Kohlenstoffspeicherung in Lenga- (*Nothofagus pumilio*) Primärwäldern Feuerlands und Auswirkungen ihrer Überführung in Wirtschaftswald auf den C-Haushalt

Michael Weber

2001

www.forstbuch.de

ISBN: 3-935638-09-4
© 2001 Verlag Dr. Norbert Kessel, Eifelweg 37, 53424 Remagen-Oberwinter
Tel./Fax: 02228-493
Homepage: www.forstbuch.de

Das Buch ist urheberrechtlich geschützt. Kein Teil des Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages weiterverwendet werden

Vorwort

In den Prospekten der Reiseveranstalter wird Feuerland meist als das „Ende der Welt“ bezeichnet. Für den Autor ist es während der letzten drei Jahre zunehmend zum „Zentrum der Welt“ geworden. Auf dem dazwischen liegenden Weg haben mich viele Freunde und Kollegen begleitet und in unterschiedlichster Weise dazu beigetragen, dass die vorliegende Arbeit fertiggestellt werden konnte.

An erster Stelle ist hier meinem verehrten Lehrer Prof. Dr. Drs. h.c. Peter Burschel zu danken, der mich nicht nur mit dem „CO_2-Virus“ infiziert hat sondern durch seine Tätigkeit am patagonischen Forstforschungszentrum CIEFAP auch wesentliche Voraussetzungen dafür geschaffen hat, dass dieses Projekt durchgeführt werden konnte.

Bei den Feldaufnahmen vor Ort haben mich Roberto Hlousek, Daniel Szulkin und Laura Blaustein tatkräftig unterstützt und mit ihrer herzlichen argentinischen Art dafür gesorgt, dass der Aufenthalt trotz der hohen Arbeitsbelastung und teilweise schwierigen Bedingungen auch zu einer persönlichen Bereicherung wurde. Große Hilfe erhielt ich auch von Dr. José Bava, dem Leiter der Waldbauabteilung des CIEFAP, der mir die Besonderheiten der Lenga-Urwälder näherbrachte und wertvolle Daten seiner eigenen Untersuchungen zur Verfügung stellte. Fachliche und logistische Unterstützung während des Aufenthaltes auf Feuerland erhielt ich auch vom Direktor der Waldbauabteilung der feuerländischen Forstverwaltung, Ricardo Hlopec sowie von Dr. ´Paco´ Carabelli. Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei Frau Laura Richter, die mir in selbstloser Weise unveröffentlichte Daten ihrer Biomasseuntersuchungen an Lenga zur Verfügung stellte und wertvolle Hinweise für die eigenen Biomasseanalysen gab. Auch den Mitarbeitern des CADIC in Ushuaia, insbesondere Luis Pinedo, der mir die Nutzung des Trockenschrankes und der Labors ermöglichte, möchte ich an dieser Stelle Dank sagen.

Auch nach der Rückkehr in die Heimat haben zahlreiche Personen ihren Teil zu dieser Arbeit beigetragen. Allen voran sind hier die Leitung und alle Mitarbeiter des Lehrstuhls für Waldbau zu nennen. Die Professoren Dr. Reinhard Mosandl und Dr. Eckhard Kennel haben die Arbeit stets äußerst wohlwollend gefördert, standen bei fachlichen Fragen hilfreich zur Verfügung und haben mich in den letzten Monaten sehr ´geschont´. Auch Dr. Bernd Stimm und Dr. Christian Ammer haben mir immer wieder durch ihren Einsatz ´den Rücken frei gehalten´ von Verwaltungsangelegenheiten. Ein lästiger Gast war ich bei Dr. Thomas Knoke. Er war immer verfügbar, wenn der Computer Schwierigkeiten bereitete oder forsteinrichtungstechnische Aspekte zu klären waren und hat mich in die Handhabung des Wachstumssimulators SILVA eingewiesen. Zusammen mit MSc. Dipl. Landw. Hany El Kateb war er auch bei statistischen Problemen stets hilfreicher Ansprechpartner. Auch die Damen Barbara Rast, Karin Thoroe und Ingrid Schöfer haben mich auf vielfältige Weise unterstützt und entlastet.

Dank sagen möchte ich auch dem Direktor des Institutes für Holzforschung der TU München, Herrn Prof. Dr. Wegener, sowie seinen Mitarbeitern Dr. Schumacher und Dr.

Zimmer, die mich bei den Analysen der Holzproben unterstützt haben sowie Frau Dr. Windeisen, die die chemischen Analysen durchgeführt hat. Auch Herrn Prof. Dr. Rehfuess und Dr. Schad vom Lehrstuhl für Bodenkunde der Forstwissenschaftlichen Fakultät möchte ich für die Beratung in bodenkundlichen Fragen sowie die Bereitschaft zur Durchführung der chemischen Bodenanalysen danken. Dem Leiter des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde, Herrn Prof. Dr. Pretzsch, danke ich für die Überlassung des Wachstumssimulators SILVA.

Bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) bedanke ich mich für die finanzielle Förderung der Arbeit. Der Deutschen Lufthansa danke ich für die Übernahme der Transportkosten für die Holz- und Bodenproben.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Frau Uschy und meinen Söhnen Florian und Sebastian, deren Geduld ich nicht nur in den letzten Monaten überstrapaziert habe. Sie haben einen großen Teil der Last mit mir getragen und mir immer wieder die Kraft gegeben, die Arbeit zu Ende zu bringen. Ihnen sei diese Studie gewidmet.

VORWORT 1

1 EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK UND ZIELSETZUNG DER ARBEIT 6

2 UNTERSUCHUNGEN ZU DEN C-VORRÄTEN IN LENGA-PRIMÄR-WÄLDERN 10

2.1 UNTERSUCHUNGSGEBIET 10
2.2 UNTERSUCHUNGSBESTÄNDE 12
2.3 DATENERHEBUNGEN IN DEN UNTERSUCHUNGSBESTÄNDEN 13
2.3.1 Boden 13
2.3.2 Totholz 15
2.3.3 Bestandesdaten 17
2.4 HERLEITUNG DER IN DER DENDROMASSE GEBUNDENEN C-VORRÄTE 17
2.4.1 Bestimmung mittlerer Kohlenstoffgehalte von Lengaholz verschiedener Zersetzungsstufen 18
2.4.2 Dichtebestimmung von Lenga-Holz verschiedener Zersetzungsstufen 20
2.4.3 Herleitung der Gesamtbaumbiomassen 24
2.4.3.1 Biomassedaten von RICHTER (1997) 24
2.4.3.2 Eigene Biomasseerhebungen 24
2.4.3.3 Herleitung von Schätzfunktionen für die Biomasse 26
2.5 STATISTISCHE BEARBEITUNG DER AUFNAHMEDATEN UND MODELLIERUNG 30

3 KOHLENSTOFFVORRÄTE IN DEN UNTERSUCHUNGSBESTÄNDEN 31

3.1 KOHLENSTOFFVORRÄTE IM BODEN 31
3.2 KOHLENSTOFF IN DER BODENVEGETATION 33
3.3 KOHLENSTOFFVORRAT IM TOTHOLZ 33
3.4 KOHLENSTOFF IN DER LEBENDEN DENDROMASSE 39
3.5 GESAMTKOHLENSTOFFSPEICHERUNG IN DEN UNTERSUCHUNGSBESTÄNDEN 42

4 DISKUSSION DER UNTERSUCHUNGEN ZU DEN KOHLENSTOFFVORRÄTEN IN DEN ANALYSIERTEN BESTÄNDEN 44

4.1 C-VORRÄTE IM BODEN 44
4.2 C-VORRAT IN DER BODENVEGETATION 44
4.3 C-VORRÄTE IM TOTHOLZ 45
4.4 C-VORRÄTE IN DER LEBENDEN DENDROMASSE 47

