z7	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	***	n.s.	n.s.	n.s.
Z8	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
X Z1	***	***	***	***	***	***	***	***	***
X Z2	***	***	***	***	*	***	***	***	***
X Z3	**	*	n.s.	***	***	**	**	**	***
X Z4	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**
X Z5	*	*	*	**	**	***	***	***	***
X Z6	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**
X Z7	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	**	n.s.	n.s.	**
X Z8	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***
X <sup>2</sup> Z1					***				*
X <sup>2</sup> Z2					*				**
X <sup>2</sup> Z3					**				**
X <sup>2</sup> Z4					n.s.				**
X <sup>2</sup> Z5					***				***
X <sup>2</sup> Z6					n.s.				**
X <sup>2</sup> Z7					n.s.				*
X <sup>2</sup> Z8					n.s.				***

Signifikanzniveau: \*\*\* bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,001  
 \*\* bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01  
 \* bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05  
 n.s. = nicht signifikant

Tab. 3: **Signifikanzniveau** der Parameter der Indikatorvariablen und Wechselwirkungen der Zusammenhänge zwischen den untersuchten abhängigen Variablen und dem **BHD** bei *A. araucana*

Abhängige Variable	Y	h/d	Kronenbreite	Kronenlänge	Bekronungsgrad	Spreitungsgrad	Plumpheitsgrad	Ausladungsverhältnis	BHDZuwachs
Unabhängige Variable	X	BHD							AusgangsBHD
Ausgewählte Transformation	Y	( Y )	( Y )	( Y )	( Y )	( Y )		( Y )	( Y )
	X	LN ( X )	( X )	( X )	( X )	( X ) + ( X <sup>2</sup> )		LN ( X )	( X ) + ( X <sup>2</sup> )

Indikatorvariablen Wechselwirkungen	Parameter							
b0	156,95632	1,83502	2,34016	33,93712	28,64273		38,91337	2,72087
X	-28,12421	0,04901	0,07476	-0,02689	-0,29176		-6,94516	0,02410
X <sup>2</sup>					0,00206			-0,00026
Z1	-15,16927	0,25512	0,57869	6,73218	6,01058		3,52381	0,43773
Z2	-21,64100	0,12125	0,80130	8,84104	7,01852		1,51075	0,43501
Z3		0,06443		1,18402	1,05600		1,98485	0,08290
Z4								0,18859
Z5	-6,09653	0,09249	0,16648	2,19665	1,75071		2,00100	0,46751
Z6								0,07511
Z7	-8,64740	0,19655	0,14621	3,39533	2,94775		3,09531	0,56463
Z8		0,09799	0,29156		1,84072		2,01887	0,43293
X Z1	3,23540	0,00896	0,01131	-0,00710	-0,05572		-0,44458	-0,00208
X Z2	4,38485	0,01408	0,01416	-0,01520	-0,05567		0,13390	0,00177
X Z3		0,00059		-0,00347	-0,01936		-0,45570	0,00917
X Z4								0,00501
X Z5	1,40133	0,00018	-0,00133	-0,01995	-0,03253		-0,41458	-0,00347
X Z6		0,00171						0,01022
X Z7	1,80698	-0,00086	0,00038	-0,02840	-0,05895		-0,58948	-0,00181
X Z8		0,00059	-0,00131		-0,02924		-0,39655	-0,00329
X <sup>2</sup> Z1					0,00027			0,00004
X <sup>2</sup> Z2					0,00019			
X <sup>2</sup> Z3					0,00017			-0,00010
X <sup>2</sup> Z4								-0,00009
X <sup>2</sup> Z5					0,00022			0,00002
X <sup>2</sup> Z6								-0,00009
X <sup>2</sup> Z7					0,00033			-0,00001
X <sup>2</sup> Z8					0,00014			0,00001

Tab.4: **Parameter** der Indikatorvariablen und Wechselwirkungen der Zusammenhänge zwischen den untersuchten abhängigen Variablen und dem **BHD** bei *N.pumilio*

