

Untersuchungen zur waldbaulichen Behandlung von Nothofagus-Naturwäldern in den südlichen chilenischen Anden

Iván Quiroz-Marchant, Christian Ammer und Reinhard Mosandl
Lehrstuhl für Waldbau und Forsteinrichtung, TU München

1. Einleitung

Das Schwergewicht der Forstwirtschaft in Chile liegt derzeit eindeutig auf der Holzproduktion in Form von Plantagen. Hierfür werden ca. 2,15 Mill. ha genutzt, die in der Vergangenheit mit fremdländischen Baumarten (75 % *Pinus radiata* (D. Don), 18 % *Eucalyptus spp.*) und meist als großflächige Reinbestände aufgeforstet wurden. Die Holzproduktion auf der Grundlage einheimischer Baumarten spielt dagegen eine eher untergeordnete Rolle, obwohl es noch immer ausgedehnte Naturwälder gibt, die für eine Nutzung herangezogen werden könnten. Zu diesen Wäldern zählen zum einen Primärwälder, in denen bislang keine forstliche Nutzung stattgefunden hat und die noch auf ca. 2,0 Millionen ha zu finden sind. Zum zweiten umfassen die Naturwälder die ebenfalls aus heimischen Baumarten aufgebauten sogenannten Sekundärwälder, die nach Exploitation und Brandrodung der Primärwälder aus Naturverjüngung (Kernwuchs und Stockausschlag) auf ca. 3,6 Millionen ha entstanden sind und sich in aller Regel in einem ungepflegten und zum Teil degradierten Zustand befinden. In rund 75 % beider Naturwaldtypen dominiert die Gattung *Nothofagus spp.*, die insbesondere durch die Arten Coigüe (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Blume), Raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst.) und Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. *Var. Obliqua*) vertreten ist (Infor 1996 und Conaf-Conama 1999).

Verfolgt man das Ziel den Flächenbestand der Naturwälder nachhaltig zu sichern, bieten sich zwei Optionen an. Am wirkungsvollsten kann der Erhalt dieser Wälder dadurch erreicht werden, dass sie dauerhaft unter Schutz gestellt werden. Dies wird jedoch nur für einen Teil der Naturwälder zu erreichen sein. Eine zweite Option besteht darin, die Wälder einer nachhaltigen Bewirtschaftung zuzuführen und sie dadurch vor der Rodung oder einer Umwandlung in Plantagen mit fremdländischen Baumarten zu bewahren. Das Grundproblem der aus sozialen und globalökologischen Gründen sinnvollen, geregelten und nachhaltigen Bewirtschaftung von Primär- und Sekundärwäldern liegt nun aber darin, dass von diesen Wäldern eine der Plantagenwirtschaft vergleichbare hohe Rentabilität in einer kurzen Periode verlangt wird, denn viele dieser Wälder gehören Waldeigentümern, deren Absicht die Gewinnmaximierung ist. Dies wird jedoch dadurch erschwert, dass insbesondere die volumenreichen Stämme in den Primärwäldern meistens faul und daher zum großen Teil

wertlos sind. Das in Sekundär- oder Primärwäldern geerntete Holz wird deshalb hauptsächlich zur Gewinnung von Brennholz (7,0 Mill. m³) und Hackschnitzeln (2,5 Millionen m³) und nur in geringem Umfang (0,5 Mill. m³) zu Sägeholz verarbeitet (Infor 1996). Das zweite Erschwernis einer nachhaltigen und gleichzeitig profitablen Bewirtschaftung der Naturwälder besteht darin, dass in Chile nur wenige Studien vorliegen, die sich mit den waldbaulichen Methoden der Überführung von Naturwäldern in Wirtschaftswälder bzw. mit deren nachhaltiger Bewirtschaftung befassen (v. Buch und Osorio 1987; Burschel et al. 1991; Csapek 1991; Cruiz 1993; Pokorny 1995 und 1997).

Ausgehend von der These, dass – vom dauerhaften Schutz abgesehen – nur eine profitable Bewirtschaftung der noch vorhandenen Primär- und Sekundärwälder den Erhalt einer naturnahen Waldbestockung sichern kann, bestand das Ziel der vorliegenden Untersuchung darin, verschiedene Verjüngungs- und Pflegemaßnahmen auf ihre ökonomische und ökologische Tauglichkeit hin zu prüfen. Im einzelnen sollten die folgenden Fragen geklärt werden:

- 1) Sind Schirm-, Loch- und Kulissenhiebe geeignete und profitable Verfahren zur Verjüngung von **Nothofagus-Primärwäldern** in den chilenischen Anden?
- 2) Sind Z-Baum Durchforstung, Loch- und Kulissenhieb bei der Behandlung von **Nothofagus-Sekundärwäldern** der chilenischen Anden aus waldbaulicher und ökonomischer Sicht zu empfehlen?

2. Material und Methoden

2.1. Untersuchungsgebiet

Lage: Die Untersuchungen konzentrierten sich auf drei Versuchsstandorte. Dies sind: Neltume (150 km östlich von Valdivia (39° 51' S und 71° 50' W)), Melipeuco (85 km östlich der Stadt Temuco (38° 45' S und 71° 55' W)) und Jauja (70 km östlich der Stadt Collipulli (38° 10' S und 72° 00' W)).

Geologie und Böden: Vulkanische Aschen (Andeps, Andosole) bildeten das wichtigste Ausgangsmaterial für die Entstehung der zentral- und südchilenischen Böden (Weinberger und Binsack 1970; v. Buch 1970). Dies gilt auch für das Untersuchungsgebiet. Die Standorte zeichnen sich durch einen hohen Lehmanteil und einen hohen Gehalt an leicht verwitterbaren Mineralen aus (v. Buch 1970; Veit und Garleff 1996).

Klima: Das Untersuchungsgebiet ist durch ein „mediterranes“ Klima geprägt (Tab. 1). Es zeichnet sich aus durch hohe Niederschläge im Herbst und Winter, bei Regenarmut und hohen Temperaturen im Sommer (Almeyda und Saez 1958; Di Castri und Hajek 1976).

Versuchsstandort	Jahresdurchschnitt		Frühling		Sommer		Herbst		Winter	
	T (°C)	N (mm)	T (°C)	N (mm)	T (°C)	N (mm)	T (°C)	N (mm)	T (°C)	N (mm)
Neltume	11,5	4000	9,5	900	14,5	500	9,5	1150	4,5	1450
Melipeuco	13,0	3000	9,5	750	14,5	200	10,5	800	4,5	1250
Jauja	12,5	2500	11,5	550	15,5	275	10,5	600	5,5	1050

Tabelle 1: Durchschnittliche Niederschlags- und Temperaturwerte im Untersuchungsgebiet (nach Huber 1975)

Waldgesellschaften: Nach Schmithüsen (1956) ist das Gebiet um Neltume den „immergrünen Regenwäldern“, die Gegend um Melipeuco und Jauja den „sommergrünen Laubwäldern“ zuzuordnen. Nach der gesetzlichen Forstklassifikation Chiles handelt es sich am Standort Neltume um den Typ „Coigüe-Raulí-Tepa“, in Jauja und Melipeuco um den Typ „Roble-Raulí-Coigüe“, Subtyp Renovales.

2.2. Versuchsanlage

2.2.1. Versuchsbestände im Nothofagus-Primärwald

Am Versuchsstandort **Neltume** konzentrierten sich die Untersuchungen auf einen typischen ca. 300-jährigen und ca. 32 ha großen Coigüebestand (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Blume), in einer Höhenlage von 1000 m ü. NN. Dieser Bestand wurde zu Versuchsbeginn 1994 in Abhängigkeit der topographischen Gegebenheiten in drei Sektoren unterteilt. Im Sektor I (9,4 ha Größe) wurden sogenannte Kulissenhiebe geführt. Unter Kulissen sind dabei 60 m breite und 260 m lange Bestandesstreifen zu verstehen, die nach Ausführung von parallel verlaufenden, 60 m breiten Streifenkahlschlägen belassen wurden. Entsprechend dem örtlich üblichen Vorgehen wurde auf insgesamt 14,0 ha des Sektors II ein Schirmhieb durchgeführt. Zusätzliche 3,0 ha dieses Sektors blieben unberührt (Kontrollfläche). Im dritten Sektor (5,8 ha) wurden Lochhiebe geführt. Es entstanden vier Löcher mit einem Durchmesser von jeweils 60 m, deren Mittelpunkte 120 m voneinander entfernt lagen; jedes Loch war demnach von einem mindestens 60 m breiten unberührten Bestand umgeben.