5 AUSWIRKUNGEN EINER ÜBERFÜHRUNG AUF DEN C-HAUSHALT 49

5.1 KOHLENSTOFFÖKOLOGISCHE ASPEKTE DER ÜBERFÜHRUNG VON PRIMÄRWÄLDERN 49
5.2 MODELL ZUR BERECHNUNG DER CO_2-ÖKOLOGISCHEN FOLGEN EINER ÜBERFÜHRUNG 49
5.2.1 Waldbauliches Konzept der Überführung 51
5.2.2 Modellierung der Boden-C-Vorräte 52
5.2.3 Modellierung der C-Speicherung im Totholz 54
5.2.4 Simulation der Bestandesentwicklung nach Überführung mit dem Wachstumssimulator SILVA 2.2 56
5.2.4.1 Generieren des Ausgangsbestandes für die Simulation mit SILVA 57
5.2.4.2 Simulation der waldbaulichen Eingriffe 58

5.2.4.3 Ergebnisse der Simulation 59
5.2.4.4 Berechnung der Bestandesbiomasse 59
5.2.5 Modellierung der C-Speicherung in der lebenden Dendromasse 60
5.2.6 Modellierung der C-Speicherung in Holzprodukten 61
5.2.7 Modellierung der Emissionsvermeidung durch Substitution fossiler Energieträger 63
5.2.7.1 Energiesubstitution 64
5.2.7.2 Materialsubstitution 64
5.3 ERGEBNISSE DER MODELLRECHNUNGEN 65
5.3.1 Szenario 1: Überführung ohne energetische Holznutzung 65
5.3.1.1 Veränderungen des Boden-C-Vorrates 66
5.3.1.2 Veränderungen des C-Vorrates im Totholz 68
5.3.1.3 Veränderungen des C-Vorrates in der lebenden Dendromasse 69
5.3.1.4 C-Speicherung in Holzprodukten 69
5.3.1.5 Emissionsvermeidung durch Materialsubstitution 70
5.3.2 Szenario 2: Überführung mit energetischer Holznutzung 70
5.3.2.1 Veränderungen des Boden-C-Vorrates 71
5.3.2.2 Veränderungen des C-Vorrates im Totholz 72
5.3.2.3 Emissionsvermeidung durch Energiesubstitution 73
5.3.3 Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen 74
5.3.3.1 Änderung der Humusbildungsrate 76
5.3.3.2 Änderung der Verweildauer des Bodenhumus 76
5.3.3.3 Änderung der Materialsubstitution 77
5.3.3.4 Änderung des Energiesubstitutionsfaktors 78
5.3.3.5 Änderung der Altholzverwertungsquote 78
5.3.3.6 Änderung der Holzausbeute 80
5.3.3.7 Änderung der Lebensdauer der Holzprodukte 80
5.3.3.8 Änderung der Zersetzungsgeschwindigkeit des Totholzes 81

6 DISKUSSION DER MODELLRECHNUNGEN ZU DEN AUSWIRKUNGEN DER PRIMÄRWALDÜBERFÜHRUNG AUF DEN C-HAUSHALT 83

6.1 PROGNOSEZEITRAUM UND BEZUGSGRÖßEN 83
6.2 C-SPEICHERUNG IM BODEN 85
6.3 C-SPEICHERUNG IM TOTHOLZ 86
6.4 C-SPEICHERUNG IN DER LEBENDEN DENDROMASSE 88
6.5 GESAMTBILANZ OHNE ENERGETISCHE HOLZNUTZUNG 89
6.6 GESAMTBILANZ MIT ENERGETISCHER HOLZNUTZUNG 92

7 GESAMTBEWERTUNG DER ERGEBNISSE UND SCHLUSS-FOLGERUNGEN 95

8 ZUSAMMENFASSUNG 99

8.1 C-VORRÄTE IN DEN VERSCHIEDENEN KOMPARTIMENTEN DER UNTERSUCHTEN BESTÄNDE 99
8.2 AUSWIRKUNGEN EINER ÜBERFÜHRUNG DES PRIMÄRWALDES IN WIRTSCHAFTSWALD AUF DEN C-HAUSHALT 100
8.2.1 Szenario 1: ohne energetische Holznutzung 101
8.2.2 Szenario 2: mit energetischer Holznutzung 102

8.3 SCHLUSSFOLGERUNGEN 103

9 SUMMARY 104

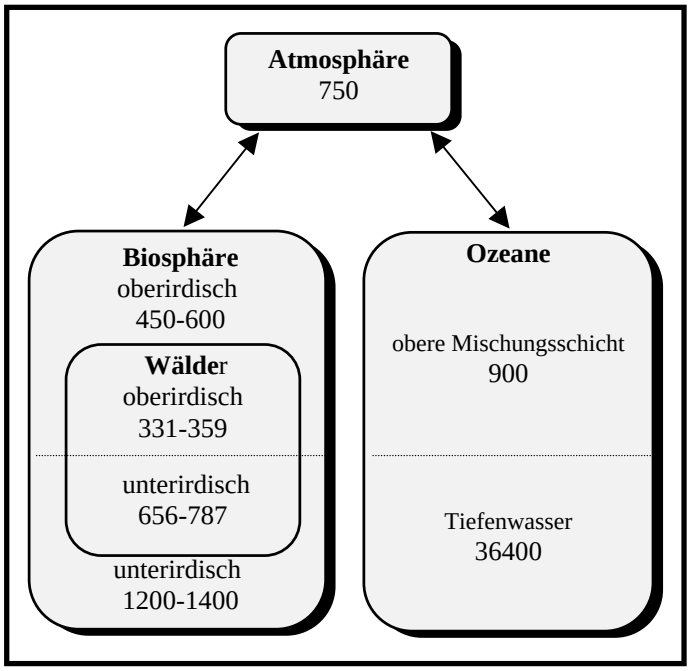
9.1 CARBON STOCKS IN DIFFERENT COMPARTMENTS OF THE INVESTIGATED STANDS 104
9.2 IMPACTS OF THE CONVERSION OF A PRIMEVAL FOREST INTO MANAGED FOREST ON THE CARBON BUDGET 105
9.2.1 Scenario 1: without utilisation of wood for energy substitution 106
9.2.2 Scenario 2: with utilisation of wood for energy production 107
9.3 CONCLUSIONS 108

10 LITERATUR 110

1 Einführung in die Thematik und Zielsetzung der Arbeit

Der Kohlenstoffkreislauf der Erde umfasst die Atmosphäre, die terrestrische Biosphäre inklusive der Böden sowie die Ozeane (Abb. 1-1). Am Kohlenstoffgehalt der Biosphäre haben die Wälder den größten Anteil. Sie enthalten etwa 50-60 % des gesamten in terrestrischen Ökosystemen enthaltenen organischen Kohlenstoffs (C). Jährlich wird zwischen der Atmosphäre und der terrestrischen Biosphäre Kohlenstoff in der Größenordnung von 100 Gt ausgetauscht, eine Menge, die zu über 80 % auf den Auf- bzw. Abbau von Biomasse in Wäldern zurückgeht (SCHNEIDER 1989; EK 1994; KOHLMAIER u. HABERMEHL 1995). Die Wälder sind somit eine Hauptkomponente im natürlichen Kohlenstoffkreislauf der Erde (POST et al. 1990; SCHROEDER 1992, SMITH et al. 1993).

Abbildung 1-1: Der Kohlenstoffkreislauf der Erde (zusammengestellt nach Daten von SMITH et al. 1993; EK 1994; DIXON et al. 1994; BROWN et al. 1995; IPCC 1995). Alle Angaben in Gt C.



