BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE UND ERTRAGSKUNDLICHE GRUNDLAGEN DER FORSTEINRICHTUNG IN SÜDBRASILIEN AM BEISPIEL VON PINUS ELLIOTTII

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
zu Freiburg i.Br.

vorgelegt von
Paulo Renato Schneider
aus Santa Maria/Brasilien

Freiburg im Breisgau

Dekan:	Prof. Dr. P. ABETZ
Leiter der Arbeit:	Prof.Dr.Dr.h.c.G. SPEIDEL
Referent:	Prof.Dr.Dr.h.c.G. SPEIDEL
Korreferent:	Prof.Dr.W. SCHÖPFER

Tag der Verkündigung
des Prüfungsergebnisses: 15 / 10 / 84

Für Sirlei, Paulo Sérgio und Clarissa

V O R W O R T

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 1981 bis 1984, zum großen Teil in den Jahren 1983 bis 1984 während meines Promotionsstudiums an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg. Mit der Arbeit habe ich versucht, einen Beitrag zur Entwicklung der Forsteinrichtung in Südbrasilien zu leisten.

Die Dissertation wurde nur ermöglicht durch die großzügige finanzielle Unterstützung des Stiftungsverbandes im Rahmen des CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Ministério da Educação e Cultura), wofür ich ihr ganz besonders danken möchte.

Besonders dankbar bin ich schließlich der Universidade Federal de Santa Maria von Rio Grande do Sul, die mich in die Bundesrepublik Deutschland beurlaubt hat und es mir so ermöglichte, diese Dissertation mit Unterstützung des Departamento de Ciências Florestais, der ich angehöre, zu Ende zu bringen.

Aufrichtigen Dank schulde ich meinem Betreuer, Herrn Professor Dr.Dr.h.c. Gerhard Speidel für die freundliche Aufnahme in seinem Institut, für die großzügigen Arbeitsbedingungen und für die unermüdliche Unterstützung meiner Arbeit.

Herrn Dr. Gerhard Oesten bin ich dankbar für seine Hilfsbereitschaft während aller Phasen der Arbeit und seine immerwährende wissenschaftliche und persönliche Unterstützung.

Herrn Professor Dr.Dr.h.c. Michail Prodan möchte ich herzlich danken für die vielfältigen Ratschläge und Hilfestellungen, mit denen er meine Dissertation kritisch begleitet hat.

Ebenso danke ich Herrn Professor Dr. Walter Schöpfer für die kritische Durchsicht des Manuskripts und die freundliche Übernahme des Korreferats.

Herzlich danke ich: Herrn Dr. Heinrich Spieker und Herrn Hans Mehlin für die kritische Durchsicht des Manuskripts, Frau Monika Naumann für die Hilfe bei den Übersetzungsarbeiten, Frau Martina Breithecker, Frau Maria Hehn, Herrn Markus Maise und Herrn Günter Ryssel für die Erstellung von Tabellen und Abbildungen sowie für sorgfältiges Korrekturlesen, Frau Verena Amann für die gewissenhafte Anfertigung des Manuskripts sowie allen anderen Freunden, die sonst in irgendeiner Weise zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben.

Die Arbeit ist meiner Frau und meinen Kindern gewidmet. Ihnen möchte ich herzlich dafür danken, daß sie mir fortwährend Mut gemacht haben und mir in den schwierigsten Augenblicken immer unerschütterlich zur Seite standen.

Freiburg im Juli 1984 Paulo R. Schneider

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 Einleitung	1
2 Das Untersuchungsobjekt "Passo Fundo"	4
2.1 Geschichtliche Entstehung und Ziele des Betriebes	4
2.2 Natürliche Grundlagen	5
2.3 Zum wirtschaftlichen und sozialen Standort des Forstbetriebes	13
3 Methoden	16
3.1 Flächenbestimmung	16
3.2 Standortskartierung	16
3.3 Inventur der Bestände	17
3.3.1 Einführung	17
3.3.2 Zum Stichprobenkonzept der Forstinventur	17
3.3.3 Dendrometrische Erhebungen	18
3.4 Verarbeitung der Inventurdaten	22
3.5 Statistische Hilfsverfahren für Regressionstests und Regressionsentscheidungen	25
4 Ergebnisse und Diskussion	30
4.1 Einführung	30
4.2 Die Standortseinheiten	30
4.3 Das Volumen des Einzelbaumes	35
4.3.1 Literaturüberblick	35
4.3.2 Ergebnisse der Regressionsrechnung	38
4.4 Die Formzahl	42
4.5 Die Bestandeshöhenkurve (hypsometrische Bezeichnung)	46
4.6 Prognose des altersabhängigen Höhenwachstums	49
4.6.1 Probleme und Literaturüberblick	49
4.6.2 Zur Prognose der Endhöhe nach dem BACKMAN'schen Gesetz	54
4.7 Die Bonitierung	59
4.7.1 Literaturüberblick	59
4.7.2 Ergebnisse	61