Abhängige Variable	Y	h/d	Kronenbreite	Kronenlänge	Bekronungsgrad	Spreitungsgrad	Plumpheitsgrad	Ausladungsverhältnis	BHDZuwachs
Unabhängige Variable	X	BHD							AusgangsBHD
Ausgewählte Transformation	Y	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)		(Y)	(Y)
	X	LN (X)	(X)	(X)	(X)	(X) + (X <sup>2</sup> )		LN (X)	(X) + (X <sup>2</sup> )
adjustierter R <sup>2</sup>		0,724	0,642	0,695	0,186	0,261		0,453	0,523
F Global		***	***	***	***	***		***	***

Indikatorvariablen Wechselwirkungen	Signifikanzniveau							
b0	***	***	***	***	***		***	***
X	***	***	***	***	***		***	***
X <sup>2</sup>					***			***
Z1	***	***	***	***	***		***	***
Z2	***	***	***	***	***		***	***
Z3	n.s.	*	n.s.	**	***		***	**
Z4	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	**
Z5	**	**	*	***	***		***	***
Z6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	*
Z7	***	**	**	***	***		***	**
Z8	n.s.	**	**	n.s.	*		***	**
X Z1	***	***	***	***	***		***	***
X Z2	***	***	***	***	***		***	**
X Z3	n.s.	*	n.s.	*	**		***	**
X Z4	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	*
X Z5	**	**	**	***	***		**	***
X Z6	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	***
X Z7	***	***	*	***	***		***	**
X Z8	n.s.	**	*	n.s.	*		**	**
X <sup>2</sup> Z1					**			***
X <sup>2</sup> Z2					**			n.s.
X <sup>2</sup> Z3					***			***
X <sup>2</sup> Z4					n.s.			***
X <sup>2</sup> Z5					***			*
X <sup>2</sup> Z6					n.s.			***
X <sup>2</sup> Z7					***			*
X <sup>2</sup> Z8					**			**

Signifikanzniveau: \*\*\* bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,001  
 \*\* bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01  
 \* bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05  
 n.s. = nicht signifikant

Tab. 5: **Signifikanzniveau** der Parameter der Indikatorvariablen und Wechselwirkungen der Zusammenhänge zwischen den untersuchten abhängigen Variablen und dem **BHD** bei *N.pumilio*

**3 Parameter und Signifikanzniveaus der Indikatorvariablen und Wechselwirkungen der Zusammenhänge zwischen den untersuchten abhängigen Variablen und der *Baumhöhe***

Abhängige Variable	Y	h/d	Kronenbreite	Kronenlänge	Bekronungsgrad	Spreitungsgrad	Plumpheitsgrad	Ausladungsverhältnis	BHDZuwachs
Unabhängige Variable	X	Höhe							
Ausgewählte Transformation	Y	( Y )	LN ( Y )	LN ( Y )	( Y )	( Y )	( Y )	( Y )	( Y )
	X	LN ( X )	( X )	( X )	( X ) + ( X <sup>2</sup> )	( X ) + ( X <sup>2</sup> )	LN ( X )	LN ( X )	( X ) + ( X <sup>2</sup> )

Indikatorvariablen Wechselwirkungen	Parameter								
b0	66,48449	0,39485	0,41525	42,98399	38,79353	75,69922	18,86269	0,66676	
X	-11,27128	0,04420	0,04658	-1,53911	-1,71586	4,36092	-3,79218	0,17190	
X <sup>2</sup>				0,03057	0,03470			-0,00479	
Z1	-9,16420	-0,13349	-0,25999	-8,58647	-3,01399	16,30721	-2,43548	-0,11091	
Z2	-7,79937	-0,25359	-0,21412	-4,85747	-4,35420	13,92358	-2,34721	-0,03973	
Z3	3,77629	-0,05708	-0,05676	-2,73864	-1,39748	4,76550	-0,83134	-0,15937	
Z4				-1,41798	-0,80858			-0,17212	
Z5	2,76317	-0,04871	-0,06936	-2,21312	-0,80311	4,78768	-0,55346	-0,04306	
Z6						2,32970			
Z7	1,92228					3,60632	-0,88361	0,06031	
Z8									
X Z1	2,31596	0,00042	0,00313	0,19911	0,01661	-4,24700	0,60250	-0,02321	
X Z2	2,02891	0,00455	0,00124	0,05322	0,15589	-2,57024	0,64134	-0,01997	
X Z3	-1,03840	0,00128	0,00133	0,13330	0,06671	-2,57771	0,16866	-0,01221	
X Z4						-0,59363			
X Z5	-0,63523	0,00114	0,00173	0,08067	0,02723	-1,64132	0,02322	-0,02207	
X Z6								-0,01349	
X Z7	-0,68564					-0,62976	0,29423	-0,01982	
X Z8								-0,02902	
X <sup>2</sup> Z1				-0,00149	0,00081			0,00011	
X <sup>2</sup> Z2				0,00072	-0,00237			0,00012	
X <sup>2</sup> Z3				-0,00240	-0,00157			0,00029	
X <sup>2</sup> Z4									
X <sup>2</sup> Z5				-0,00138	-0,00069			0,00067	
X <sup>2</sup> Z6								0,00053	
X <sup>2</sup> Z7								0,00058	
X <sup>2</sup> Z8								0,00113	