Durch die Verbrennung riesiger Mengen fossiler Brennstoffe sowie die Zerstörung von Wäldern greift der Mensch in den natürlichen C-Kreislauf ein: jährlich werden etwa 7,1 Gt C durch menschliche Aktivitäten in die Atmosphäre emittiert (IPCC 1995). Eine Folge daraus ist der Anstieg der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration mit der Gefahr weltweiter Klimaänderungen.

In diesem Zusammenhang sind die Wälder als Speicher wie als Quelle oder Senke für das Treibhausgas CO_2 besonders in den Blickpunkt der Wissenschaft gerückt (z.B. ARMENTANO u. RALSTON 1980; DETWILER u. HALL 1988; BURSCHEL u. WEBER 1988; MUSSELMAN u. FOX 1991; KAUPPI et al. 1992; SEDJO 1992; BURSCHEL et al. 1993; DIXON et al. 1994; KURZ u. APPS 1994; IPCC 1995; COHEN et al. 1996; TANS et al. 1990 u. 1998). Jede Veränderung der Flächenausdehnung oder des Speichervolumens von Wäldern bedingt nämlich einen CO_2-Fluß zwischen Wald und Atmosphäre, dessen Vorzeichen von der Art der Veränderung abhängig ist: Bei Vergrößerung der Waldfläche oder Vorratserhöhungen in vorhandenen Wäldern ist der Fluss zum Wald hin gerichtet, d.h. es kommt zu einer Nettoentlastung der Atmosphäre. Wird dagegen Wald zerstört oder sein Vorrat vermindert, so entsteht der umgekehrte Effekt: es kommt zu einer weiteren Erhöhung des atmosphärischen CO_2-Gehaltes.

HOUGHTON (1998) schätzt, dass allein durch die Umwandlung von Wald in landwirtschaftliche Flächen seit 1850 weltweit etwa 75 Gt C freigesetzt wurden. Zwischen 1980 und 1989 wurden nach globalen Modellrechnungen durch menschliche Aktivitäten jährlich 1,6 ±1,0 Gt C aus Wäldern - hauptsächlich durch Entwaldung in den Tropen - emittiert, gleichzeitig jedoch 0,5 ±0,5 Gt/Jahr von den Wäldern der nördlichen Hemisphäre zusätzlich aufgenommen (IPCC 1995).

Wie aus den großen Schwankungsbereichen der genannten Zahlen zu ersehen ist, sind die Unsicherheiten bei der Abschätzung der globalen C-Pools und -Flüsse erheblich. Ein Grund hierfür ist das Fehlen zuverlässiger regionaler Daten zur Kohlenstoffbindung in den verschiedenen Kompartimenten der Waldökosysteme, vor allem der unterirdischen (BROWN et al. 1991; COHEN et al. 1996; CANNELL 1998). Die großräumigen bzw. globalen Abschätzungen basieren deshalb meist auf einer begrenzten Anzahl von Biomen oder Ökosystemtypen, die große Gebiete repräsentieren (PRENTICE 1990; PRENTICE et al. 1992; CRAMER u. SOLOMON 1993; KOLCHUGINA u. VINSON 1993).

Ein weiterer Grund für den großen Unsicherheitsbereich sind die Probleme, die mit der Quantifizierung von Landnutzungsänderungen und den damit einhergehenden Änderungen des Kohlenstoffhaushaltes verbunden sind (POST et al. 1990; BROWN 1993; HOUGHTON 1993 u. 1998; KREILEMAN u. ALCAMO 1998; LUGO u. BROWN 1992; MAYAUX et al. 1998). Sie rühren zum einen daher, dass das Ausmaß der Flächenveränderungen - häufig handelt es sich dabei um im Einzelfall zwar äußerst geringfügige, dafür aber in großer Anzahl stattfindende Änderungen - nur schwer erfassbar ist. Zum anderen ist es zur Abschätzung der mit einer Nutzungsänderung verbundenen Freisetzung oder Bindung von Kohlenstoff erforderlich, auch den Zustand des Systems vor der Veränderung zu kennen, was vielfach nicht gegeben ist. Das gilt ebenso für solche Fälle, bei denen es nicht zu einer Nutzungsänderung kommt sondern - z.B. durch Bewirtschaftungsmaßnahmen - nur zu einer Erhöhung oder Verringerung der Biomassedichte.

Vor diesem Hintergrund befasst sich die vorliegende Studie mit der Überführung von Naturwäldern in Wirtschaftswald. Naturwälder in der Gleichgewichtsphase sind zwar in Bezug auf den Kohlenstoffkreislauf neutral, da sich in ihnen Auf- und Abbauvorgänge, also Bindung und Freisetzung von CO_2 in etwa die Waage halten (BORMANN u. LIKENS

1981; BIRDSEY et al. 1993; BURSCHEL u. HUSS 1997). Gleichzeitig stellen sie aber bedeutsame Kohlenstoffspeicher dar, weil in ihnen große Mengen an Biomasse akkumuliert sind (HARMON et al. 1990; DIXON et al. 1994; STEWART u. BURROWS 1994). Die Abschätzung der mit der Umwandlung solcher Wälder verbundenen CO_2-Freisetzung ist durch lückenhafte Kenntnis der Gesamtkohlenstoffvorräte noch mit großen Unsicherheiten behaftet (DIXON et al. 1994; IPCC 1995; COHEN et al. 1996). HOUGHTON (1995) gibt z.B. den prozentualen Kohlenstoffverlust in der Vegetation mit 10-50 % der ursprünglichen Menge bei Exploitation und mit 30-50 % bei Umwandlung in Plantagen an. Zwar liegen zahlreiche Biomasseuntersuchungen aus Naturwäldern vor, häufig sind jedoch nicht alle für die Berechnung des Gesamtkohlenstoffvorrates benötigten Kompartimente (Boden, Bodenvegetation, Totholz, ober- und unterirdische Dendromasse) erfasst worden (z.B. LEIBUNDGUT 1982; MAYER u. OTT 1991; KORPEL 1995).

Eine andere Eigenart von Urwäldern in der Gleichgewichtsphase ist, dass die Produktionsleistung wegen des hohen Alters deutlich geringer ist, als die von Wirtschaftswäldern, die sich in der Aufbauphase befinden (BORMAN u. LIKENS 1981, DENGLER 1992; BURSCHEL u. HUSS 1997). Vor diesem Hintergrund wird immer wieder die Frage gestellt, ob es nicht mit Blick auf eine Verbesserung der C-Bilanz günstiger ist, „unproduktive“ Naturwälder in hoch produktive Wirtschaftswälder umzuwandeln. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass in Urwäldern das Holz ungenutzt verrottet, während bei Bewirtschaftung ein großer Teil des produzierten Holzes zu Produkten verarbeitet wird, in denen der im Holz gebundene Kohlenstoff für deren Lebensdauer auch weiterhin gebunden bleibt (WEBER u. BURSCHEL 1992; FRÜHWALD u. WEGENER 1993). Zusätzlich kann Holz dazu genutzt werden, fossile Ressourcen direkt oder indirekt zu substituieren und damit die Emission fossilen Kohlenstoffs in die Atmosphäre zu vermeiden (BURSCHEL u. WEBER 1988; HALL et al. 1991a; WEGENER u. FRÜHWALD 1994; WEGENER et al. 1994; SCHLAMADINGER u. MARLAND 1996). Unter direkter Substitution ist dabei zu verstehen, dass Holz unmittelbar dazu verwandt wird, fossile Energieträger, z.B. Kohle oder Öl, zu ersetzen (Energiesubstitution). Bei der indirekten, sogenannten Materialsubstitution werden Produkte, für deren Gewinnung, Herstellung oder Entsorgung hohe Mengen fossiler Energie benötigt werden (z.B. Aluminium oder Stahl) durch gleichwertige Produkte aus Holz ersetzt, die nur sehr wenig fossilen Energieinput benötigen. Bei einer Bilanzierung der Effekte einer Umwandlung oder Überführung von Urwald in Wirtschaftswald sind all diese Aspekte deshalb mit zu berücksichtigen.