Seite

4.8 Die Ertragstafel 64

4.8.1 Einführung 64

4.8.2 Die Stammzahlhaltung nach der Methode von HART-BECKING 67

4.8.3 Sonstige Methoden zur Bestimmung der Stammzahlhaltung 73

4.8.4 Die Schätzung der Vornutzungen nach der Methode von MAGIN 76

4.8.5 Die Konstruktion der Ertragstafel 81

4.8.6 Die Schätzung der Gesamtwuchsleistung 88

4.9 Die Ergebnisse der Forstinventur 93

4.10 Die Sortierung 96

4.10.1 Die Schaftform als Grundlage für Sortentafeln 96

4.10.2 Die Bestandessortentafel 102

4.11 Betriebswirtschaftliche Grundlagen der Forsteinrichtung 112

4.11.1 Einführung 112

4.11.2 Erforderliche Informationen 113

4.11.3 Die Bewertung des Waldbodens und der Bestände 116

4.11.4 Die Umtriebszeit 125

5 Kritische Würdigung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen 138

6 Zusammenfassung 142

7 Resumo 146

Literaturverzeichnis 149

Verzeichnis der Abkürzungen 154

Verzeichnis der Abbildungen 155

Verzeichnis der Tabellen 157

Anhang 160

1 Einleitung

Die wachsende Nachfrage nach Holz verschiedener Sortimente veranlaßt forstliche Forscher, unter Berücksichtigung der örtlichen ökologischen Gegebenheiten Methoden zur Quantifizierung der forstlichen Produktion zu erforschen und Techniken zu entwickeln, die die Erhöhung des Ertrags der Wälder je Flächeneinheit und eine Senkung der Produktionskosten bezwecken. Normalerweise beeinflussen eine große Zahl Faktoren die Produktion in einem Forstbetrieb. Die forstliche Forschung hat sich daher in viele Problembereiche spezialisiert wie zum Beispiel auf den Gebieten des Waldbaus, der Durchforstung, des Pflanzverbandes, der Düngung, der Ästung und der Holzerntemethoden. Diese Forschungsergebnisse können zur Verbesserung der Produktion in den Forstbetrieben beitragen.

Für den einzelnen Forstbetrieb ist es von großer Bedeutung, all diese Maßnahmen bei der Betriebsgestaltung so zu kombinieren, daß eine optimale Nutzung der vorhandenen natürlichen Resourcen in wirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht auf regionaler und lokaler Ebene ermöglicht wird. Die Forschungsergebnisse sind im allgemeinen nur auf lokaler Ebene anwendbar und häufigen Veränderungen ausgesetzt. Daher ist es die Aufgabe der Betriebsführung, diese an die spezifischen Gegebenheiten des jeweiligen Betriebes anzupassen. Das bedeutet, daß es nicht eine einzige mögliche und für alle Forstbetriebe gültige Betriebsgestaltung gibt. Vielmehr ist diese für jeden Forstbetrieb spezifisch zu entwickeln.

Der Forsteinrichtung als mittelfristiger wirtschaftlicher Planung des Forstbetriebs kommt in diesem Zusammenhang die Aufgabe zu, im Rahmen der vorhandenen räumlichen und ökonomischen Gegebenheiten eine entsprechende, betriebsindividuelle, umfassende Betriebsgestaltung planend zu entwickeln (SPEIDEL 1967, 1972).

Der Vollzug eines Forsteinrichtungswerkes setzt eine Infrastruktur und betriebliche Kapazitäten voraus. Mit Infrastruktur bzw. Kapazitäten sind die wirtschaftlichen und technischen Gegebenheiten gemeint, die zum angemessenen Vollzug der Planungen und zur angemessenen Betriebsführung im Sinne der Forsteinrichtung erforderlich sind. Nur wenn diese Voraussetzungen bestehen, kann ein Forst-

einrichtungswerk positive Auswirkungen haben - etwa bei dem Versuch, Grundlagen für eine nachhaltige Bewirtschaftung zu schaffen. Es sei betont, daß eine Fortsetzung der Bemühungen zur Entwicklung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der Forstbetriebe notwendig ist, damit diese ihren Beitrag zur Entwicklung der brasilianischen Volkswirtschaft leisten können.