Tab. 6: **Parameter** der Indikatorvariablen und Wechselwirkungen der Zusammenhänge zwischen den untersuchten abhängigen Variablen und der **Höhe** bei *A.araucana*

Abhängige Variable	Y	h/d	Kronenbreite	Kronenlänge	Bekronungsgrad	Spreitungsgrad	Plumpheitsgrad	Ausladungsverhältnis	BHDZuwachs
Unabhängige Variable	X	Höhe							
Ausgewählte Transformation	Y	(Y)	LN (Y)	LN (Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)
	X	LN (X)	(X)	(X)	(X) + (X <sup>2</sup> )	(X) + (X <sup>2</sup> )	LN (X)	LN (X)	(X) + (X <sup>2</sup> )
adjustierter R <sup>2</sup>		0,713	0,745	0,654	0,231	0,342	0,412	0,465	0,596
F Global		***	***	***	***	***	***	***	***

Indikatorvariablen Wechselwirkungen	Signifikanzniveau								
b0	***	***	***	***	***	***	***	***	***
X	**	***	***	**	**	***	**	***	
X <sup>2</sup>				**	***			***	
Z1	***	***	***	***	**	***	***	**	
Z2	***	***	***	***	***	**	**	**	
Z3	**	***	***	**	**	**	**	***	
Z4	n.s.	n.s.	n.s.	***	**	n.s.	n.s.	***	
Z5	***	**	***	***	**	***	*	**	
Z6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	
Z7	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	***	**	
Z8	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
X Z1	***	**	***	**	**	***	**	**	
X Z2	***	***	**	***	**	**	**	**	
X Z3	**	*	*	**	***	**	***	***	
X Z4	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	
X Z5	**	**	*	**	**	**	**	***	
X Z6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	
X Z7	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	***	**	
X Z8	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	
X <sup>2</sup> Z1				***	**			**	
X <sup>2</sup> Z2				*	***			**	
X <sup>2</sup> Z3				**	**			**	
X <sup>2</sup> Z4				n.s.	n.s.			n.s.	
X <sup>2</sup> Z5				***	**			***	
X <sup>2</sup> Z6				n.s.	n.s.			**	
X <sup>2</sup> Z7				n.s.	n.s.			**	
X <sup>2</sup> Z8				n.s.	n.s.			***	

Signifikanzniveau: \*\*\* bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,001  
 \*\* bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01  
 \* bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05  
 n.s. = nicht signifikant

Tab. 7: **Signifikanzniveau** der Parameter der Indikatorvariablen und Wechselwirkungen der Zusammenhänge zwischen den untersuchten abhängigen Variablen und der **Höhe** bei *A. araucana*

Abhängige Variable	Y	h/d	Kronenbreite	Kronenlänge	Bekronungsgrad	Spreitungsgrad	Plumpheitsgrad	Ausladungsverhältnis	BHDZuwachs
Unabhängige Variable	X	Höhe							
Ausgewählte Transformation	Y	(Y)	LN (Y)	LN (Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)
	X	LN (X)	(X)	(X)	(X) + (X <sup>2</sup> )	(X) + (X <sup>2</sup> )	LN (X)	LN (X)	(X) + (X <sup>2</sup> )