Ein konkreter Anlass, die mit der Überführung von Primärwäldern in Wirtschaftswald verbundenen Fragen umfassend zu untersuchen bot sich auf Feuerland. Dort sollen mehrere hunderttausend Hektar *Nothofagus pumilio* (Lenga-)-Urwälder in Wirtschaftswald überführt werden (BAVA 1997, LENGA PATAGONIA 1997). Der Urwaldbegriff wird hier im Sinne von LEIBUNDGUT (1982) verstanden, der ihn nicht auf einzelne Bestände bezieht „*sondern auf gesamte, ausgedehnte Waldkomplexe, deren Standorte, Vegetation, Baumartenmischung und Aufbau seit jeher ausschließlich durch natürliche Standort- und Umweltfaktoren bedingt wurden*“. Als Überführung wird nach LAMPRECHT (1986) “die graduelle und allmähliche Umformung eines Waldes in Zusammensetzung und/oder Aufbau“ bezeichnet. Sie stellt im Gegensatz zur Umwandlung, bei der die ursprüngliche

Bestockung beseitigt und durch - häufig mit einer anderen Baumart - künstlich begründete Bestände ersetzt wird, ein vergleichsweise naturnahes Verfahren dar (LAMPRECHT 1986; BURSCHEL u. HUSS 1997).

Lenga ist eine der wichtigsten Naturwaldbaumarten Argentiniens. Bestände dieser Baumart bedecken eine Fläche von rund 1,1 Mio. ha, davon etwa 1 Mio. ha Reinbestände (BAVA 1997). Der größte zusammenhängende Teil dieser Wälder ist auf Feuerland, der südlichsten Provinz Argentiniens, zu finden. Dort erstrecken sich Lengabestände über eine Fläche von rd. 490.000 ha, wovon etwa 300.000 ha als produktiver Wald und damit potentieller Wirtschaftswald betrachtet werden (DIRECCION DE BOSQUES 1996). Bisher sind durch ungeregelte Nutzungen nur etwa 50.000 ha beeinflusst, so dass es sich weitgehend um unberührte Naturwälder, der größte Teil davon mit Gleichgewichtsstruktur, handelt (DIRECCION DE BOSQUES 1996; BAVA 1997). Da die gleichen Exploitationsabsichten im chilenischen Teil Feuerlands bestehen, muß unter Umständen mit erheblichen CO_2-Freisetzungen in dieser Region gerechnet werden.

Ziel der vorliegenden Studie war es daher, zu klären,

1. welche Mengen an Kohlenstoff in den verschiedenen Kompartimenten der Lenga-Urwälder gespeichert sind,
2. welche Auswirkungen auf die C-Speicherung bei der Überführung in Wirtschaftswald zu erwarten sind und
3. in welchem Umfang diese Auswirkungen durch die Verwendung des geernteten Holzes beeinflusst werden.

2 Untersuchungen zu den C-Vorräten in Lenga-Primärwäldern

Der Zielsetzung entsprechend soll im ersten Teil der Arbeit zunächst der Frage nachgegangen werden, welche Mengen an Kohlenstoff in den verschiedenen Kompartimenten der Lenga-Urwälder festgelegt sind. Die Untersuchungen hierzu umfassten Datenerhebungen in mehreren Probeflächen, Biomasseerhebungen an Einzelbäumen und die Analyse von Holzproben. In den nachfolgenden Kapiteln werden zunächst das Untersuchungsgebiet, die Untersuchungsbestände sowie die einzelnen Schritte zur Herleitung der C-Vorräte beschrieben. Die im Zuge der notwendigen Vorarbeiten angefallenen Ergebnisse werden jeweils unmittelbar im betreffenden Abschnitt mitgeteilt. Die anhand dieser Befunde und den Aufnahmen in den Probeflächen berechneten C-Vorräte in den verschiedenen Kompartimenten der Untersuchungsbestände werden dann in Kap. 3 vorgestellt.

2.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im argentinischen Teil Feuerlands und erstreckt sich südlich des Lago Fagnano vom Lago Escondido im Westen bis zur Ortschaft Tolhuin im Osten (Abb. 2-1).

Die wichtigsten Daten zur standörtlichen Charakterisierung des Untersuchungsgebietes sind in Tab. 2.1 zusammengestellt. Das Klima im Verbreitungsgebiet der Lengawälder Feuerlands wird von FRANGI u. RICHTER (1994) als “ausgesprochen isohygrisch und ganzjährig ohne Feuchtigkeitsdefizit“ bezeichnet. Die Jahresniederschläge schwanken zwischen 550 mm in den tieferen und 730 mm in den höheren Lagen. Für die Böden ist vor allem die geringe Durchwurzelungstiefe kennzeichnend (Abb. 2-2). Eine ausführliche Beschreibung der klimatischen und standörtlichen Verhältnisse hat BAVA (1997) gegeben.

Tabelle 2.1: Standörtliche Charakteristika des Untersuchungsgebietes (nach BAVA 1997)

Höhenlage	140-270 m ü. NN
Boden	
Bodentyp	± stark podsol. Braunerden
Durchwurzelungstiefe (mittl./max)	28/44 cm
pH-Werte	3 - 4,6
mittl. Jahresniederschlag	550 - 700 mm
Jahresdurchschnittstemperatur	5,6 ^{0}C

Abbildung 2-1: Untersuchungsgebiet und Lage der Probeflächen (obere Grafik nach VEBLEN et al. 1996, veränd.; untere Grafik nach BUSCAINI u. METZELTIN 1990, ergänzt)