Mit der vorliegenden Arbeit wird versucht, am Beispiel von Pinus elliottii-Beständen methodische Grundlagen für die Forsteinrichtung in Südbrasilien zu erarbeiten. Diese grundlegenden Methoden wurden im Rahmen einer vollständigen Forsteinrichtung eines südbrasilianischen Beispielbetriebes erprobt (SCHNEIDER 1984). Die Hauptziele dieser Untersuchung sind:

a) Entwicklung bzw. Erprobung der für die Verhältnisse Südbrasiliens angemessenen Verfahren bei Inventuren im Rahmen von Forsteinrichtungen (insbesondere Kartierung der Flächen, Kartierung der Standorte und Forstinventur).

b) Holzmeßkundliche Auswertung der Inventurdaten[1)], dabei Prüfung der in der Literatur genannten Funktionen zur Bestimmung von Massentafeln, Stammformen, Formzahlen, Bestandeshöhenkurven, Ertragstafeln, Sortentafeln und anderer holzmeßkundlicher Grundlagen.

c) Untersuchungen zur Gestaltung der Umtriebszeit im Hinblick auf die wichtigsten abgeleiteten Betriebsziele.

In Kapitel 2 wird zunächst das Untersuchungsobjekt, der Bundeswald "Passo Fundo" (Rio Grande do Sul, Brasilien), soweit für die Untersuchung erforderlich, vorgestellt; darüber hinaus werden Angaben über die geschichtliche Entstehung und die betrieblichen Ziele, über seinen natürlichen und wirtschaftlichen Standort sowie über die wirtschaftliche Situation des Forstbetriebs gemacht. In Kapitel 3 werden die zur Anwendung gelangten Methoden der Flächen-, Standorts- und Bestandesinventur

---

[1)] Da in Brasilien ertragskundliche und holzmeßkundliche Unterlagen weitgehend fehlen, müssen die Grundlagen einer forstwirtschaftlichen Planung in aller Regel bei den Ersteinrichtungen erarbeitet werden.

vorgestellt. Die Ergebnisse der Standortskartierung, die Auswertung der Forstinventur, insbesondere die Entwicklung von Massen-, Ertrags- und Sortentafeln sowie die Bestimmung ökonomischer Umtriebszeiten werden in Kapitel 4 eingehend beschrieben und unter Berücksichtigung der Literatur kritisch diskutiert. Zusammenfassende Schlußfolgerungen für die Forsteinrichtung bilden in Kapitel 5 den Abschluß der Arbeit.

2 Das Untersuchungsobjekt "Passo Fundo"

2.1 Geschichtliche Entstehung und Ziele des Betriebes

Der Bundeswald Passo Fundo (Floresta Nacional de Passo Fundo) wurde 1947 unter dem Namen Forstpark Segalas Viana (Parque Nacional Segalas Viana) gegründet. Er war dem zwischenzeitlich abgeschafften Staatlichen Dienst für Araukarienangelegenheiten (Instituto Nacional do Pinho, INP) zugeordnet und diente ursprünglich dem Ziel, das Wachstum von Araucaria angustifolia unter verschiedenen forsttechnischen Gegebenheiten zu erforschen.

Das INP entstand mit der Gesetzesverordnung Nr. 3124 vom 19. März 1941 und hatte die Aufgabe, die Interessen der Produzenten, der Sägewerke, der Holzverarbeitungsindustrie, der Holzhändler und -exporteure bezüglich der Araukarie zu vertreten. Es hatte eine eigenständige Struktur und war dem Ministerium für Arbeit, Industrie und Handel zugeordnet. Die Gesetzesverordnung, die das INP ins Leben rief, befaßte sich in ihrem 6. Kapitel mit den Wiederaufforstungen. Artikel 15 besagt:

> "Das INP wird zur Wiederaufforstung mittels Anpflanzungen von Arten beitragen. Diese Aufforstungen werden von Sachverständigen des Landwirtschaftsministeriums auf für diesen Zweck gekauften Gebieten geleitet. Das INP wird auch Aufforstungen von privater Seite in der durch diese Bestimmungen festgelegten Form unterstützen."

Mit der Gründung der Bundesbehörde zur Entwicklung des Forstwesens (IBDF) durch die Gesetzesverordnung Nr. 289 vom 28. Februar 1967 kamen die Bundeswälder, die bisher dem INP zugeordnet waren, unter die Verwaltung des IBDF.

Mit der Verordnung des Forstgesetzes (Gesetz Nr. 4771 vom 15. September 1965) wurden einige Kriterien für die Tätigkeiten im Forstsektor festgelegt. Artikel 5 dieses Gesetzes besagt, daß .....

> "der Gesetzgeber Bundes-, Landes- und Kommunalwälder begründen kann, um wirtschaftliche, technische oder soziale Ziele zu erreichen. Auch kann er sich noch nicht aufgeforstete Gebiete zur Erreichung dieser Ziele vorbehalten."

> "Die örtlichen Verwaltungen der Bundeswälder haben das Recht, in ihren Gebieten die Aufforstung, Wiederaufforstung, Forsteinrichtung, Dendrometrie, Durchforstungen, Hiebsmaßnahmen, Bewertung und Buchhaltung gemäß der ausgearbeiteten Pläne durchzuführen" (Erlaß Nr. 229 vom 25. April 1975, Artikel 20, Absatz 5).