Indikatorvariablen Wechselwirkungen	Parameter							
b0	144,36820	0,44057	0,36100	45,03828	44,12101		31,28159	2,20002
X	-34,27826	0,05166	0,06564	-1,58708	-1,93803		-7,18059	0,16746
X <sup>2</sup>				0,04321	0,04832			-0,00607
Z1	-11,33772	0,10912	0,30876	9,74072	4,41153		4,32652	0,43378
Z2	-14,67808	0,14816	0,29301	13,86684	7,95835		4,97987	0,49808
Z3			0,08873	1,90304			0,97065	0,07169
Z4								
Z5	-4,42330	0,06964	0,09058	2,92991	2,47463		1,99275	0,54358
Z6								-0,13149
Z7	-4,04346	0,07138	0,06922	4,53148	3,56028		2,55741	0,60589
Z8				4,94687	1,74616		-0,42525	0,57636
X Z1	3,04376	0,00233	-0,00458	-0,34998	-0,10484		-1,08155	
X Z2	3,67849	0,00263	-0,00077	-0,45910	-0,26891		-1,26084	
X Z3			-0,00300	-0,05849			-0,20954	0,03429
X Z4								0,04523
X Z5	1,32350	-0,00212	-0,00275	-0,14718	-0,12686		-0,57560	-0,01334
X Z6								0,07162
X Z7	1,23321	-0,00219	-0,00227	-0,31915	-0,22644		-0,61578	-0,02023
X Z8	-0,42324			-0,61012			0,34405	-0,04411
X <sup>2</sup> Z1				0,00780	0,00258			
X <sup>2</sup> Z2				0,01090	0,00717			-0,00026
X <sup>2</sup> Z3								-0,00133
X <sup>2</sup> Z4								-0,00173
X <sup>2</sup> Z5				0,00315	0,00310			0,00032
X <sup>2</sup> Z6								-0,00251
X <sup>2</sup> Z7				0,00738	0,00584			0,00031
X <sup>2</sup> Z8				0,01663	-0,00119			0,00106

Tab. 8: **Parameter** der Indikatorvariablen und Wechselwirkungen der Zusammenhänge zwischen den untersuchten abhängigen Variablen und der **Höhe** bei *N.pumilio*

Abhängige Variable	Y	h/d	Kronenbreite	Kronenlänge	Bekronungsgrad	Spreitungsgrad	Plumpheitsgrad	Ausladungsverhältnis	BHDZuwachs
Unabhängige Variable	X	Höhe							
Ausgewählte Transformation	Y	(Y)	LN (Y)	LN (Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)	(Y)
	X	LN (X)	(X)	(X)	(X) + (X <sup>2</sup> )	(X) + (X <sup>2</sup> )	LN (X)	LN (X)	(X) + (X <sup>2</sup> )
adjustierter R <sup>2</sup>		0,762	0,682	0,735	0,201	0,295		0,513	0,513
F Global		***	***	***	***	***		***	***

Indikatorvariablen Wechselwirkungen	Signifikanzniveau								
b0	***	***	***	***	***	***		***	***
X	***	***	***	***	***	**		**	***
X <sup>2</sup>					**	**			**
Z1	***	***	***	***	***	***		**	***
Z2	***	***	***	***	***	**		***	***
Z3	n.s.	n.s.	*	**	**	n.s.		**	**
Z4	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.
Z5	**	***	**	***	***	***		**	***
Z6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	**
Z7	**	***	**	***	***	***		***	***
Z8	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***	**		*	***
X Z1	***	**	***	***	***	**		**	n.s.
X Z2	***	**	***	***	***	***		***	n.s.
X Z3	n.s.	n.s.	*	**	**	n.s.		**	**
X Z4	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	***
X Z5	**	*	**	**	**	**		***	**
X Z6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	***
X Z7	***	**	**	***	***	*		***	**
X Z8	**	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.		*	***
X <sup>2</sup> Z1					***	***			n.s.
X <sup>2</sup> Z2					***	**			*
X <sup>2</sup> Z3					n.s.	n.s.			**
X <sup>2</sup> Z4					n.s.	n.s.			**
X <sup>2</sup> Z5					**	*			***
X <sup>2</sup> Z6					n.s.	n.s.			**
X <sup>2</sup> Z7					**	***			**
X <sup>2</sup> Z8					**	**			***

Signifikanzniveau: \*\*\* bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,001  
 \*\* bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01  
 \* bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05  
 n.s. = nicht signifikant