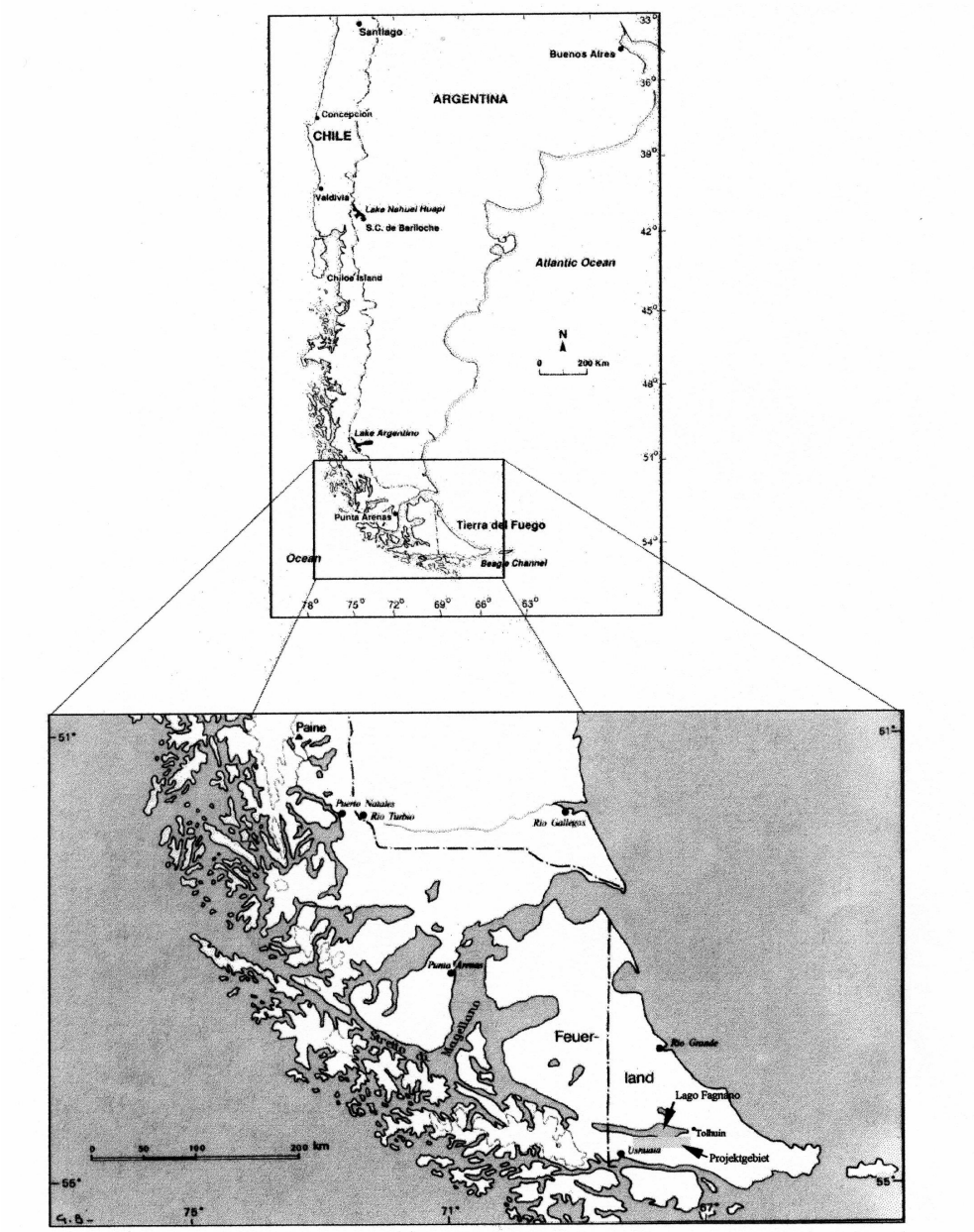
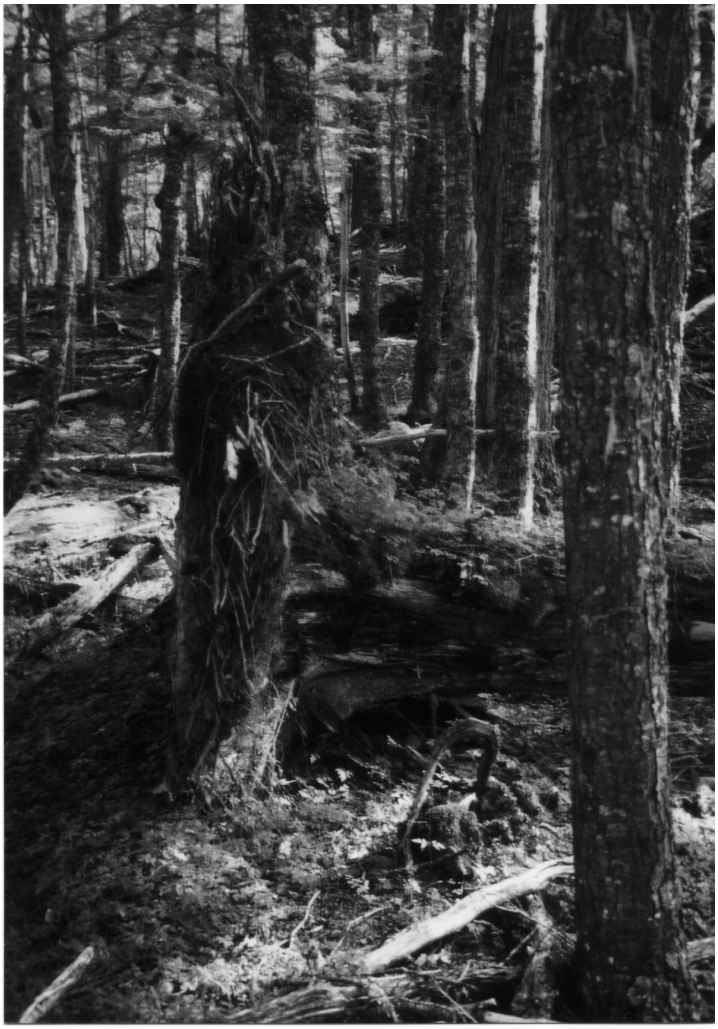


Abbildung 2-2: Typischer Wurzelteller eines umgestürzten Baumes auf extrem flachgründigem Standort



Ein besonders zu erwähnendes Charakteristikum des Untersuchungsgebietes sind ganzjährig auftretende Starkwindereignisse mit Geschwindigkeiten bis zu 120 km/h, die zu flächigen Sturmwürfen führen können.

2.2 Untersuchungsbestände

Für die geplanten Untersuchungen bot sich die Nutzung einer Versuchsanlage an, die 1995 vom Centro de Investigacion y Extension Forestal Andino Patagonica (CIEFAP) angelegt worden war, um waldbauliche Konzepte für die Überführung in Wirtschaftswald zu untersuchen. Sie umfasst einen zentralen Untersuchungsbestand (Nr. 1, Valdez) von 48,6

ha Größe in einem bisher unberührten *Nothofagus pumilio*-Urwald sowie eine Reihe kleiner Probeparzellen in anderen Waldflächen des Untersuchungsgebietes. Obwohl für die vorliegende Arbeit der Bestand Valdez im Mittelpunkt stand, wurden auch in den übrigen Probeflächen Aufnahmearbeiten durchgeführt. Das hatte folgende Gründe:

- Bei fünf der Probeflächen (Nr. 2-6) handelt es sich um Naturwaldbestände bzw. kleine Teile davon mit Altern zwischen 40 und 160 Jahren, die nach Sturmwürfen auf Kahlflächen oder unter einem lichten Schirm verbliebener ´Überhälter´ entstanden sind. Sie sind mehr oder weniger gleichaltrig und weitgehend gleichförmig, so dass sie den in Wirtschaftswäldern erwarteten Strukturen sehr ähnlich sind. Die Herleitung der Kohlenstoffvorräte in diesen Beständen sollte zum einen Vorstellungen über das kleinflächige Spektrum der C-Vorräte in Naturwäldern vermitteln und zum anderen einen Anhalt für die Überprüfung der Modellrechnungen zu den Auswirkungen einer Überführung in Wirtschaftswald (s. Kap. 5) bieten.
- Die Probeflächen 7 und 8 liegen in einem Jungbestand, der Ende der 70er Jahre nach experimentellen Kahlhieben entstanden ist (MUTARELLI et al. 1968). Die beiden Flächen unterscheiden sich dadurch, dass auf Fläche 7 zusätzlich zur Hiebsmaßnahme auch der Schlagabraum von der Fläche entfernt wurde. Von den Aufnahmen in diesen beiden Probeflächen wurden Hinweise auf mittelfristig eventuell zu erwartende Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen erwartet.

Die wichtigsten Kenndaten aller Bestände sind in Tab. 2.2 zusammengestellt.

2.3 Datenerhebungen in den Untersuchungsbeständen

Der Gesamtkohlenstoffvorrat eines Bestandes ergibt sich als Summe der in den einzelnen Kompartimenten (Boden, Totholz, lebende Dendromasse) gespeicherten C-Mengen. Für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte der Untersuchungsbestände mussten daher für jedes dieser Kompartimente die erforderlichen Informationen erhoben werden. In den folgenden Abschnitten werden die hierbei angewandten Verfahren beschrieben.