Nach den Kriterien der FAO, zitiert von DALFELT (1976), kann ein Bundeswald unter drei Gesichtspunkten analysiert werden:

a) M e r k m a l e
Ein Bundeswald besteht aus einer relativ großen Waldfläche. Wichtige hydrographische Becken, einheimische Fauna und Erholungsgebiete können vorhanden sein.

b) Z i e l e
Hauptziele eines Bundeswaldes sind die Erzeugung von Holz, Wasser, Fauna, Futter und mögliche Erholungswerte, um die wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Bedürfnisse der Bevölkerung unter Beachtung des Nachhaltigkeitsprinzips zu befriedigen.

c) A l l g e m e i n e R i c h t l i n i e n
Ein Bundeswald ist Eigentum des Staates. Die Behandlung seiner Bestände soll nach dem Nachhaltigkeits- und dem Mehrzweckprinzip erfolgen. Infolgedessen sind vor irgendwelchen wissenschaftlichen Vorhaben Forschungen über deren Auswirkungen auf die Umwelt durchzuführen. Mehrzwecknutzungen können nur aufgrund einer Sondergenehmigung der Zentrale durchgeführt werden. Der Besuch, die Jagd, die Fischerei, der Einschlag der Bestände aufgrund eines Forsteinrichtungsplans und die Einführung exotischer Arten sind erlaubt. Die Verwaltung übt in dem Zusammenhang Kontrolltätigkeiten aus.

2.2 N a t ü r l i c h e G r u n d l a g e n

G e o g r a p h i s c h e L a g e u n d F l ä c h e n

Der Bundeswald Passo Fundo gehört zum Gebiet der Ortschaft Mato Catelhano, Kreis Passo Fundo, Bundesland Rio Grande do Sul. Er liegt, 23 Kilometer von der Stadt Passo Fundo entfernt, an der Bundesstraße BR 285 in Richtung der Stadt Lagoa Vermelha (vgl. Abbildung 1). Seine geographischen Koordinaten sind der 28. südliche Breitengrad und der 52. östliche Längengrad.
Der Bundeswald hat eine Größe von 1356 Hektar und besteht aus Wiederaufforstungen, Urwäldern, Sekundärwäldern und sonstigen Flächen wie Unland, Moore, Wege, Abteilungslinien usw..

L a n d s c h a f t

Die Region ist durch ein hügeliges Relief mit im allgemeinen geringen Geländeneigungen gekennzeichnet. Im Bundeswald selbst befinden sich allerdings Teile mit steileren Hanglagen. Die durchschnittliche

Neigung beträgt bei wechselnden Expositionen 5 bis 15 % mit Höchstwerten von 0 bis 55 %.
Der Bundeswald liegt auf einer durchschnittlichen Höhe von 730 Metern über NN, die höchste Stelle liegt auf ca. 780 Metern über NN, die niedrigste Stelle auf 680 Metern über NN.

K l i m a

Nach dem System von KÖPPEN kann das Klima der Region als subtropisch vom Typ Cfa charakterisiert werden (vgl. Abbildung 1). Die durchschnittliche Temperatur des Januar als dem wärmsten Monat beträgt über 22° Celsius und die des Juni als dem kältesten Monat 13,2° Celsius (vgl. Tabelle 1). Nach MOTA u.a. (1971) beträgt die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge 1659 mm. Die Niederschläge fallen mehr oder weniger regelmäßig während des ganzen Jahres. Der Oktober ist der niederschlagreichste Monat mit 162 mm, der November der niederschlagsärmste mit 110 mm. Durchschnittlich fallen 14 (5 bis 31) Frosttage pro Jahr an. Die Hauptrichtung des Windes ist Nordosten. Die Winter sind streng, gelegentlich wurden sogar Schneeniederschläge registriert.
In Tabelle 1 sind die wichtigsten Informationen über das Klima der Region dargestellt. Diese Werte geben nicht die spezifischen Gegebenheiten des Bundeswaldes wieder, da sie nicht innerhalb seines Gebietes aufgenommen worden sind.

G r u n d g e s t e i n

Nach CARRARO u.a. (1974) gehört das Grundgestein der Region zur São-Bento-Gruppe, zu der die Formationen Serra Geral, Botucatú und Rosário do Sul zählen. Der Bundeswald befindet sich in der Formation Serra Geral, die durch basaltische Lavaergüsse gebildet wurde.
Nach CORDANI und VANDOROS (1967), zitiert bei CARRARO u.a. (1974), sind die Hauptbestandteile der Basalte Plagioklas und Pyroxene, die wichtigsten akzessorischen Mineralien sind Titanmagnetit und Apatit. Gelegentlich kommen auch Olivin, Amphibol und Biotit vor. Quarz, Kaliumfeldspat, Chlorit und Serpentin sind gewöhnlich Bestandteile