Die Hiebsmaßnahmen erfolgten im Juli 1994 durch einen Forstunternehmer, wobei drei verschiedene Holzsortimente (Furnier-, Säge- und Papierholz) ausgehalten wurden. Im Herbst 1996 (April) wurden auf allen Schlägen, d. h. auf den zwischen den Kulissen freigelegten Streifen in Sektor I, unter dem aufgelichteten Bestandesschirm in Sektor II und in den

Lochern von Sektor III, zweijährige, 50-80 cm hohe Raulí-Pflanzen im Verband 3 x 3 m ausgebracht. Zur dauerhaften Beobachtung von Verjüngungsentwicklung und Bodenvegetation wurden im Mai 1996 in jedem der drei Sektoren sowie auf der 3 ha großen Kontrollfläche je 4 rechteckige Parzellen von je 1000 m² Größe eingerichtet. In Sektor II und auf der Kontrollfläche waren diese Parzellen in regelmäßigem Abstand über die gesamte Fläche verteilt, in Sektor I und III waren sie auf die zwischen den Kulissen gelegenen Streifen bzw. die Löcher beschränkt. Zur Erfassung der Bodenvegetation und der natürlichen Verjüngung wurden auf jeder Parzelle 9 Probekreise von 5 m² Größe im Abstand von 4,0 m markiert.

2.2.2. Versuchsbestände im Nothofagus-Sekundärwald

Die Versuchsanlage **Melipeuco** umfasst zwei 55-jährige Sekundärwälder auf einer Meereshöhe von ca. 700 m über NN. Sie besteht aus zwei Teilflächen: „Melipeuco-Lobería“ wurde analog zum Vorgehen in Neltume in eine 0,3 ha große Kontrollfläche und eine 2,16 ha große Bestandesfläche aufgeteilt, auf der im Jahr 1994 Lochhiebe (6 gleichmäßig verteilte Löcher mit einem Durchmesser von je 30 m) durchgeführt wurden. Die Teilfläche „Melipeuco-Rosario“ bezeichnet einen Bestand, der ebenfalls in eine 0,3 ha große Kontrollfläche und eine Hiebsfläche von insgesamt 3,6 ha unterteilt ist. Dort wurde im Jahre 1994 ein Kulissenhieb durchgeführt. Das Vorgehen entsprach dabei weitgehend dem in Neltume. Lediglich die Breite der beernteten Fläche und die des verbleibenden Streifens war mit 30 m geringer als in Neltume. Die Hiebsmaßnahmen erfolgten zwischen Oktober 1994 und Januar 1995 durch einen Forstunternehmer.

Zur dauerhaften Beobachtung von Verjüngungsentwicklung und Bodenvegetation wurden auf den beiden Kontrollflächen je 2 kreisförmige Parzellen von je 500 m² Größe eingerichtet. Weitere, je 6 rechteckige und ebenfalls 500 m² große Parzellen wurden auf den abgeernteten Streifen der Kulissenhiebsfläche (Melipeuco-Rosario) und in den Löchern (Melipeuco-Lobería) markiert. Auf diesen 12 Parzellen wurden 2-jährige wurzelnackte Pflanzen (Höhe 50-80 cm) der Baumart Raulí im Verband 3 x 2 m ausgebracht. Zur Erfassung der Bodenvegetation und der natürlichen Verjüngung wurden auf jeder Parzelle (12 Parzellen auf den Schlägen, 4 Parzellen auf den Kontrollflächen) 6 Probekreise von 5 m² Größe im Abstand von 4,0 m eingerichtet.

Der Untersuchungsbestand in **Jauja** ist Teil eines im Jahre 1994 70-jährigen Sekundärwaldes in einer Höhenlage von 800 m über NN. In diesem Bestand wurde vom Instituto Forestal (Grosse et al. 1991) und Avilés (1993) eine 5 ha große Versuchsfläche eingerichtet, auf der im

Jahre 1990 eine Ausleседurchforstung mit Auswahl von Z-Bäumen geführt wurde. Für jeden der nach den Kriterien Vitalität, Qualität und Verteilung (vgl. Abetz 1974) ausgewählten Z-Bäume wurden 1 bis 2 herrschende Bedränger geerntet. Eine Fläche von einem Hektar wurde als unbehandelte Kontrollfläche belassen. Die Dokumentation der Entwicklung auf den Versuchsflächen erfolgte auf der Grundlage von 8 (Durchforstungsfläche) bzw. 2 (Kontrollfläche) dauerhaft markierter Parzellen in Kreisform mit einer Größe von 500 m². Die Bodenvegetation und die Naturverjüngung wurden auf allen 10 Parzellen mit je 6 Probekreisen von 5 m² Größe aufgenommen.

2.3. Aufnahmen und Berechnungsgrundlagen

Altbestände: Messung des Brusthöhendurchmessers, der Baumhöhe und der Kronenradien.

Totholz: Stehendes und liegendes Totholz nach Stärkeklassen unterteilt (nach Rauch und Schmidt 1991). Beim stehenden Totholz wurde der Brusthöhendurchmesser, beim liegenden Totholz der Mittendurchmesser (mit Kluppe) erfaßt.

Bodenvegetation: Bestimmung von Artmächtigkeit und Soziabilität der Bodenvegetation nach Braun-Blanquet (1964) bestimmt.

Naturverjüngung: Erfasst wurden die Anzahl aller Sämlinge und Jungwüchse, getrennt nach Baumarten, sowie bei den 10 höchsten Individuen jeder Art die Sprosslänge und der Sprossbasisdurchmesser.

Künstliche Verjüngung: Messung von Sprosslänge, Sprossbasisdurchmesser und Gesundheitszustand nach der Klassifikation von Grosse (1983).

Einnahmen und Ausgaben: Für die Berechnung der mit den waldbaulichen Maßnahmen verbundenen Kosten wurden für den Primärwald Angaben des Unternehmens Bomasa verwendet. Die Kalkulationsgrundlagen für Sekundärwälder lieferte das Unternehmen Magasa (Quiroz 1998). Da keine zuverlässigen Preisinformationen für das Rundholz von Seiten der Unternehmer zur Verfügung standen, wurden zur Kalkulation der Einnahmen die Preise für Papier- und Sägeholz nach Angaben von Infor (1996) verwendet (Verkaufspreise in US\$ m⁻³: Coigüe-Furnierholz = 125,1; Coigüe-Sägeholz = 58,8; Raulí-Sägeholz = 80,0; Roble-Sägeholz = 40,0; Papierholz (Coigüe-Raulí-Roble) = 17,3).

3. Ergebnisse

3.1. Auswirkungen von Verjüngungseingriffen

3.1.1. Primärwald

3.1.1.1. Naturaldaten

Der in Neltume gelegene **Altbestand** wird im wesentlichen aus drei Baumarten gebildet. Dies sind die Nothofagusarten Coigüe (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Blume), Raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst.) und Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Kraser) wobei Coigüe, die Höhen bis zu 42 m erreicht, eindeutig überwiegt. Dennoch sind hinsichtlich der Baumartenanteile teilweise erhebliche Unterschiede zwischen den Parzellen festzustellen. So bewegt sich der Anteil von Coigüe an der Stammzahl in einem Rahmen von 35 % (Lochhiebsfläche vor dem Eingriff) bis 53 % (Kulissenhiebsfläche vor dem Eingriff), der von Raulí schwankt von 9 % (Lochhiebsfläche vor dem Eingriff) bis 33 % (Kontrollfläche). Noch deutlicher als an der Stammzahl wird die Dominanz von Coigüe am Bestandesvorrat. Dort betrug ihr Anteil vor den Eingriffen zwischen 78 % (Kontrollfläche) und 91,5 % (Lochhiebsfläche).

Durch die Ernteeingriffe mittels Loch- und Kulissenhieb wurde der gesamte aufstockende Bestand auf 20 % (Lochhieb) bzw. 50 % (Kulissenhieb) der Bestandesfläche entnommen. Unter der Annahme, dass die dort vor dem Einschlag vorhandenen Bestandesteile durchschnittlich genauso vorratsreich waren wie die auf den Kontrollflächen, bedeutet dies eine entsprechende Absenkung des Bestandesvorrats. Dies kann jedoch nicht mit Sicherheit gesagt werden, weil der ausscheidende Bestand nicht gesondert erfasst wurde. Gleiches gilt für die Annahme, dass sich die Baumartenverteilung durch die Loch- und Kulissenhiebe nicht verändert hat. Beim Schirmhieb war dies der Fall: Im Zuge dieser Maßnahme wurden 30 % des Vorrats entnommen, wobei die wertvolle Baumart Raulí bevorzugt geerntet wurde. Entsprechend sank ihr Anteil von 7,5 % vor dem Eingriff auf 1,4 % nach Abschluss der Erntemaßnahmen.