2.3.1 Boden

Für die im Rahmen der Untersuchungen des CIEFAP durchgeführten waldbaulichen Eingriffe war der Bestand Valdez in fünf Teilflächen unterschiedlicher Größe unterteilt worden. Für die eigenen Untersuchungen wurden auf jeder dieser Teilflächen jeweils drei Bodenproben, also insgesamt 15, gewonnen. Auf der mit 16 ha größten Teilfläche wurden drei zusätzliche Bodenproben entnommen, so dass insgesamt 18 Proben zur Verfügung standen. Die Entnahmestellen für die Probenahmen wurden nach dem Zufallsprinzip den Stichprobeninventurpunkten zugeordnet.

In jeder der übrigen Probeflächen (2-8) wurden ebenfalls jeweils drei Proben in zufälliger Verteilung (insgesamt 21 Proben) gewonnen.

Tabelle 2.2: Ertragskundliche Kenndaten der aufgenommenen Bestände (nach BAVA 1997, ergänzt)

Nr.	Bezeichnung	Alter (ca.) Jahre	N/ha	mittl. BHD cm	mittl. Höhe m	G m^2/ha	Aufnahme-fläche	Charakteristik
1	Valdez	1 bis 300	683	34,7	23,2	60,4	77 Inventurpunkte	Gleichgewichtswald
2	Rio Valdez	160	676	31,7	22,0	62,6	3000 m^2	± gleichförmiges Baumholz, nach Sturmwurf entstanden
3	Termas	140	995	27,5	17,6	56,4	7700 m^2	schwaches Baumholz mit einz. ´Überhältern´, nach Sturm
4	Castorera	100	1880	21,6	20,7	64,8	250 m^2	gleichförmiges angehendes Baumholz, nach Sturm
5	Bronzovic links	40	20970	7,9	8,6	49,9	1000 m^2	Jungbestand, nach Sturm, mit einzelnen Schirmbäumen
6	Bronzovic rechts	40	41500	7,8	7,5	26,1	1000 m^2	Jungbestand, nach Sturm
7	Kaiken mit*	32	32100	7,1	7,4	35,1	1000 m^2	Jungbestand nach Kahlhieb mit Beseitigung des Schlagabraumes
8	Kaiken ohne*							Jungbestand nach Kahlhieb ohne Schlagräumung

* Vor 3 Jahrzehnten experimentell angelegte Kahlhiebe (vgl. MUTARELLI et al.1968)

Zur Bestimmung der organischen Auflage wurde ein quadratischer Stechrahmen (20x20x10 cm) bis zum oberen Rand in den Boden getrieben. Nach Bestimmung der Mächtigkeit der Auflage wurden sämtliche dem Boden aufliegenden gröberen Äste und die oberirdischen grünen Pflanzenteile entnommen und dann das verbleibende organische Material in Plastiktüten verpackt. Dabei wurde darauf geachtet, dass keine Mineralbodenpartikel in die Probe gelangten. Eine Trennung nach unterschiedlichen Humushorizonten erfolgte nicht.

Der Mineralboden wurde bis zu einer Tiefe von 30 cm erfasst. Eine tiefer reichende Beprobung bereitete wegen des hohen Skelettanteils und der enormen Verdichtung des Unterbodens zu große Probleme, v.a. zeitlicher Art. Aufgrund der extremen Flachgründigkeit der Standorte schien eine Beschränkung auf 30 cm auch vertretbar.

Zur Beprobung wurde nach Gewinnung der organischen Auflage in der Mitte des Stechrahmens ein Hohlbohrer mit 5 cm Bohrkerndurchmesser (19,635 cm^2) in den Boden getrieben und die damit gewonnenen Proben nach den Bodentiefen 0-10,0 cm, 10,1-20,0 cm und 20,1-30,0 cm getrennt in Plastiktüten verpackt. Die Proben wurden - je nach Feuchtigkeit - zunächst ein bis zwei Tage lang vorgetrocknet und dann in Papiertüten umgepackt. Danach wurden sie in einem Trockenschrank des CADIC (Centro Austral de Investigaciones Cientificas) bis zur Gewichtskonstanz getrocknet (Mineralboden bei ca. 80 ^{0}C, Humusproben bei ca. 60 ^{0}C) und auf $^1/_{10}$ Gramm gewogen. Anschließend wurden mittels eines Feinsiebes mit Maschenweite 2 mm Feinboden- und Skelettanteile sowie Wurzelteile >2 mm getrennt und zum Transport nach München wieder in Plastikbeutel verpackt. Der Skelettanteil wurde gewogen und anschließend entsorgt.

Die Feinbodenproben wurden in München erneut getrocknet, in einer Scheibenmühle gemahlen und im Labor des Lehrstuhls für Bodenkunde der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München mit einem LECO-SC-444 Schwefel-Kohlenstoff-Analysator chemisch analysiert.

2.3.2 Totholz

Zur Ermittlung der Totholzmenge im Untersuchungsbestand Valdez wurden 33 rechteckige Probeflächen von je 120 m^2 Größe aufgenommen. In den übrigen Flächen waren es je nach Bestandesgröße und -form 1 bis 3 Teilparzellen mit Größen zwischen 60 und 120 m^2 (Tab. 2.3).

Abgestorbenes Holz durchläuft einen Abbauprozess, in welchem es über verschiedene Zersetzungsstadien zu CO_2 und Wasser wird. Ein Teil wird auch in Bodenhumus umgewandelt. Die Geschwindigkeit des Zerfalls ist von zahlreichen endogenen (z.B. chemische und physikalische Holzeigenschaften) und exogenen (z.B. Klima, Boden, forstliche Maßnahmen) Faktoren abhängig, so dass die Zeitspanne zwischen Absterben und völliger Zersetzung von wenigen Jahren bis zu mehreren hundert Jahren betragen kann (HARMON et al. 1986; FRANGI et al. 1997). Mit zunehmender Zersetzung nimmt die Dichte des Holzes ab, so dass zwischen frischem und stark zersetztem Holz erhebliche Unterschiede in der Raumdichte bestehen können, was für die Ermittlung des C-Vorrates von großer Bedeutung ist. Deshalb wurde das Totholz bei den Aufnahmen in den Untersuchungsbeständen nach verschiedenen Zersetzungsgraden klassifiziert. Für die Klassifikation von Totholz sind in der Literatur zahlreiche Verfahren beschrieben (MASER u. TRAPPE 1984; HARMON et al. 1986; ALBRECHT 1990; RAUH u. SCHMITT 1991; UTSCHICK 1991; PRIETZEL 1994; STEWART u. BURROWS 1994; RENVALL 1995; ERDMANN u. WILKE 1997). Fast alle Verfahren beruhen auf Klassifikationskriterien, die sich an dem Vorhandensein von Rinde und kleinen Zweigen, an der Textur und Farbe des Holzes, der Form des Stammes, der Festigkeit des Holzes oder dem Vorhandensein spezieller Zersetzerorganismen orientieren. Die Gewichtung der einzelnen Merkmale ist stark von der jeweiligen Zielsetzung abhängig. Bei fast allen Verfahren wird jedoch ein von außen nach innen fortschreitender Zersetzungsprozess unterstellt.