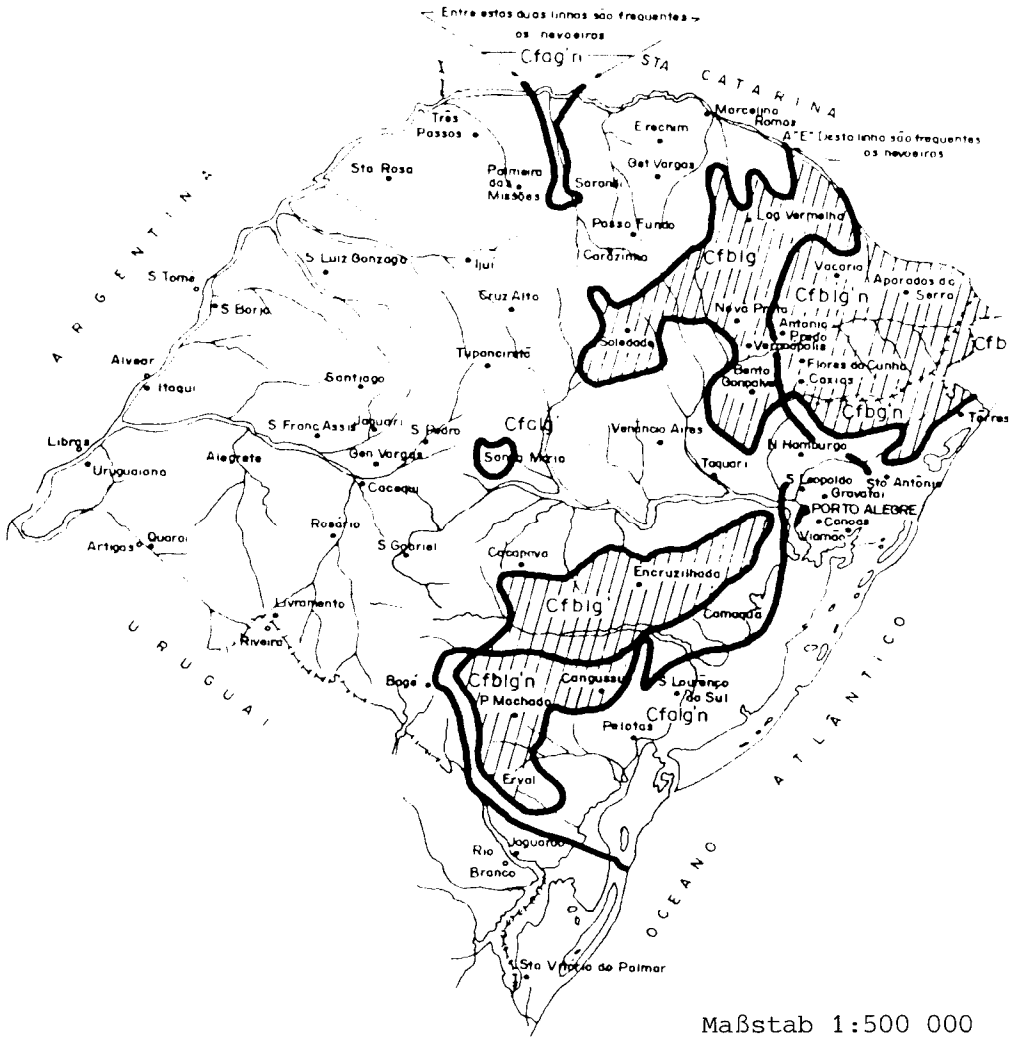


Abbildung 1: Lage des Bundeswaldes Passo Fundo im Bundesstaat Rio Grande do Sul und Klimaräume des Bundesstaates nach der Systematik von KÖPPEN

Tabelle 1: Klimadaten der Region

Monat	TEMPERATUR Höchstwert	Tiefstwert	Durchschnittswert	Niederschlag (mm)	relative Luftfeuchtigkeit (%)	Sonnenscheindauer in Stunden+)	Sonneneinstrahlung (cal/cm²/Tag)	WIND Geschwindigkeit (m/sec)++)	Hauptrichtung
JAN	28,6	17,3	22,4	144	75,5	244	415	1,8	NO
FEBR	27,9	17,1	21,8	147	75,7	216	394	1,6	NO
MÄRZ	26,3	15,9	20,3	120	76,0	218	334	1,7	NO
APRIL	22,6	12,5	17,0	129	78,1	189	265	1,6	NO
MAI	20,1	10,7	14,7	140	79,8	185	213	1,3	NO
JUNI	18,5	9,3	13,2	149	81,6	148	174	1,7	NO
JULI	19,0	8,4	13,3	132	77,9	180	203	1,8	NO
AUG	19,8	9,3	13,8	132	74,3	192	239	1,8	NO
SEPT	21,6	10,7	15,6	160	75,0	174	282	2,0	NO
OKT	24,1	12,5	18,1	162	73,4	209	343	1,8	NO
NOV	25,7	14,1	19,5	110	68,5	248	423	1,8	NO
DEZ	28,3	16,1	21,8	133	67,5	256	432	2,0	NO
Im Mittel	23,5	12,8	17,6	138,2 Σ1658	75,0	204,9 Σ 2459	310	1,7	NO