Der **Totholzvorrat** auf der Kontrollparzelle betrug 133,9 m³ ha⁻¹. Dabei überwog mit 56 % das stehende Totholz, das Durchmesser von 30 bis 120 cm und Höhen von 3 bis 21 m aufwies. Das liegende Totholz war zwischen 3 m bis 8,5 m lang. Der überwiegende Teil des aufgenommenen Totholzes ist als Starkholz einzustufen. Ein geringerer Totholzvorrat wurde auf dem Schirmschlag ermittelt. Dort fanden sich 95,3 m³ ha⁻¹, 53,4 % davon stehend, der Rest liegend.

Behandlung	Baumarten	Ertragskundliche Parameter)							
		N (St. ha ⁻¹)		d _g (cm)		G (m ² ha ⁻¹)		V (Vfm ha ⁻¹)	
		vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
Kontrollfläche	Coigüe	193		71,9		78,4		928,8	
	Raulí	130		41,6		17,7		153,3	
	Lenga	39		30,2		2,8		100,1	
	Sonstige	28		24,3		1,3		4,5	
	Gesamt	390		57,5		101,3		1186,6	
Schirmschlag	Coigüe	157	91	71,1	88,8	73,5	55,4	979,0	758,3
	Raulí	64	10	32,4	59,7	7,4	2,8	86,0	11,6
	Lenga	37	11	29,3	37,3	4,3	1,4	55,0	34,8
	Sonstige	71	5	11,2	22,6	0,7	0,2	20,0	0,6
	Gesamt	329	125	55,0	80,7	85,9	59,8	1140,0	805,3
Lochhiebsfläche	Coigüe	112		85,5		64,3		925,0	
	Raulí	30		42,7		4,3		29,0	
	Lenga	12		60,1		3,4		18,0	
	Sonstige	161		18,4		4,3		38,0	
	Gesamt	315		55,5		76,3		1010,0	
Kulissenhiebsfläche	Coigüe	173		76,1		78,7		928,0	
	Raulí	43		33,1		3,7		56,0	
	Lenga	30		21,1		0,7		24,0	
	Sonstige	82		10		1,4		19,0	
	Gesamt	328		55,5		84,5		1027,0	

Tabelle 2: Mittlere Stammzahl (N)-, Durchmesser- (des Grundflächenmittelstamms d_g), Grundflächen- (G)- und Vorratswerte (V) der Versuchflächen im Primärwald Neltume vor und nach dem waldbaulichen Eingriffen im Jahr 1994

Die **Bodenvegetation** auf den Versuchflächen wird von zwei Arten dominiert: Canelilla (*Drymis winterii* var. Andina) und vor allem Colihue (*Chusquea culeuo*). Colihue erreichte im Jahr 1996 auf der Kontrollfläche einen Deckungsgrad von 58,8 % und eine Frequenz von 98 %. Auf die waldbaulichen Eingriffe reagierte die Bodenvegetation in den von den Hieben betroffenen Bestandteilen mit einem starken Anstieg des Deckungsgrades. Dieser erhöhte sich im Falle des Kulissenhiebes von 54,3 % im Jahr 1996 auf 82,5 % im Jahre 1997, im Falle des Schimhiebes von 58,3 % auf 77,4 % und beim Lochhieb von 51,4 % auf 76,8 %.

Naturverjüngung war sowohl vor als auch nach den waldbaulichen Eingriffen praktisch auf keiner Parzelle vorhanden. So fehlten Verjüngungspflanzen auf den Probekreisen, was angesichts des Bestandesschlusses und dem dichten Bewuchs durch Colihue und Canelilla nicht verwunderlich ist. Die wenigen außerhalb der Probekreise vorhandenen Individuen wurden in einigen Fällen im Zuge der Hiebsmaßnahmen zerstört.

Künstliche Verjüngung: In den Löchern waren bereits ein Jahr nach der Pflanzung ca. 1/5, auf den Streifen der Kulissen sogar ca. 40 % der ausgebrachten Pflanzen ausgefallen. Im Gegensatz dazu überlebten auf dem Schirmschlag mehr als 90 % aller Pflanzen.

	Schirmschlag		Lochhiebsfläche		Kulissenhiebsfläche	
	1996	1997	1996	1997	1996	1997
Überlebensprozent (%)	100	93,4	100	79,9	100	55,7
SBD (mm)	7,8	8,3	7,0	8,5	8,5	10,3
SL (cm)	53,0	63,5	47,3	66,0	69,3	76,0

Tabelle 3: Überlebensrate (%), mittlerer Sprossbasisdurchmesser (SBD) und mittlere Sprosslänge (SL) der Pflanzen je Verjüngungsfläche nach einer Vegetationsperiode

Die Vitalität der überlebenden Pflanzen unterschied sich dagegen kaum: sie war – wenn man von vereinzelt leichten Knospenschäden absieht – im allgemeinen recht hoch. Die auf den Versuchflächen ausgebrachten Raulípflanzen wiesen zufälligerweise bereits zu Versuchsbeginn unterschiedliche Sprossbasisdurchmesser und Sprosslängen auf. Im Gegensatz zur Überlebensrate war das Durchmesserwachstum auf dem Schirmschlag absolut wie relativ (Zuwachs bezogen auf den Ausgangswert) erheblich geringer als auf den Flächen der beiden anderen Verjüngungsvarianten. So betrug der relative Zuwachs auf dem Schirmschlag nur 6,4 % gegenüber 21,4 % auf der Lochhiebs- und 21,1 % auf der Kulissenhiebsfläche. Das Höhenwachstum der künstlichen Verjüngung auf dem Schirmschlag wurde dagegen nicht gebremst und lag mit 19 % über dem Vergleichswert auf den Streifen der Kulissen (9,7 %). Das deutlich beste Höhenwachstum zeigten die in den Löchern ausgebrachten Pflanzen. Hier betrug der Höhenzuwachs 39,5 % des Ausgangswertes.

3.1.1.2. Einnahmen und Ausgaben

Tabelle 4 zeigt, dass sich die Hiebsvarianten nicht nur hinsichtlich der je ha entnommenen Holzmenge, sondern auch hinsichtlich des Anteils der Holzsortimente am Einschlag unterschieden.

	Coigüe		Raulí		Coigüe/Raulí		Gesamt			
	Furnierholz		Sägeholz		Sägeholz		Papierholz			
	Efm ha ⁻¹	%								
Schirmhieb	17,4	10,6	23,9	14,6	20,3	12,4	102,3	62,4	163,9	100
Lochhieb	8,2	7,5	15,3	14,7	6,2	6,0	74,7	71,8	104,0	100
Kulissenhieb	24,1	10,9	32,0	14,4	13,8	6,2	152,0	68,5	221,9	100

Tabelle 4: Anfallende Holzvolumina je Verjüngungsvariante, differenziert nach Baumarten und Sortiment

Aufgrund der unterschiedlichen Holzpreise je Sortiment ergeben sich daraus unterschiedliche Erlöse je fm. Diese schwankten von 42,50 US-\$ fm⁻¹ (Schirmhieb) bis zu 35,64 US-\$ fm⁻¹ (Lochhieb) (Tab. 5b).