Tabelle 2.3: Größe der Aufnahmeflächen und Anzahl der Probeparzellen

Bestand Nr.	Stichprobenplots N	Form m x m	Größe m^2	Σ Aufnahmefläche m^2
1	33	6 x 20	120	3960
2	2	6 x 20	120	
	1	10 x 10	100	340
3	3	3 x 20	60	
	1	6 x 20		300
4	1	5 x 50	120	250
5	2	6 x 20	120	240
6	2	6 x 10	60	120
7	2	3 x 10	30	60
8	1	6 x 10	60	60
Gesamt	48	-	-	5330

Die eigenen Aufnahmen wurden in grober Anlehnung an das von ALBRECHT (1990) vorgeschlagene Klassifikationsschema zur Einschätzung des Zersetzungsgrades durchgeführt. Die Zuordnungskriterien mussten jedoch den örtlichen Verhältnissen und zeitlichen Möglichkeiten entsprechend abgewandelt werden. Das war erforderlich, weil die Totholzstücke nach den Kriterien von ALBRECHT (1990) den Zersetzungsstufen nicht eindeutig zugeordnet werden konnten. So waren zum Beispiel Stücke mit völlig unterschiedlichen Erscheinungsbildern insgesamt dennoch dem gleichen Zersetzungsgrad zuzuordnen. Ursächlich dafür war, dass bereits das zu Boden kommende Totholz - je nach Durchmesser und Höhenbereich aus dem es stammte - in sehr unterschiedlichem Ausmaß Fäulen aufwies, so dass die Zersetzung sehr unterschiedlich von innen und außen gleichzeitig vonstatten gehen konnte bzw. fortgeschritten war. Dabei konnten zwischen einzelnen Stammabschnitten sehr große Unterschiede auftreten. So war es z.B. möglich, dass ein Stamm im unteren oder mittleren Teil bereits im stehenden Zustand stark von Fäulen betroffen und weitgehend zersetzt war, während der obere Abschnitt noch weitgehend unzersetzt war.

Die eigenen Aufnahmen innerhalb der Probeflächen wurden deshalb nach folgenden Kriterien vorgenommen:

- Unterscheidung nach stehendem und liegendem Totholz sowie zwischen „natürlichem“ und solchem, das durch die vom CIEFAP durchgeführten Hiebsmaßnahmen angefallen war.
- Mindestdurchmesser an der Mitte des Totholzstückes: 10 cm (Bestand 1); 5 cm (Bestände 2-8). Beim liegenden Totholz wurde der Mittendurchmesser durch Messung des größten und kleinsten Durchmessers mit der Kluppe und anschließende Mittelbildung erhoben. Der Mindestdurchmesser galt als erreicht, wenn der größere der beiden Durchmesser den geforderten Mindestwert erbrachte. War ein Stück durch einen

aufliegenden Stamm im Messbereich eingedrückt, so wurde der Durchmesser durch Messung beiderseits der Quetschstelle im unbeeinflussten Stammbereich und anschließende Mittelbildung ermittelt. Beim stehenden Totholz wurde der Mittendurchmesser mit einem Laserdendrometer gemessen.

- Mindestlänge der Totholzstücke: 1 m. Stämme, die für Untersuchungszwecke (Bestimmung des Fäuleanteils) zerteilt worden waren, wurden durch Aufsummieren der Einzelstücklängen als zusammenhängendes Stück aufgenommen (inkl. Ermittlung des mittleren BHD). Die Länge liegenden Totholzes wurde mit dem Maßband gemessen, die des stehenden Totholzes mit dem Laserdendrometer.
- Zersetzungskategorien: Die Zuordnung der Totholzstücke zu vier verschiedenen Zersetzungskategorien wurde nach folgenden Kriterien vorgenommen:

Kategorie 1 =	Stück durchgehend hart, keine oder kaum Zersetzung erkennbar.
Kategorie 2 =	Rinde lose/ab; noch beilfest; beginnende Zersetzung von innen und/oder außen; Gesamtfäuleanteil bis 1/3 des Durchmessers bzw. der Länge des Stückes.
Kategorie 3 =	Splint und/oder Kern weich, zum Teil aber noch beilfest; deutliche Zersetzung von innen und/oder außen; Gesamtfäuleanteil über 1/3 des Durchmessers bzw. der Länge des Stückes.
Kategorie 4 =	Gesamtes Totholzstück stark vermodert; durchgehend weich; Umrisse aufgelöst.

2.3.3 Bestandesdaten

Zur Ermittlung der ertragskundlichen Daten der Untersuchungsfläche Valdez konnte auf eine systematische Stichprobeninventur (80 x 80 m Rasterweite) mit insgesamt 77 Aufnahmeeinheiten zurückgegriffen werden, die im Rahmen der Untersuchungen des CIEFAP durchgeführt worden war. Auf jeder Aufnahmeeinheit waren alle Bäume - in Abhängigkeit von ihrem Durchmesser oder der Höhe - in konzentrischen Probekreisen von 600 m^2 (BHD ≥50cm), 300 m^2 (BHD ≥10cm und < 50cm), 10 m^2 (Höhe >1,3m, BHD <10cm) und 2 m^2 (Höhe <1,3m) aufgenommen worden. Eine detaillierte Beschreibung der Stichprobeninventur findet sich in der Arbeit von BAVA (1997).

Auf den übrigen Probeflächen wurden zur Erfassung der ertragskundlichen Daten Vollkluppungen durchgeführt.

2.4 Herleitung der in der Dendromasse gebundenen C-Vorräte

Die in einem Baum gebundene Kohlenstoffmenge wird üblicherweise (z.B. DEWAR u. CANNELL 1992; SCHROEDER 1992; BURSCHEL et al. 1993; HOCH et al. 1995; TURNER et al. 1995; BÖSWALD 1996; SCHÖNE u. SCHULTE 1999) berechnet als

$$\textbf{C-Vorrat} = \textbf{Vol}_D * \textbf{Exp}_a * \textbf{R} * \textbf{C\%}$$

wobei
Vol_D = Derbholzvolumen (m^3);
Exp_a = altersabhängiger Expansionsfaktor für Reisig- und Wurzelanteil
R = Raumdichte (kg/m^3);
C% = Kohlenstoffgehalt in Prozent

Diese Vorgehensweise setzt jedoch voraus, dass ausreichende Datengrundlagen zu den einzelnen Faktoren vorliegen. Für die Herleitung der Expansionsfaktoren stehen z.B. in der Bundesrepublik Deutschland Reisigtafeln für die wichtigsten Baumarten zur Verfügung (BURGER 1949/50, GRUNDNER u. SCHWAPPACH 1952). SCHÖNE u. SCHULTE (1999) haben regressionsanalytisch aus verschiedenen Biomasseuntersuchungen Schätzfunktionen für Expansionsfaktoren für Buche, Fichte, Eiche und Douglasie hergeleitet. Für *Nothofagus pumilio* auf Feuerland stehen solche Faktoren bisher nicht zur Verfügung. Außerdem weisen die untersuchten Urwaldbestände Besonderheiten - wie z.B. sehr hohe Fäulegrade des stehenden Holzes - auf, die eine Modifikation des obigen Verfahrens erforderlich machten. Die für die Kalkulation der Kohlenstoffvorräte in der Dendromasse benötigten Grundlagen wie C-Gehalte und Raumdichten von Holz unterschiedlicher Fäulegrade sowie Baumbiomassen mussten deshalb im Rahmen der Untersuchung selbst erhoben bzw. hergeleitet werden. Hierzu wurden Analysen von Holz- und Blattproben sowie Biomasseuntersuchungen an Einzelbäumen durchgeführt. Das methodische Vorgehen bei der Erhebung bzw. Herleitung der benötigten Informationen sowie die dabei erzielten Ergebnisse werden in den folgenden Kapiteln erläutert.