+) nach MORENO (1961)

++) Werte in 2 Meter Höhe gemessen

sowie auch vulkanische Gläser verschiedenster Zusammensetzung. Die chemische Zusammensetzung der basaltischen Gesteine ist einheitlich, und der Inhalt an Spurenelementen ist ähnlich wie bei toleitischen Laven.

B ö d e n

Die Böden der Region wurden von LEMOS (1967, 1973) eingehend untersucht. Danach überwiegen bei weitem dystrophe Latosole dunkelroter Färbung neben wenigen hydromorphen und lithomorphen Böden.

Diese Latosole (Latossolo vermelho) können durch folgende morphologischen und chemischen Merkmale gekennzeichnet werden (LEMOS 1967, 1973):

- Die Bodentiefen betragen auf 80 % der Fläche 2,3 bis 3 Meter
- Die Horizonte sind schwach differenziert
- Der A-Horizont ist mächtig (Tiefe über 60 cm), Farbton dunkelrot 2,5 YR, Bodenart lehmiger Ton, Bodengefüge einzelkörnig, plastische Konsistenz, im trockenen Zustand sehr mürbe bis mürbe, in feuchtem Zustand leicht plastisch bis bindig
- Der B-Horizont ist sehr tief (über 200 cm), Farbton dunkelrot 2,5 YR, Bodenart tonig (Tonbestandteil über 60 %), Bodengefüge bröckelig bis schwach kohärent, plastische Konsistenz, im trockenen Zustand bröckelig, im feuchten Zustand leicht plastisch und bindig
- Der C-Horizont ist sehr tief und besteht aus verwittertem Basalt
- Im Gesamtprofil findet sich Quarz unterschiedlicher Korngröße
- Die Kationenaustauschkapazität ist relativ hoch bis durchschnittlich im ganzen Profil, der KAK-Wert sinkt mit zunehmender Tiefe von 11 bis 6 mval/100 g T.S.
- Die austauschbaren Basen erreichen maximal 2 mval/100 g T.S. und sinken mit zunehmender Tiefe. Calcium nimmt Werte von 1,1 bis 0,5 mval/100 g T.S. an, die Werte des Magnesiums liegen bei der Hälfte der des Calciums. Der Kaliumgehalt liegt unter 0,8 mval/100 g T.S. Die Basensättigung ist niedrig, ihr Wert liegt bei 19 % im A-Horizont und bei 8 % im B-Horizont
- Der Gehalt an organischer Substanz ist durchschnittlich bis niedrig (ca. 2,5 % im A-Horizont)

- Die Böden sind sehr arm an pflanzenverfügbarem Phosphor

- Der Gehalt an austauschbarem Aluminium ist hoch, er liegt stets über 2 mval/100 g T.S. und steigt leicht mit der Tiefe

- Die pH-Werte im Wasser bewegen sich von 5,0 im A-Horizont bis 5,4 im B-Horizont

Natürliche Vegetation der Region

Nach KLEIN (1960) bildet die Vegetation des Araukariengebietes nicht eine homogene und stetige Formation. Sie besteht aus mehreren Assoziationen und Gruppierungen, die wiederum durch charakteristische Arten in den verschiedensten Sukzessionsstadien gebildet werden. Die Baumvegetation wird gelegentlich durch natürlich vorkommende Wiesen unterbrochen, was zum charakteristischen Bild der südbrasilianischen Hochebene beiträgt.

Die sogenannten Araukarienwälder vermitteln dem unerfahrenen Beobachter den Eindruck einer einzigen Assoziation. Dies wird hervorgerufen durch die Dominanz der Araucaria angustifolia in zahlenmäßiger Hinsicht und durch ihr Erscheinungsbild. Sie ragt über alle anderen Baumarten hinaus und bildet ein eigenes Kronendach, das zum Teil stetig und geschlossen ausgebildet sein kann (KLEIN 1960). Die Araucaria angustifolia zeigt als höchster Baum mit ihren dunkelgrünen schirmartigen Kronen ein sehr charakteristisches, von weitem erkennbares Bild. Ihre Höhe kann 30 bis 35 Meter erreichen, die Brustdurchmesser älterer Exemplare liegen bei 80 bis 120 cm. Die Kronen sind sehr stetig in ihrer Benadelung und befinden sich einige Meter über den Kronen der Bäume des Unterstandes. Dieser besteht aus einer großen Zahl von Bäumen und Sträuchern, die je nach Standort und Entwicklungsstadium des Bestandes in Zahl und Größe unterschiedlich sein können.