Kostenstelle	Schirmhieb		Lochhieb		Kulissenhieb			
	US-\$ ha ⁻¹	%	US-\$ ha ⁻¹	%	US-\$ ha ⁻¹	%		
Vorbereitung Pflanzplätze (Schneise)	250,0	3,2	50,0	1,1	125,0	1,3		
Pflanzen und Transport	247,5	3,2	49,5	1,1	123,8	1,3		
Pflanzung	250	3,2	50,0	1,1	125,0	1,3		
Auswahl und Markierung	5,0	0,1	5,0	0,1	5,0	0,1		
Ausgaben	Holzeinschlag, Aufarbeitung, Holzrücken, Sortierung	Coigüe-Furnierholz	191,4	2,5	90,0	1,9	265,1	2,8
		Coigüe-Sägeholz	262,9	3,4	162,3	3,5	352,0	3,7
		Raulf-Sägeholz	330,9	4,3	101,1	2,2	224,9	2,4
		Papierholz	491,0	6,4	358,6	7,7	729,6	7,7
Aufladen	262,2	3,4	167,0	3,6	355,0	3,7		
Transport	2704,4	35,1	1722,0	37,1	3661,4	38,7		
Bau und Unterhaltung Forstweg	409,5	5,3	419,7	9,0	399,4	4,2		
Grund und Boden	327,8	4,3	208,8	4,5	443,8	4,7		
Verwaltung	1966,8	25,5	1252,8	27,1	2662,8	28,1		
Summe der Ausgaben mit Papierholz	7698	100	4637	100	9473	100		
Summe der Ausgaben ohne Papierholz	5657	73,6	2922	63,0	5992	63,3		
Einnahmen	Coigüe-Furnierholz	2176,7	31,2	1025,8	27,7	3014,9	35,0	
	Coigüe-Sägeholz	1405,3	20,2	899,64	24,3	1881,6	21,8	
	Raulf-Sägeholz	1624,0	23,3	496,0	13,4	1104,0	12,8	
	Papierholz	1759,6	25,3	1284,8	34,6	2614,4	30,3	
	Summe der Einnahmen mit Papierholz	6966	100	3707	100	8614	100	
Summe der Einnahmen ohne Papierholz	5206	74,7	2422	65,3	6000	69,7		

Tabelle 5a: Einnahmen und Ausgaben bei den verschiedenen Verjüngungsvarianten im Primärwald Neltume

Vergleicht man die Erlöse, die sich ohne eine Papierholzaushaltung ergeben, so stellt man fest, dass sich die Einnahmen deutlich einander annähern und sich auf ca. 85 US-\$ fm⁻¹ erhöhen (Tab. 5 b). Diesen Einnahmen stehen jedoch erhebliche Kosten gegenüber (Tab. 5 a und b). Die zwei wichtigsten Kostenstellen waren der Transport und die Verwaltung (Tab. 5 a). Die hohen Transportkosten sind unter anderem eine Folge der schlechten Straßen sowie der Entfernung und haben zur Folge, dass ein Einnahmeüberschuss im vorliegenden Fall nur unter der Bedingung zu erzielen war, dass durch einen Kulissenhieb genutzt und kein Papierholz ausgehalten wird (Tab. 5 b). Dabei ist unterstellt, dass die Kosten bei der Variante ohne Papierholzaushaltung bis auf das von der Holzmenge abhängige Aufladen und den Transport konstant bleiben. Da sich damit alle anderen Kosten auf eine geringere Holzmenge verteilen, sind die je Festmeter entstandenen Kosten höher als mit einer Papierholzaushaltung. Positive Ergebnisse ergeben sich nach dieser Zusammenstellung nur beim Kulissenhieb ohne Papierholzaushaltung.

		Schirmhieb		Lochhieb		Kulissenhieb	
		US-\$ m ⁻³	US-\$ ha ⁻¹	US-\$ m ⁻³	US-\$ ha ⁻¹	US-\$ m ⁻³	US-\$ ha ⁻¹
Ausgaben	Gesamt mit Papierholz	46,97	7698	44,59	4637	42,69	9473
	Gesamt ohne Papierholz	86,96	5657	99,72	2922	85,72	5992
Einnahmen	Gesamt mit Papierholz	42,50	6966	35,64	3707	38,82	8614
	Gesamt ohne Papierholz	84,51	5206	82,65	2422	85,84	6000
Ergebnis	Gesamt mit Papierholz	-4,47	-732	-8,95	-930	-3,87	-859
	Gesamt ohne Papierholz	-2,56	-451	-17,07	-500	0,12	8

Tabelle 5b: Finanzielles Ergebnis je geerntetem Festmeter bzw. je Hektar im Primärwald Neltume

Für die beiden anderen Varianten trifft dies nur dann zu, wenn die Transportkosten geringer sind als im vorliegenden Fall (geringere Entfernung von Waldbestand zu verarbeitendem Werk) oder wenn geringere Verwaltungskosten unterstellt werden.

3.1.2. Sekundärwald

3.1.2.1. Naturaldaten

Die Bestände der Versuchsanlage in Melipeuco waren von den Baumarten Coigüe (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Blume), Raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst) und Roble (*Nothofagus obliqua* (MIRB) OERST. Var. *Obliqua*) geprägt, aber auch andere, wirtschaftlich weniger interessante Baumarten waren in nennenswerten Anteilen vertreten.

Aus Tabelle 6 ist ersichtlich, dass sich die beiden Teilflächen „Lobería“ (Lochhieb) und „Rosario“ (Kulissenhieb) nicht nur hinsichtlich der Baumartenzusammensetzung, sondern auch in der Bestandesdichte erheblich unterschieden. So war der Anteil von Raulí in „Lobería“ erheblich höher als in „Rosario“, während es sich mit dem Anteil der sonstigen Baumarten gerade umgekehrt verhielt. Darüber hinaus erreichte die Stammzahl in „Rosario“ in etwa den doppelten Wert der in „Lobería“ gelegenen Teilfläche. Etwas geringere Unterschiede, aber keineswegs homogene Verhältnisse lassen beim Vergleich der Kontrollflächen mit der Situation auf den entsprechenden waldbaulich behandelten Flächen vor den Eingriffen feststellen (Tab. 6). Vor allem der Anteil von Roble ist auf den beiden Flächen in „Lobería“ sehr unterschiedlich. Wie aus dem Vergleich der Tabellen 2 und 6 hervorgeht, beträgt die Höhe des Bestandesvorrates im Sekundärwald nur ca. 25 % des im Primärwald gemessenen Wertes.

Durch die waldbaulichen Eingriffe erhöhte sich der Deckungsgrad verschiedener, auf den Kontrollflächen nicht vorkommender Arten der Bodenvegetation (insbesondere von *Pasto Dulce* = *Dactylis glomerata*) erheblich (Gesamtdeckungsgrad drei Jahre nach dem Hieb in

den Löchern 78 % und auf den Streifen zwischen den Kulissen 98 %). Im Gegensatz dazu sank der Deckungsgrad, der auf den Kontrollflächen mit hundertprozentiger Frequenz vorkommenden und ca. ein Drittel der Fläche bedeckenden Art Colihue (*Chusquea culeuo*).

Behandlung (Versuchsfläche)	Baumarten	Ertragskundliche Parameter			
		N (St. ha ⁻¹)	d _g (cm)	G (m ² ha ⁻¹)	V (Vfm ha ⁻¹)
Kontrollfläche (Melipeuco-Lobería)	Raulí	141	26,3	9,7	85,3
	Roble	538	21,2	12,9	119,4
	Coigüe	28	23,5	0,9	6,3
	Sonstige	122	10,7	1,5	7,3
	Gesamt	829	21,1	25,0	218,5
Lochhiebsfläche (Melipeuco-Lobería)	Raulí	174	27,4	10,3	90,2
	Roble	409	20,2	13,1	109,4
	Coigüe	20	22,5	0,8	6,0
	Sonstige	129	11,7	1,4	6,9
	Gesamt	732	21,1	25,6	212,5
Kontrollfläche (Melipeuco-Rosario)	Raulí	7	17,5	0,25	2,5
	Roble	799	20,3	24,3	189,5
	Coigüe	102	11,9	2,1	8,5
	Sonstige	532	14,1	9,3	65,6
	Gesamt	1440	17,8	35,9	266,1
Kulissenhiebsfläche (Melipeuco-Rosario)	Raulí	14	16,5	0,3	2,8
	Roble	806	19,3	23,6	194,3
	Coigüe	132	13,9	2,0	12,0
	Sonstige	572	15,1	10,3	64,7
	Gesamt	1524	17,4	36,2	273,8

Tabelle 6: Mittlere Stammzahl (N)-, Durchmesser- (des Grundflächenmittelstamms d_g), Grundflächen- (G)- und Vorratswerte (V) der Versuchsflächen im Sekundärwald Melipeuco vor den waldbaulichen Eingriffen

Während eine **Naturverjüngung** auf den beiden Kontrollflächen weder im Untersuchungsjahr 1996 noch 1997 zu finden war, konnten auf den Probekreisen in den Löchern bzw. auf den zwischen den Kulissen liegenden Streifen in beiden Jahren (d. h. 2 Jahre nach den Hieben) Verjüngungspflanzen (im wesentlichen Stockausschlag von Roble) festgestellt werden. Allerdings verringert sich die Zahl der vegetativ entstandenen Verjüngungspflanzen von 1996 bis 1997 von ca. 1600 ha⁻¹ (Loch) bzw. 11200 ha⁻¹ (Streifen) auf ca. 1400 ha⁻¹ (Loch) bzw. 7000 ha⁻¹ (Streifen). Darüber hinaus verschwanden sämtliche, die nur in den Löchern im Jahr 1996 vorkommenden ca. 220 Kernwüchse ha⁻¹.