Tab. 9: **Signifikanzniveau** der Parameter der Indikatorvariablen und Wechselwirkungen der Zusammenhänge zwischen den untersuchten abhängigen Variablen und der **Höhe** bei *N.pumilio*

#### 4 Streudiagramme

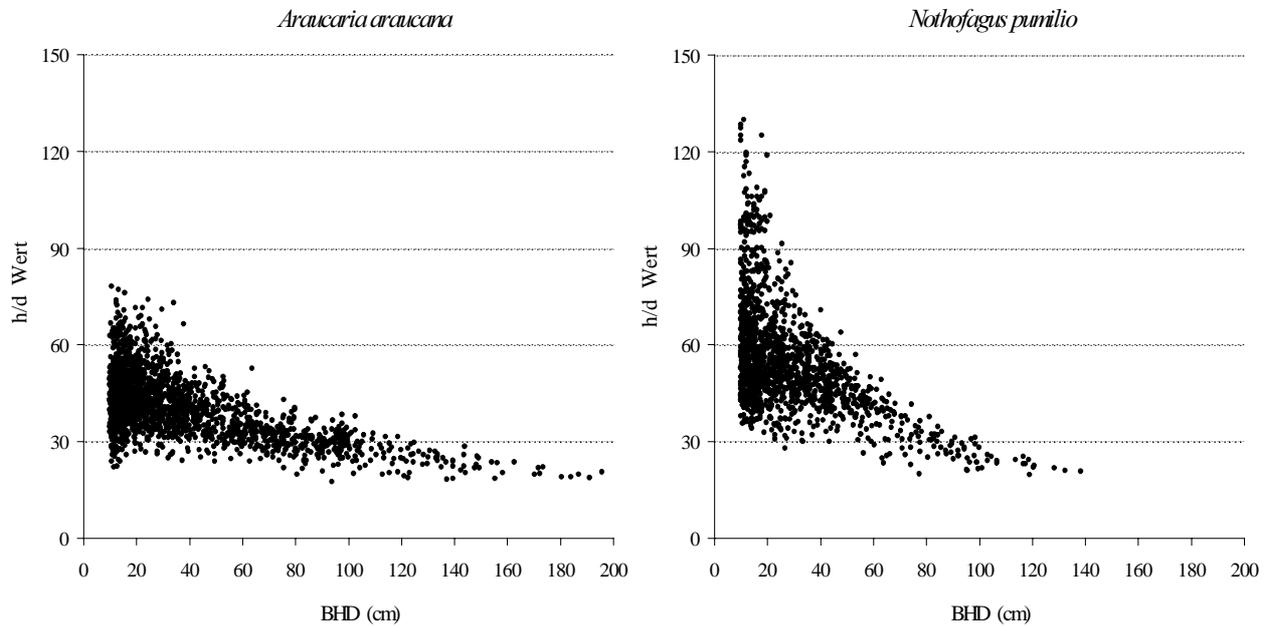


Abb. 1: Streudiagramme für den Zusammenhang zwischen h/d-Wert und BHD für *A. araucana* und *N. pumilio*