2.4.1 Bestimmung mittlerer Kohlenstoffgehalte von Lengaholz verschiedener Zersetzungsstufen

Der Kohlenstoffgehalt darrtrockenen Holzes wird im allgemeinen mit 50 % des Darrgewichtes angenommen. In den meisten Arbeiten zur Kohlenstoffspeicherung in Wäldern wird daher auch dieser Wert zugrunde gelegt (z.B. DEWAR u. CANNELL 1992; BURSCHEL et al. 1993; HEATH et al. 1993; HOCH et al. 1995; BÖSWALD 1996). Im Rahmen dieser Studie wurden jedoch aus zwei Gründen eigene Untersuchungen hierzu durchgeführt: Zwar bestehen zwischen einzelnen Baumarten nur geringe Unterschiede im C-Gehalt (vgl. VORREITER 1949; KNIGGE u. SCHULZ 1966), bei der Hochrechnung auf Bestände oder gar Regionen können die geringen Differenzen zwischen den Baumarten jedoch durchaus beachtenswerte Vorratsunterschiede ergeben. Von größerer Bedeutung für die eigene Arbeit war jedoch, dass STEWART u. BURROWS (1994) bei Untersuchungen in Urwaldbeständen aus *Nothofagus fusca* und *N. menziesii* in Neuseeland einen Anstieg des Kohlenstoffgehaltes mit fortschreitendem Zersetzungsgrad des Holzes festgestellt haben. Wegen der großen Totholzmengen sowie hohen Fäuleanteilen des stehenden Vorrates in

den Untersuchungsbeständen musste diesem Aspekt daher auf jeden Fall nachgegangen werden.

Für die Analysen wurden in den Untersuchungsbeständen Blattproben sowie Stammscheiben mit unterschiedlichen Fäuleanteilen gewonnen und nach München transportiert. Aufgrund der Fäulen sind auf dem Transport jedoch viele Stammscheiben zerfallen und konnten für die Entnahme von Proben nur noch teilweise genutzt werden. Deshalb standen in den verschiedenen Zersetzungskategorien nicht überall gleich viele Proben für die Analyse zur Verfügung.

Zur Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes verschiedener Baumkompartimente (Holz, Rinde, Blätter) wurden insgesamt 42 Proben am Institut für Holzforschung der Universität München analysiert. Bei den Holzproben wurden für die Analyse drei verschiedene Zersetzungsgrade[1] unterschieden:

Z_0: keine Zersetzung
Z_1: mäßig zersetzt, beginnend weich, aber noch nicht zerfallend
Z_2: stark zersetzt, zerfällt zwischen den Fingern

Die Verteilung der Proben auf die verschiedenen Baumkompartimente und Zersetzungsgrade sowie die ermittelten C-Gehalte sind in Tab. 2.4 wiedergegeben. Wie daraus zu ersehen ist, sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Proben sehr gering. Lediglich der Kohlenstoffgehalt der Rinde unterscheidet sich signifikant von dem der übrigen Proben (Tab. 2.5). Ein statistisch absicherbarer Einfluss des Zersetzungsgrades der Holzproben auf den Kohlenstoffgehalt konnte - entgegen den Befunden von STEWART u. BURROWS (1994) - nicht festgestellt werden (Tab. 2.6). Allerdings war die Anzahl der untersuchten Proben in den einzelnen Zersetzungsstufen nicht sehr groß.

Tabelle 2.4: Ergebnis der Kohlenstoffanalysen verschiedener Baumteile

Kompartiment	Zersetzungs-stufe	Anzahl Proben	mittlerer C-Gehalt (%)	Std.F.
Splintholz	Z_0	6	47,12	±0,254
	Z_1	3	47,67	±0,353
	Gesamt	9	47,30	±0,213
Kernholz	Z_0	7	48,17	±0,438
	Z_1	1	47,50	-
	Z_2	4	47,70	±0,147
	Gesamt	12	47,96	±0,263
Rinde	Z_0	5	50,16	±0,681
Blattproben	-	16	47,87	±0,210
Gesamt	-	42	48,05*	±0,187

* mit Probenzahl und Rindenanteil von 12% gewogenes Mittel

[1] Die Zersetzungsgrade beziehen sich unmittelbar auf die jeweilige Holzprobe und sind nicht mit den Totholzkategorien zu verwechseln, die für ganze Totholzstücke gelten und Holz verschiedener Zersetzungsgrade enthalten können.

Tabelle 2.5: Ergebnisse des Scheffé-Tests (Signifikanzniveaus) auf Unterschiede zwischen den verschiedenen Kompartimenten

	Kern		Rinde		Blätter	
	mittl. Diff	P	mittl. Diff	P	mittl. Diff	P
Splint	-0,658	0,461	-2,860	0,000	-0,573	0,533
Kern	-	-	-2,202	0,001	0,086	0,996
Rinde	-	-	-	-	2,288	0,000

Tabelle 2.6: Varianzanalyse auf Unterschiede im C-Gehalt der verschiedenen Zersetzungsstufen

	SQ	FG	MQ	F	Signif.
Zwischen den Gruppen	0,01367	2	0,00683	0,008	0,992
Innerhalb der Gruppen	14,604	18	0,811		
Gesamt	14,618	20			

Aufgrund der Analyseergebnisse wurde für alle weiteren Berechnungen in dieser Arbeit ein C-Gehalt von 48 % verwendet.

2.4.2 Dichtebestimmung von Lenga-Holz verschiedener Zersetzungsstufen

Holzfäulen bedingen durch den Abbau der Holzbestandteile eine Abnahme der Dichte- und Festigkeitseigenschaften des befallenen Holzes (KNIGGE u. SCHULZ 1966). BAVA (1997) stellte bei Untersuchungen an den qualitativ besten Bäumen des Versuchsbestandes fest, dass bereits 20 % des stehenden Vorrates faul waren. Dabei nahm der Fäuleanteil mit steigendem Durchmesser zu. URZUA (1981) hat Befunde von PESUTIC (1978) zum Faulholzanteil von *Nothofagus pumilio* in Abhängigkeit vom Brusthöhendurchmesser tabellarisch zusammengestellt. Danach beträgt der Fäuleanteil bei Bäumen mit 25 cm BHD 16 %, mit 55 cm BHD 50 % und solchen mit 75 cm BHD sogar 60 %. Diese Angaben beziehen sich zwar nur auf Schaftabschnitte, jedoch stellten CWIELONG und RAJCHENBERG (1995) bei eingehenden Studien an *Nothofagus pumilio* auf Feuerland fest, dass die Fäulen bis in die höheren Stammbereiche hinaufreichen. Auch sie fanden Fäuleanteile, die bis zu 75 % des Stammvolumens erreichten. Nur 12 % der von ihnen untersuchten ganz überwiegend jungen Bäume wiesen keine Fäulen auf. Bei der Herleitung der C-Vorräte in der lebenden Dendromasse sowie dem Totholz mussten daher die unterschiedlichen Dichten der Anteile verschiedener Zersetzungsstadien am Holzvolumen mit berücksichtigt werden.

Hierzu wurden am Institut für Holzforschung der Universität München Raum- und Darrdichtebestimmungen an Holzproben unterschiedlichen Zersetzungsgrades durchgeführt. In Anlehnung an den äußerlich ansprechbaren Zersetzungszustand wurden dabei vier Dichtestufen nach folgenden Kriterien unterschieden:

D_0: Probe fest, keine Zersetzung erkennbar
D_1: Probe mit leichter bzw. teilweiser Zersetzung, starke Fäuleflecken, unzersetzte und zersetzte Stellen in kleinräumigem Wechsel, Holz noch fest
D_2: Probe durchgängig zersetzt, beginnend weich, aber noch nicht zerfallend
D_3: Probe kann zwischen den Fingern zerrieben werden

Die Abbildungen 2-3 bis 2-5 zeigen Stammscheiben deren Holz den Dichtestufen D_0, D_1 und D_2 entspricht.

Abbildung 2-3: Stammscheibe mit Holz der Dichtestufe D_0