Auch die **künstlich** im Jahr 1995 durch Pflanzung begründete **Verjüngung** nahm im Beobachtungszeitraum zahlenmäßig erheblich ab. So waren nur 3 Vegetationsperioden nach der Ausbringung 75 % (Lochhiebsfläche) bzw. 55 % (Kulissenhiebsfläche) aller Pflanzen ausgefallen (Tab. 7). Weitere ca. 5 % (Lochhiebsfläche) bzw. 10 % (Kulissenhiebsfläche)

aller Pflanzen wiesen im Jahr 1997 schwere Beschädigungen auf oder waren fast vollständig entlaubt. Bedauerlicherweise liegen über die Pflanzenhöhen und Durchmesser zum Zeitpunkt der Ausbringung keine Daten vor. Dennoch kann aufgrund der in den Jahren 1996 und 1997 gemessenen Werte festgestellt werden, dass die Pflanzen auf den zwischen den Kulissen liegenden Streifen dicker und höher waren als jene in den Löchern (Tab. 7).

	Lochhiebsfläche			Kulissenhiebsfläche		
	1995	1996	1997	1995	1996	1997
Überlebensprozent (%)	100	45,3	25,1	100	51,8	44,8
SBD (mm)	-	7,0	8,0	-	8,0	12,0
SL (cm)	-	50,1	71,9	-	60,0	107,6

Tabelle 7: Überlebensrate (%), mittlerer Sprossbasisdurchmesser (SBD) und mittlere Sprosslänge (SL) der Pflanzen je Verjüngungsfläche im Beobachtungszeitraum

3.1.2.2. Einnahmen und Ausgaben

Wie aus Tabelle 8 zu ersehen ist, unterschieden sich zwar die angefallenen Holzmengen pro Hektar auf den beiden Untersuchungsflächen, nicht jedoch die Anteile an Säge- und Papierholz.

	Raulí		Roble		Coigüe/Raulí/Roble		Gesamt
	Sägeholz		Sägeholz		Papierholz		
	Efm ha ⁻¹	%	Efm ha ⁻¹	%	Efm ha ⁻¹	%	
Lochhieb	7,5	21,5	9,0	26,1	18,1	52,4	34,6
Kulissenhieb	0,70	0,6	45,2	43,7	57,6	55,7	103,5

Tabelle 8: Anfallende Holzvolumina je Verjüngungsvariante, differenziert nach Baumarten und Sortiment

Auf der Lochhiebsfläche konnte neben Roble- auch Raulí-Sägeholz geerntet werden. Dies machte sich bei der Bilanzierung der Einnahmen und Ausgaben der beiden Varianten positiv bemerkbar (Tab. 9 a und b). Den unterschiedlichen Einnahmen stehen vergleichbare, weil von der Baumart unabhängige Kosten gegenüber. Für beide Verjüngungsvarianten ergeben sich nach Abzug dieser Kosten sowohl mit als auch ohne Papierholzaushaltung positive Ergebnisse (Tab. 9 b). Nach den dort angegebenen Zahlen bewirkt die Aushaltung von Papierholz weder eine Verbesserung noch eine Verschlechterung der hektarbezogenen Ergebnisse.

Kostenstelle	Lochhieb		Kulissenhieb			
	US-\$ ha ⁻¹	%	US-\$ ha ⁻¹	%		
Vorbereitung Pflanzplätze	34,9	4,6	102,5	4,8		
Pflanzen und Transport	34,9	4,6	102,4	4,7		
Pflanzung	45,6	6,1	134,2	6,2		
Auswahl und Markierung	5,0	0,7	5,0	0,2		
Ausgaben	Holzeinschlag, Aufarbeitung, Holzrücken, Sortierung	Roble-Sägeholz	27,0	3,6	135,6	6,3
		Raulí-Sägeholz	22,5	3,0	2,1	0,1
		Papierholz	54,3	7,2	172,8	8,6
Aufladen	38,1	5,1	113,9	5,3		
Transport	451,5	60,0	1350,7	62,6		
Bau und Unterhaltung Forstweg	-	-	-	-		
Forstschutz	11,0	1,5	11,0	0,5		
Verwaltung	27,4	3,6	27,4	1,3		
Summe der Ausgaben mit Papierholz	752	100	2158	100		
Summe der Ausgaben ohne Papierholz	441	58,6	1169	54,2		
Einnahmen	Roble-Sägeholz	360,0	28,3	1808,0	63,3	
	Raulí-Sägeholz	600,0	47,2	56	34,7	
	Papierholz	311,3	24,5	990,7	2,0	
	Summe der Einnahmen mit Papierholz	1271	100	2855	100	
Summe der Einnahmen ohne Papierholz	960	75,5	1864	65,3		

Tabelle 9a: Einnahmen und Ausgaben bei den beiden Verjüngungsvarianten im Sekundärwald Melipeuco

		Lochhieb		Kulissenhieb	
		US-\$ m ⁻³	US-\$ ha ⁻¹	US-\$ m ⁻³	US-\$ ha ⁻¹
Ausgaben	Gesamt mit Papierholz	21,74	752	20,85	2158
	Gesamt ohne Papierholz	26,75	441	25,47	1169
Einnahmen	Gesamt mit Papierholz	36,74	1271	27,58	2855
	Gesamt ohne Papierholz	58,18	960	40,61	1864
Ergebnis	Gesamt mit Papierholz	15,00	519	6,73	697
	Gesamt ohne Papierholz	31,43	519	15,14	695

Tabelle 9b: Finanzielles Ergebnis je geerntetem Festmeter bzw. je Hektar im Sekundärwald Melipeuco

3.2. Auswirkungen von Pflegeeingriffen im Sekundärwald

3.2.1. Naturaldaten

Tabelle 10 zeigt den Ausgangszustand und die in der sechsjährigen Beobachtungsperiode auf der Durchforstungsfläche in Jauja abgelaufene Entwicklung. Sowohl der durchforstete Bestand als auch der Kontrollbestand werden von der Baumart Raulí dominiert, der in beiden

Fällen ca. 90 % aller Individuen zugeordnet werden können. Durch den Durchforstungseingriff im Jahr 1990 wurde das Bestandesvolumen auf 50 % des Wertes der Kontrollfläche reduziert. Sechs Jahre nach der Durchforstung wies die behandelte Parzelle 54 % des Vorrates der Kontrollfläche auf. Trotz der starken Vorratsabsenkung zu Versuchsbeginn leistete der Bestand auf der durchforsteten Fläche nahezu den selben jährliche Zuwachs wie der Vergleichsbestand auf der Kontrollfläche. Dabei erreichten die zu Versuchsbeginn von ihren Bedrängern befreiten Z-Bäume, die sowohl 1990 wie 1996 ca. 68 % des Bestandesvorrats stellten, einen etwa doppelt so hohen jährlichen Zuwachs wie ein zu Vergleichszwecken markiertes, aber nicht begünstigtes Kollektiv auf der Kontrollfläche, dessen Anteil am Bestandesvorrat 1990 wie 1996 nur 30 % betrug (Tab. 10).

	Volumen (Vfm ha ⁻¹)				Zuwachs (Vfm ha ⁻¹ a ⁻¹)				
	Füllbestand		Ausleseebäume		Gesamtbestand		Füllbestand	Ausleseebäume	Gesamtbestand
	1990	1996	1990	1996	1990	1996			
Durchforstungsfläche	75,9	90,7	160,1	189,9	235,9	280,6	2,47	5,0	7,47
Kontrollfläche	328,9	360,4	138,8	155,4	467,7	515,7	5,27	2,75	8,02

Tabelle 10: Entwicklung der Volumina und Volumenzuwächse von Füllbestand, Ausleseebäumen und Gesamtbestand auf der Kontroll- und der Durchforstungsfläche des Sekundärwaldes Jauja im sechsjährigen Beobachtungszeitraum

In Umkehrung der Verhältnisse auf der Durchforstungsfläche leistete auf der Kontrollfläche der Füllbestand den größten Teil des Bestandeszuwachses. Unter anderem daraus erklärt sich der Befund, dass der Anteil der Ausleseebäume mit Wasserreisern auf der Kontrollfläche mit 25 % erheblich niedriger lag als auf der Durchforstungsfläche mit 52 %.