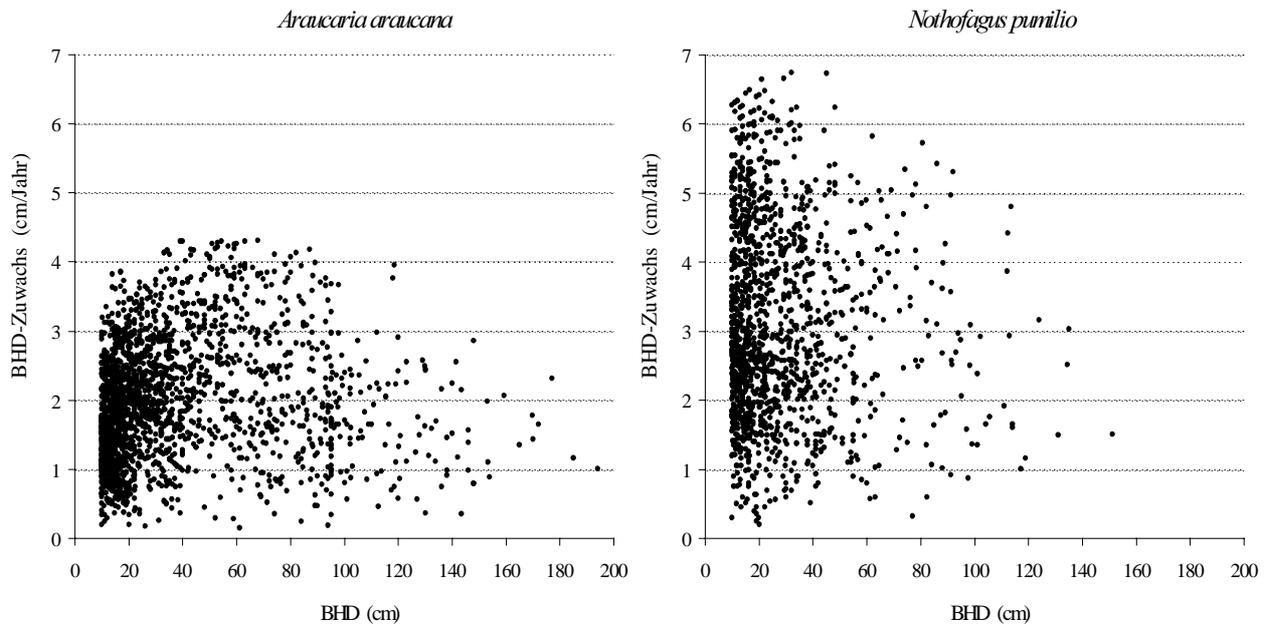


Abb. 2: Streudiagramme für den Zusammenhang zwischen Ausgangs-BHD und BHD-Zuwachs für *A. araucana* und *N. pumilio*

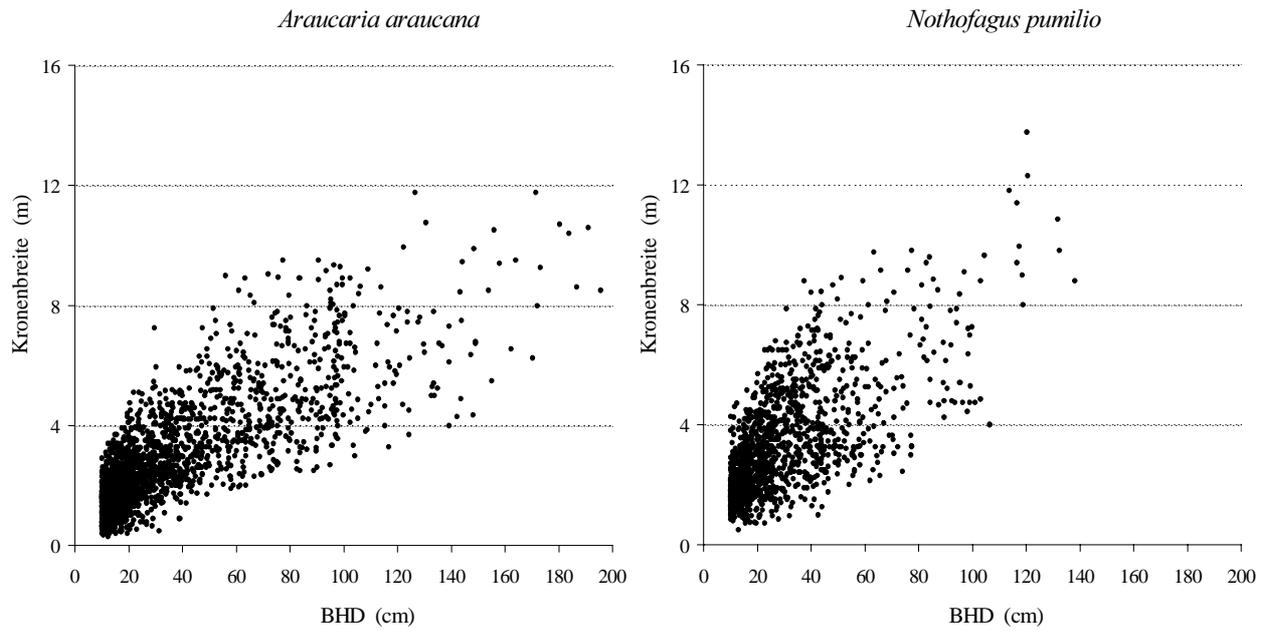


Abb. 3: Streudiagramme für die Zusammenhang zwischen Kronenbreite-BHD für *A.araucana* und *N.pumilio*