Nach REITZ und KLEIN (1966), HUECK (1972) und SUDESUL (1978) kommen am meisten folgende Arten im Unterstand der Assoziation Araucaria vor:

- Drimys winteri (casca d'anta)
- Ilex paraguariensis (erva-mate)
- Ilex dumosa (congonha)
- Ilex brevicuspis (caúna)
- Ilex theezans (caúna)

- Myrcia bombycina (guamirim)
- Lithraea brasiliensis (bugreiro)
- Sebastiania klotzschiana (branquilho)
- Fagara rhoifolia (mamica-de-cadela)
- Prunus sellowii (pessegueiro-bravo)
- Ocotea pulchella (canela-lajeana)
- Ocotea puberula (canela-guaicá)
- Nectandra megapotamica (canela-imbuia)
- Nectandra lanceolata (canela-amarela)
- Matayba elaeagnoides (camboatá-branco)
- Cupania vernalis (camboatá-vermelho)
- Capsicodendron dinisii (pimenteira)
- Campomanesia xanthocarpa (guabirobeira)
- Lamononia speciosa (guaraperê)
- Quillaja brasiliensis (pau-sabão)
- Styrax leprosus (carne-de-vaca)
- Casearia decandra (guaçatunga)
- Eugenia uniflora (pitangueira)
- Luehea divaricata (açoita-cavalo)
- Patagonula americana (guajuvira)
- Gochnatia polymorpha (cambará)
- Eugenia pyriformis (uvalha)
- Myrceugenia spp. (cambuí)
- Dicksonia sellowiana (xaxim)
- Solanum erianthum (fumo-bravo)
- Daphnopsis racemosa (embira)
- Schinus spp. (aroeiras)

Nach SUDESUL (1978) besteht der Bestand beim Erreichen der Optimalphase mit Ausnahme von Araucaria angustifolia aus folgenden Arten:

- Ocotea spp. e Nectandra spp. (canelas)
- Cedrela fissilis (cedro)
- Myrcianthes pungens (guabijú)
- Myrcianthes gigantea (araçázeiro)
- Parapiptadenia rigida (angico-vermelho)
- Myrocarpus frondosus (cabriúva)
- Cordia trichotoma (louro)

- Apuleia leiocarpa (grâpia)
- Actinostemon concolor (laranjeira-do-mato)
- Myrciaria trunciflora (jaboticabeira)
- Cabralea glaberrima (canjerana)
- Eugenia rostrifolia (batinga)
- Roupala spp. (carvalho-brasileiro)
- Tabebuia alba (ipê-ouro)

Nach LINDMAN und FERRI (1906) sind

Hydrocotyle leucocephala, Oplismanus setarius und Polypodium tetragonum

die Arten, die auf diesen Standorten am meisten vorkommen und vor allem Lichtungen nahezu vollständig bedecken neben einigen

Asplenium-, Nephrodium-, Psychotria-, Pavonia-, Hyptis-, Solanum- und Physalisarten.

Gegenwärtige Bestandesverhältnisse im Bundeswald "Passo Fundo"

Von den 1358 Hektar des Bundeswaldes bestehen 7 % aus unbestockter Fläche und 93 % aus Flächen mit Vegetation. Auf den bestockten 1264 Hektar befinden sich Kiefern (22,9 %), Araukarien (32,26 %), Eukalypten (0,64 %), Naturwälder (31,52 %), Gebüsch (8 %) sowie in geringem Umfang Pappeln und Mate (0,17 %).
Die Araukaria-, Pinus- und Eukalyptus-Bestände sind aus Wiederaufforstungen entstanden und bilden entsprechend homogene, gleichaltrige Bestände. Die Naturwälder werden durch eine große Vielfalt einheimischer Arten gebildet (wie oben beschrieben) und liegen über das ganze Gebiet des Bundeswaldes räumlich verteilt.