Der durchschnittliche Deckungsgrad der **Bodenvegetation** auf der Durchforstungsfläche betrug im Jahr 1996 69,7 % und war damit ca. doppelt so hoch wie auf der Kontrollparzelle (35 %). Auf beiden Flächen war in allen Probekreisen Bodenvegetation anzutreffen. Ihre durchschnittliche Höhe betrug 2,5 m (Durchforstungsfläche) bzw. 1,8 m (Kontrollfläche).

Insbesondere auf der durchforsteten Fläche konnte sechs Jahre nach dem Eingriff eine stammzahlreiche **Naturverjüngung** von ca. 5950 Stück ha⁻¹ festgestellt werden. Diese bestand zu 85 % aus Raulí (37 % Kernwüchse, 48 % Stockausschläge), 9 % Coigue und 4 % Roble (beide ausschließlich generativen Ursprungs) sowie 2 % Lingue. Die gemessenen Sprosslängen der Stockausschläge von Raulí betrugen im Mittel 236 cm und lagen damit beim Zehnfachen des von den Kernwüchsen erreichten Wertes. Für die auf der Kontrollfläche erfasste Naturverjüngung ließen sich sowohl hinsichtlich der Dichte als auch hinsichtlich der Artenzahl und der Sprosslänge erheblich geringere Werte feststellen. So betrug die

Gesamtzahl aller Verjüngungspflanzen nur 1500 Pflanzen pro ha, wovon 89 % auf Raulí (30 % Kernwüchse, 59 % Stockausschläge) und 11 % auf Lingue (4 % Kernwüchse, 7 % Stockausschläge) entfielen. Wie bereits erwähnt, lagen die erreichten Höhen deutlich unter den auf der durchforsteten Fläche gemessenen Vergleichswerten. So betrug die durchschnittliche Sprosslänge der Pflanzen aus Stockausschlag bei Raulí 140 und bei Lingue 135 cm; die Kernwüchse erreichten Höhen von durchschnittlich 22 cm (Raulí) bzw. 35 cm (Lingue).

3.2.2. Einnahmen und Ausgaben

Kostenstelle bei der Durchforstung		US-\$ ha ⁻¹	%	
Ausgaben	Auswahl und Markierung	61,4	3,8	
	Holzeinschlag, Aufarbeitung Holzrücken	Raulí-Sägeholz	132,0	7,9
		Papierholz	168,0	10,2
	Sortierung und Vermessung von			
	Aufladen	160,0	5,1	
	Transport	1110,0	66,6	
	Forstschutz	11,0	0,7	
	Verwaltung	27,4	1,2	
	Summe der Ausgaben mit Papierholz	1670	100	
	Summe der Ausgaben ohne Papierholz	791	47,4	
Einnahmen	Raulí-Sägeholz	3520,0	78,5	
	Papierholz	963,2	21,5	
	Summe der Einnahmen mit Papierholz	4483	100	
	Summe der Einnahmen ohne Papierholz	3520	78,5	

Tabelle 11a: Einnahmen und Ausgaben im Zuge der Durchforstungsmaßnahmen im Sekundärwald Jauja

Auslesedurchforstung		US-\$ m ⁻³	US-\$ ha ⁻¹
Ausgaben	Gesamt mit Papierholz	16,70	1670
	Gesamt ohne Papierholz	17,97	791
Einnahmen	Gesamt mit Papierholz	44,83	4483
	Gesamt ohne Papierholz	80,00	3520
Ergebnis	Gesamt mit Papierholz	28,13	2813
	Gesamt ohne Papierholz	62,03	2729

Tabelle 11b: Finanzielles Ergebnis je geerntetem Festmeter bzw. je Hektar im Sekundärwald Jauja

Im Rahmen der Durchforstungsmaßnahmen fielen insgesamt 100 Efm ha⁻¹ an, die sich aus 44 % Raulí-Sägeholz und 56 % Papierholz zusammensetzten. Wie sich zeigte (Tab. 11 a) waren die Kosten analog zu den Verjüngungseingriffen im Primär- und im Sekundärwald insbesondere von den Aufwendungen für den Transport des Holzes bestimmt. Die erhebliche Preisdifferenz zwischen Raulí-Sägeholz und Papierholz führte zu festmeterbezogen

wesentlich höheren Erlösen bei Verzicht auf eine Papierholzaushaltung. Absolut gesehen ist der je ha erwirtschaftbare Betrag bei einer Papierholzaushaltung jedoch etwas höher als ohne diese (Tab. 11 b).

4. Diskussion

4.1. Verjüngungseingriffe in Primär- und Sekundärwäldern

Die Ergebnisse aus dem Primärwald Neltume haben gezeigt, dass eine Bewirtschaftung solcher Wälder mit erheblichen Problemen behaftet ist. So erwiesen sich der hohe Faulholzanteil, die fehlende Erschließung, die – verglichen mit den Eingriffen in den Sekundärwäldern – sehr hohen Verwaltungskosten, der geringe Wert der meisten Baumarten sowie die mit der Verjüngung konkurrierende Bodenvegetation als wesentliche Hemmnisse einer waldbaulich wie ökonomisch befriedigenden Bewirtschaftung. Anhand des Vergleichs der Einnahmen und Ausgaben (Tab. 5 b) konnte deutlich gemacht werden, dass unter Verhältnissen wie sie in Neltume herrschen eine rentable Bewirtschaftung des Primärwaldes nur eingeschränkt möglich ist. Da diese Bewertung auf einer einmaligen Aufnahme beruht, kann sie selbstverständlich nicht abschließend sein. Insbesondere durch höhere Holzpreise oder eine verbesserte Infrastruktur, die nicht ausschließlich dem Waldbesitzer aufgebürdet werden kann, könnten die Erfolgsaussichten einer Bewirtschaftung vergleichbarer Primärwälder verbessert werden. Zu prüfen bleibt, ob die durchgeführten defizitären Maßnahmen aufgrund künftiger Mehreinnahmen als Investitionen gewertet werden können. Dies ist jedoch nicht wahrscheinlich, da es dafür notwendig gewesen wäre, besonders wertvolle aber noch zuwachskräftige Individuen gezielt zu schonen bzw. zu begünstigen. Beides war jedoch nicht der Fall.

Hinsichtlich der verschiedenen Verjüngungsvarianten ergaben sich keine nennenswerten Unterschiede. So schnitt der Kulissenhieb aufgrund der geringeren Kosten ökonomisch betrachtet zwar günstiger ab als Schirm- und Lochhieb, der Wert des verbleibenden Bestandes ist jedoch erheblich geringer, da im Gegensatz zu den beiden anderen Verjüngungsvarianten wesentlich mehr Holzmasse entnommen wurde. Gegen dieses Verjüngungsverfahren spricht die hohe Mortalität der künstlich eingebrachten Verjüngung (Tab. 3) und die sich auf den Schneisen besonders vehement ausdehnende Bodenvegetation (vgl. Kroeger 1986; Schmidt et al. 1994), die ein Aufkommen der ohnehin nur sehr spärlich vorhandenen Naturverjüngung zusätzlich erschwert (vgl. Müller-Using 1973; Veblen und Ashton 1978 sowie Uebelhör 1984). Scheidet die Erhaltung der Primärwälder durch Schutz aus und soll der Fortbestand der

daran beteiligten Baumarten wie eingangs postuliert durch Nutzung gesichert werden, so scheint der Schirmhieb noch am ehesten ein für diese Wälder angepasstes Verjüngungsverfahren zu sein. So verbleiben nach der Nutzung relativ viele Bäume im Bestand (um $60 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (vgl. Schmidt et al. 1981)) und die Bedingungen für das Überleben künstlich eingebrachter Pflanzen sind, bei etwa vergleichbarer Höhenwuchsleistung, günstiger als bei Kulissen- oder Lochhieb (Tab. 3). Auch Schmidt et al. (1991) gehen davon aus, dass das Vorhandensein eines Schirmes das Überleben und das Wachstum von Raulí fördert.

Die natürliche Entwicklung von *Nothofagus* Primärwäldern zeigt, dass sich solche Wälder trotz der üppigen Bodenvegetation erneuern. In diesem Prozess ist das Totholz ein wichtiger Faktor. Vor diesem Hintergrund ist es bedeutsam, dass auf allen Parzellen ein sehr hoher Anteil toten Holzes zu finden war, das für die neue Waldgeneration potentiell von großer Bedeutung ist (Uebelhör 1984; Henriquez 1985).