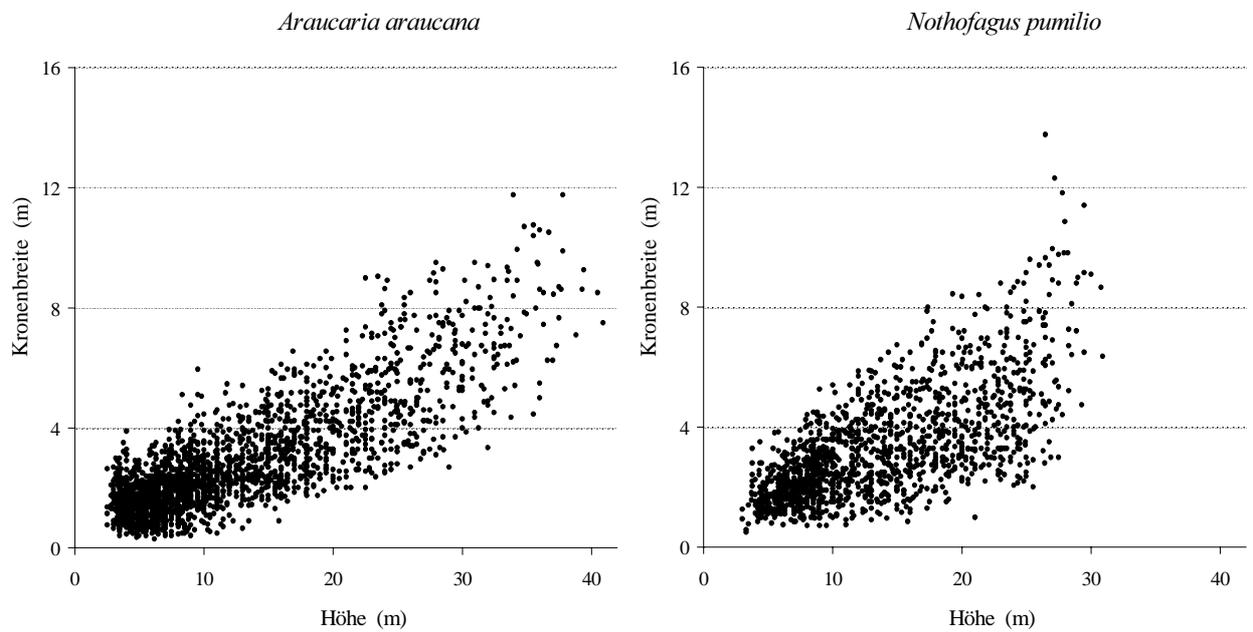


Abb. 4: Streudiagramme für die Zusammenhang zwischen Kronenbreite-Höhe für *A.araucana* und *N.pumilio*