Die erste der einleitend gestellten Fragen kann zusammenfassend dahingehend beantwortet werden, dass die getesteten Verjüngungsvarianten mit Ausnahme des Schirmhiebes im Hinblick auf die Entwicklung künstlich verjüngter Pflanzen nur bedingt und alle drei Varianten unter vergleichbaren Verhältnissen hinsichtlich Kosten und Ertrag ökonomisch nicht zu empfehlen sind. Die Erhaltung dieser Waldtyps scheint daher mittelfristig eher durch Schutz als durch Nutzung erreichbar zu sein.

Völlig anders stellt sich die Situation in den untersuchten **Sekundärwäldern** dar. Trotz eines – gemessen am Vorrat des Primärwaldes - um 75 % geringeren Bestandesvolumens waren sowohl durch den Loch- als auch durch den Kulissenhieb profitable Nutzungen möglich. Der Grund hierfür liegt - verglichen mit der Situation im Primärwald - im um 10-15 % geringeren Papierholzanteil, vor allem aber in den um ca. 20 % niedrigeren Verwaltungskosten (Tab. 9 a). Darüber hinaus entfielen im Sekundärwald Aufwendungen für Grund und Boden, während sich die anteilig dem Transport des Holzes zuzurechnenden Kosten nicht wesentlich von den im Primärwald festgestellten unterscheiden. Im Gegensatz zum Primärwald, wo die Papierholzaushaltung den Verlust erhöhte, ergab sich im Sekundärwald finanziell betrachtet kein Unterschied zwischen den je ha zu erzielenden Gewinnen mit und ohne Papierholzaushaltung (Tab. 9 b). Im Hinblick auf die zuvor bereits betonte Bedeutung des liegenden Totholzes für die Etablierung von Keimlingen erscheint es aus waldbaulicher Sicht jedoch geraten auf eine Papierholzaushaltung zu verzichten (sofern keine Forstschutzprobleme dagegen sprechen). So könnte die durch die Eingriffe zwar gestiegene, aber im Beobachtungszeitraum wieder abnehmende Zahl an Kernwüchsen eventuell erhöht

werden. Im Hinblick auf die hohe Mortalität der gepflanzten Individuen scheinen weder Loch- noch Kulissenhieb geeignete Verfahren zur Verjüngung von Sekundärwäldern zu sein. Hier versprechen, wie in anderen Laubholz-Naturwäldern (vgl. Goebel und Hix 1996), weniger schematische Verfahren mehr Erfolg. Müller-Üsing (1973), Donoso (1993) sowie Müller-Using und Schlegel (1980) empfehlen sinngemäß insbesondere für Raulí – unter anderem wegen deren Frostempfindlichkeit (Rack 1974; Grosse et al. 1993) - die Verjüngung unter Schirm.

Zusammenfassend und mit Blick auf die in der Einleitung gestellte zweite Frage kann festgehalten werden, dass Loch- und Kulissenhieb im vorliegenden Fall zwar finanziell positive Ergebnisse erbracht, hinsichtlich der Verjüngungsentwicklung aber nicht befriedigt haben. Inwieweit andere Verfahren bei gleicher Gewinnerwartung besser geeignet sind und inwieweit auch künftige Eingriffe Gewinne abwerfen und somit Teil eines wirtschaftlich wie natural nachhaltigen Konzeptes darstellen, kann im Rahmen der vorgestellten Untersuchung nicht abschließend beurteilt werden.

4.2. *Pflegeeingriffe in Sekundärwäldern*

Die höchsten hektarbezogenen Gewinne bei der waldbaulichen Behandlung der drei hier untersuchten Bestände ließen sich mit der Auslesedurchforstung erzielen. Ein Grund hierfür ist, dass die Erlöse je fm nicht wie bei den Verjüngungseingriffen mit Aufwendungen für Verjüngungspflanzen, deren Transport und die Pflanzmaßnahmen selbst belastet wurden (Tab. 11 a). Ein weiterer Grund ist in dem Umstand zu sehen, dass der betrachtete Bestand im wesentlichen aus der wertvollsten der vorkommenden Baumarten (Raulí) bestand. Insbesondere angesichts der Verschiedenartigkeit der Baumartenmischungen der drei Bestände sind direkte Vergleiche der Waldbehandlungen nicht möglich. Immerhin kann aber festgehalten werden, dass Durchforstungsmaßnahmen in Sekundärwaldbeständen mit wertvollem Holz höchst profitabel sein können (Tab. 11 b, vgl. auch Aguilera 1994; Aviles 1993; Pokorny 1995). Dies gilt um so mehr, als dass die wertvollsten Bestandesmitglieder bei dem Eingriff nicht nur nicht geerntet, sondern vielmehr durch die Entnahme von Bedrängern wirkungsvoll begünstigt wurden, wodurch vermutlich auch künftige Nutzungen mit positiven finanziellen Ergebnissen getätigt werden können. Wie effektiv die Steuerung des Bestandeszuwachses auf die ausgewählten Z-Bäume erfolgte, zeigen die in Tabelle 10 mitgeteilten Ergebnisse. Hier werden erstaunliche Analogien zur Reaktion von entsprechend behandelten europäischen Buchenbeständen erkennbar (Assmann 1961; Utschig 2000). Dies erscheint besonders bedeutsam, da es praktisch keine in Chile durchgeführten

Untersuchungen gibt, mit denen diese Ergebnisse verglichen werden könnten. Puente et al. (1979) haben zwar eine Durchforstungsstudie vorgelegt, es sind darin allerdings lediglich die Auswirkungen unterschiedlich starker Niederdurchforstungen dokumentiert.

Angesichts des flächig vorhandenen Füllbestandes, dürften die etwas erhöhte Häufigkeit von Auslesebäumen mit Wasserreisern nicht dauerhaft bestehen bleiben und daher keine deutliche Qualitätsminderung der zuwachskräftigsten Bäume bedeuten.

Bedenkt man, dass die Förderung der Auslesebäume relativ spät (Alter 70) erfolgte, sind - frühzeitige konsequente Begünstigung vorausgesetzt - ökonomisch noch vorteilhaftere Szenarien denkbar. Als Fazit der Beurteilung der Effektivität der im vorgestellten Beispiel durchgeführten Pflegemaßnahmen kann daher der Schluss gezogen werden, dass die gezielte Förderung qualitativ guter Auslesebäume einen ökonomisch ebenso vielversprechenden wie nachhaltigen Weg darstellt um Bestände, die sich aus Baumarten der natürlichen Waldgesellschaft zusammensetzen, vor einer Umwandlung in Plantagen aus fremdländischen Baumarten zu bewahren.

5. Summary

Investigations on silvicultural treatments of old-growth and second-growth forests in the Andes of southern Chile

The study tests the suitability of different silvicultural treatments for regeneration and thinning purposes. It was conducted in three main geographical locations in the central southern part of Chile (IX and X administrative regions), near Neltume (32 ha), Melipeuco (6.1 ha) and Jauja (6.0 ha) with a total of 42 field sample plots. Three regeneration techniques (group felling, strip cutting, shelterwood) were performed in an old-growth forest, two regeneration methods (group felling, strip cutting) and a selection thinning were carried out in two second-growth forests. The results show that none of the regeneration methods in the old-growth forest was cost effective. The reasons for this finding are the high costs due to timber transport and administration and the high percentage of rotten wood. Survival of planted seedlings of Raulí (*Nothofagus alpina*) in the old growth forest was highest and coverage by the competing ground vegetation was lowest within the shelterwood area. Due to lower expenses for administrative purposes and high timber quality, regeneration techniques as well as thinning was profitable in the second-growth forests. Nevertheless, none of the tested regeneration methods was suitable for either natural or artificial regeneration. Selection thinning however resulted in a significant concentration of stand increment on the subject

trees. As this measure enables further production of high quality timber it is recommended at similar site and under comparable conditions.