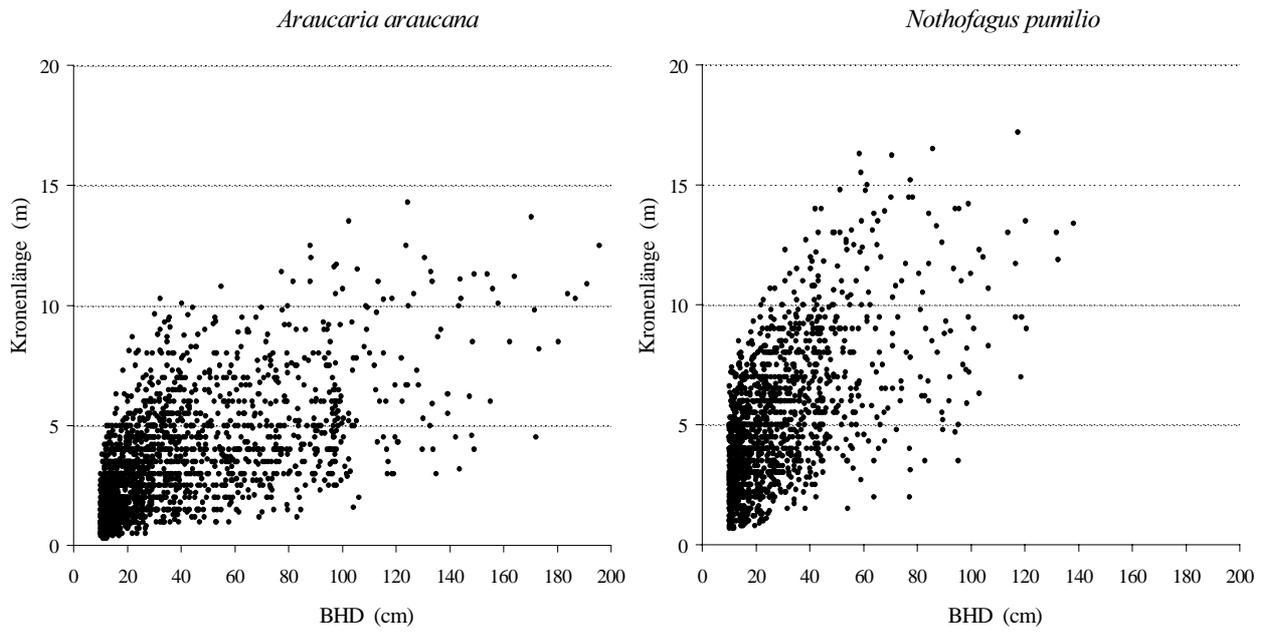


Abb. 5: Streudiagramme für die Zusammenhang zwischen Kronenlänge-BHD für *A.araucana* und *N.pumilio*

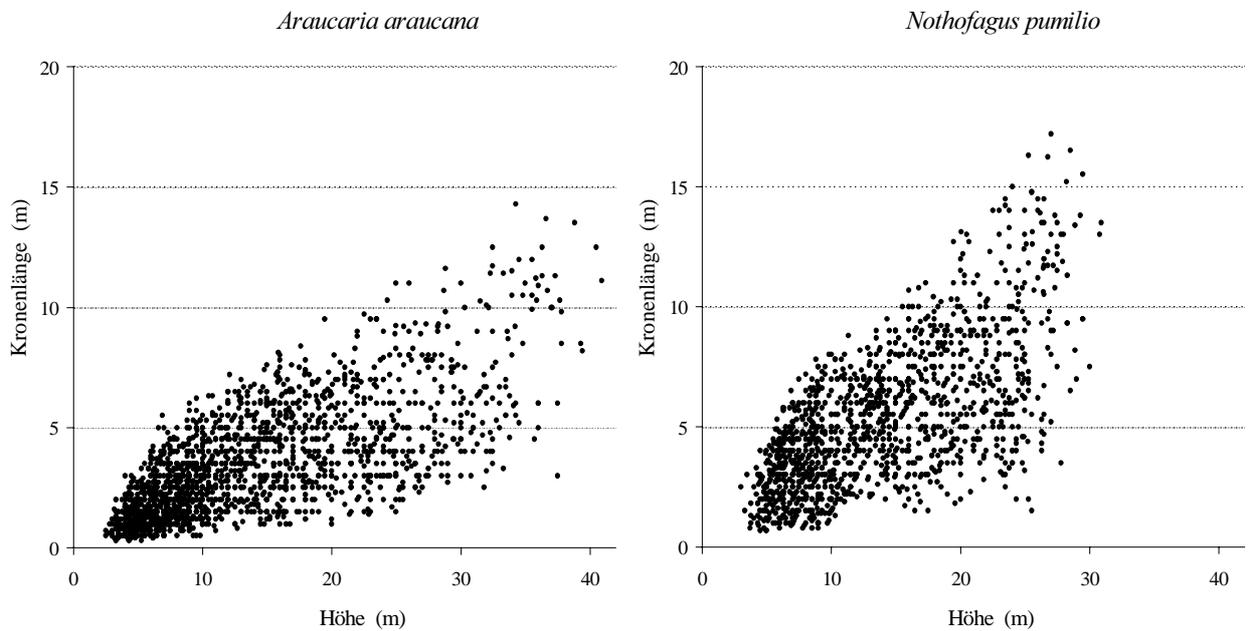


Abb. 6: Streudiagramme für die Zusammenhang zwischen Kronenlänge-Höhe für *A.araucana* und *N.pumilio*

## ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und kein anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Freising, im Oktober 2000

Rodrigo Mujica