6. Resumen

Investigación sobre tratamientos silvícolas en bosques primarios y secundarios en los Andes del sur de Chile

El objetivo del trabajo fue determinar los efectos de los sistemas de regeneración y manejo en bosque primarios y secundarios de *Nothofagus* desde una perspectiva silvícola y financiera. El estudio consideró la regeneración, malezas, calidad de árboles en pie, tipos de productos y además los incrementos en bosque secundarios. Los aspectos financieros contempló los ingresos y egresos de las diferentes actividades en los tratamientos involucrados (Hoyo de Luz, Tala Rasa en Faja, Método de protección y Raleo). La localización del estudio fue la zona Centro-Sur de Chile (IX y X regiones) y las áreas de trabajo fueron Neltume (32 ha), Melipeuco (6,1 ha) y Jauja (6,0 ha), donde se instalaron 42 parcelas permanentes.

Los resultados del trabajo indican que el bosque primario de *Nothofagus*, debe ser regenerado con el Método de Protección, por cuanto, la semisombra favorece el desarrollo de la regeneración natural y controla las malezas. Para los bosque secundarios se recomienda el Raleo de Selección y no los sistemas de regeneración: Hoyo de Luz y Tala Rasa en Faja. El método de raleo árbol Futuro (Z- Baum) es adecuado para el manejo de estos rodales.

7. Literaturverzeichnis

- Abetz, P. (1974): Zur Standraumregulierung in Mischbeständen und Auswahl von Zukunftsbäumen. Allgemeine Forst Zeitschrift, 29: 871 - 873.
- Aguilera, R. (1994): Evaluación económica del manejo de renovales de *Nothofagus* (bosque nativo) de la VIII. Región. Concepción-Chile. Ecomomía y administración, Nr. 42: 5-43.
- Almeyda, E. y Saez, F. (1958): Recopilación de datos Climáticos y mapas sinópticos. Ministerio de Agricultura. Depto Tec. interam. Coop. Agrs. Proyecto 14 Santiago-Chile. 195 S.
- Assmann, E. (1961): Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. München, Bonn, Wie: BLV Verlagsgesellschaft. 490 S.
- Avilés, B. (1993): Untersuchungen zur waldbaulichen Behandlung und Bewirtschaftung von Renovales Beständen in Mittelchile. Dissertation Forstwissenschaftliche Fakultät d. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 174 S.
- Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie. New York: Springer. 865 S.
- v. Buch, M. (1970): Der Einfluß vulkanischer Eruption und Erdbeben auf die Böden Südchiles. Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, Band 121: 225 - 252.
- v. Buch, M. und Osorio, M. (1987): Probleme um die *Pinus radiata* - Monokulturen in Chile. Forstarchiv, 58: 249 - 253.
- Burschel, P., Edens, J. y Morello, J. (1991): Política de explotación del bosque nativo. Programa de Cooperación Técnica. Política de manejo del bosque nativo en Chile. 115 S.

- CONAF (Corporación Nacional Forestal), CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente (1999): Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Nacional con variables Ambientales. Santiago, Chile. 80 S.
- Cruz, G. (1993): Untersuchung zur Überführung von südchilenischen *Nothofagus pumilio* - in naturnahe Wirtschaftswälder. Dissertation Forstwissenschaftliche Fakultät d. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 233 S.
- Csapek, H. (1991): Zur Durchforstung von Nothofagus-Sekundärwäldern in Mittelchile. Unveröffentl. Diplomarbeit Forstwissenschaftliche Fakultät d. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 75 S.
- Di Castri, F. y Hajek, E. (1976): Bioclimatografía de Chile. Manual de consulta. 108 S.
- Donoso, C. (1993): Bosques templados de Chile y Argentina. Universitaria Verlag. Santiago-Chile. 484 S.
- Goebel, P.C. and Hix, D.M. (1996): Development of mixed-oak forests in southeastern Ohio: a comparison of second-growth and old-growth forests. For. Ecol. Manage., 84: 1-21.
- Grosse, H. (1983): Untersuchungen zur künstlichen Verjüngung des Bergmischwaldes - Ergebnisse eines Forschungsprojektes in den ostbayerischen Kalkalpen. Forst. Forschungsberichte München, Nr. 55. 203 S.
- Grosse, H., Quiroz, I., Kannegiesser, U. y Valdes, M. (1991): Investigación para el manejo silvícola de diferentes tipos de bosques nativos. Infor-Corfo. Concepción-Chile. 158 S.
- Grosse, H., Quiroz, I. y Valdes, M. (1993): Investigación para el manejo silvícola de diferentes tipos de bosques nativos. Infor-Corfo. Concepción-Chile. 125 S.
- Henríquez, M. (1985): Estrategias regenerativas de *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. y *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst. en el tipo forestal Coigüe-Raulí-Tepa en la Cordillera de los Andes, Provincia de Valdivia. Diplomarbeit, Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität Austral Chile. Valdivia-Chile. 85 S.
- Huber, A. (1975): Beitrag zur Klimatologie und Klimaökologie von Chile. Dissertation. Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München. 87 S.
- Instituto Forestal (Infor) (1996): Boletín de Precios Forestales, Nr. 59. Infor-Corfo. Santiago-Chile. 72 S.
- Kroeger, A. (1986): Respuesta de las especies del sotobosque a tratamiento de regeneración en un bosque de Coigüe-Raulí-Tepa-Mañío. Diplomarbeit Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität Chile. Santiago-Chile. 149 S.
- Müller-Using, B. (1973): Untersuchungen über die Verjüngung von *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst. und ihrer wichtigsten Begleitbaumarten in der chilenischen Anden- und Küstenkordillere. Dissertation Forstwissenschaftliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München. 229 S.
- Müller-Using, B. und Schlegel, F. (1980): Die Entwicklung von Sämlingen chilenischer Nothofagusarten in einer Beschattungsanlage der Universität Valdivia. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 151: 79 - 96.
- Pokorny, B. (1995): Zur Überführung von mittelchilenischen Nothofagus-Renovalesbeständen in Wirtschaftswälder. Dissertation Forstwissenschaftliche Fakultät d. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 199 S.
- Pokorny, B. (1995): Zur Überführung mittelchilenischer Nothofagus-Sekundärwälder in Wirtschaftswälder. Forstarchiv, 68: 109-117.
- Puente, M., Donoso, C., Peñaloza, R. y Morales, E. (1979): Manejo de renovales de Raulí (*Nothofagus alpina*) y Roble (*Nothofagus obliqua*). Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/76/003. Documento de trabajo, Nr. 29. 84 S.
- Quiroz, I. (1998): Untersuchung zur waldbaulichen Behandlung von Nothofagus Primär- und Sekundärwäldern in den Anden der IX. und X. Region Chiles. Dissertation. Forstwissenschaftliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München. 171 S.
- Rack, K. (1974): Damage by solar radiation to the stems of *Nothofagus alpina* European Journal of Forest Pathology, 4: 249.
- Rauch, J. und Schmitt, M. (1991): Methodik und Ergebnisse der Totholzforstung in Naturwaldreservaten. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 110: 114 - 127.
- Schmidt, H., Urzua, A. y Ruston, A. (1981): Ensayos de regeneración de bosque nativo de raulí. Resultados iniciales. Proyecto Conaf/Pnud/Fao-Chi/76/003. Documento de trabajo, Nr. 50:118 S.

- Schmidt, H., Ruston, A. y Donoso, S. (1991): Regeneración natural y artificial en el bosque de Coigüe-Raulí-Mañío. Informe 171 S.
- Schmidt, H., Serra, M. y Kroeger, A. (1994): Respuesta del sotobosque a tratamientos silviculturales de regeneración en un Bosque de Coigüe-Raulí-Tepa-Mañío. Seminario medio ambiente biodiversidad und actividades productivas. S. 124 - 141.
- Schmithüsen, J. (1956): Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. Bonner geogr. Abh., 17: 1 - 89.
- Uebelhör, K. (1984): Struktur und Dynamik von Nothofagus-Urwäldern in den Mittellagen der valdivianischen Anden. Forstl. Forschungsbericht München, Nr. 58. 230 S.
- Utschig, H. (2000): Wachstum vorherrschender Buchen in Abhängigkeit von Standort und Behandlung. Forst u. Holz, 55: 44-50.
- Veblen, T. und Ashton, D. (1978): Catastrophic influences on the vegetation of the Valdivian Andes, Chile. Vegetation, 36: 149 - 167.
- Veit, H. y Garleft, H. (1996): Division Geológico-Geomorfológica de la region de los Bosques Templados. In: Armesto, J., Villagrán und Arroyo, M (Hrsgb.): Ecología de los bosques nativos de Chile. S. 30 - 49.
- Weinberger, P. und Binsack, R. (1970): Zur Entstehung und Verbreitung der Aschenböden in Südchile. Der Tropenlandwirt, 71: 19 - 31.