2.3 Zum wirtschaftlichen und sozialen Standort des Forstbetriebes

Unter wirtschaftlichem und sozialem Standort wird nach SPEIDEL (1984) der Komplex derjenigen lage- und raumbezogenen wirtschaftlichen und sozialen Faktoren verstanden, die den forstlichen Betriebsprozeß beeinflussen. Sozialökonomische Standortsfaktoren sind beispielsweise die Bevölkerungsdichte in dem betreffenden Wirtschaftsraum, die Erwerbsstruktur, der volkswirtschaftliche Entwicklungsstand, die Infrastrukturausstattung des Raumes, die Verhältnisse auf den Absatz- und Beschaffungsmärkten des Forstbetriebes usw.. Wirtschaftliche und soziale Standortsfaktoren können sich in sehr vielfältiger Weise auf den Forstbetrieb auswirken, z.B. auf seine Zielsetzung, auf seine Chancen auf dem Arbeitsmarkt, Arbeitskräfte zu gewinnen, auf seine Absatzmöglichkeiten, seine Transportkosten und vieles mehr. Wegen dieser Bedeutung des wirtschaftlichen und sozialen Standorts sind die für den Betrieb bedeutungsvollen Standortsfaktoren im Rahmen der Forsteinrichtung bei der Inventur, Kontrolle und Planung zu berücksichtigen.
Wegen des großen Mangels an präzisen und aktuellen Informationen (zum Beispiel mangelnde Regionalstatistiken) können nur wenige allgemeine Angaben zum sozial-ökonomischen Standort des Untersuchungsobjektes gemacht werden (SCHNEIDER 1984).
Die Region "Planalto médio" ist durch erhebliche Anteile von Großgrundbesitz gekennzeichnet. Die überwiegend landwirtschaftliche Nutzung des Grund und Bodens besteht vor allem aus Sojabohnen- und Weizenanbau. Das Bewaldungsprozent ist außerordentlich gering mit weniger als 1 %. Die angrenzende Region "Encosta Superior do Nordeste" ist durch ähnliche Bodennutzung und ähnliche Eigentumsverhältnisse charakterisiert, während die beiden anderen angrenzenden Regionen "Campos de Cima da Serra" und "Alto Uruguai" überwiegend kleinen Grundbesitz aufweisen. "Passo Fundo" und seine Umgebung von ca. 100 km sind damit durch sehr unterschiedliche Eigentumsverhältnisse, überwiegend landwirtschaftliche Bodennutzung, geringes Bewaldungsprozent (Bundesstaat Rio Grande do Sul 6,3 %), aber auch einige für den

Bundesstaat Rio Grande do Sul wichtige Ortschaften gekennzeichnet (vgl. Abbildung 1).

Die Mehrzahl der Einwohner ist in der Landwirtschaft, zum Teil als Lohnabhängige, zum Teil als Selbstversorger (Subsistenzwirtschaft) beschäftigt. Der geringere Teil der Bevölkerung arbeitet in der schwach entwickelten Industrie in der Region. Die geschätzte Einwohnerdichte liegt bei 25 Einwohner je km^2.

Der Forstbetrieb "Bundeswald Passo Fundo" hat wegen seiner geringen Flächenausdehnung keine große Bedeutung für den lokalen Arbeitsmarkt. Beschäftigt sind 22 Beamte und Angestellte des öffentlichen Forstdienstes[1]. Von begrenzter Bedeutung für den Arbeitsmarkt ist die Nutzung und Vermarktung des Holzes aus dem Bundeswald. Die Vermarktung erfolgt durch Versteigerung des stehenden Bestandes. Es bestehen damit gewisse Beschäftigungsmöglichkeiten beim Holzeinschlag und Holztransport durch die Holzkäufer.

Die Marktpartner des Bundeswaldes sind vielfältig nach Art und Zahl. Denn der Forstbetrieb verkauft (und wird in Zukunft in noch stärkerem Maße verkaufen) Holz sowohl aus Durchforstungen als auch aus Endnutzungen von Araucaria angustifolia, Pinus spp., Eucalyptus und zukünftig auch von weiteren einheimischen Baumarten. Beliefert werden zum Beispiel das Baugewerbe (Bretter, Türen, Fenster, Gerüste etc.), die Möbelindustrie, die Celluloseindustrie, Kohleunternehmen, Karosseriehersteller und schließlich die örtliche Bevölkerung mit Brennholz.

Nach den Erhebungen der forstlichen Folgeinventur von Rio Grande do Sul (IBDF-UFSM: Inventário das florestas nativas do Rio Grande do Sul. Santa Maria,1982) ist die Zahl der Industrien, die in dieser Gegend forstliche Produkte verarbeiten, sehr groß. Allein in der Stadt Passo Fundo gibt es 18 Sägewerke. In einem Umkreis von ca. 120 km steigt diese Zahl auf 250, davon auch Verarbeitungsbetriebe mit den nötigen Kapazitäten zur Herstellung von Möbeln, Karosserien, Kisten und Innenausstattungen. Als Holzkäufer besonders zu erwähnen sind die weiter entfernt gelegenen Papier- und Cellulosefabriken, insbesondere "Celulose Cambará", "Celulose Zebú" und die Firma P.C.C. im benachbarten Bundesstaat Santa Catarina.

---

[1] SCHNEIDER, P.R. 1984

Die Zusammenhänge zwischen Verkaufspreis des Holzes, Entfernung des Holzverarbeiters vom Wald, der sortenspezifisch variierenden Transportkostenempfindlichkeit des Holzes, der Bewirtschaftungsintensität der Forstbetriebe und der Rentabilität der Forstbetriebe bzw. der holzverarbeitenden Betriebe, wie sie bei SPEIDEL (1972, 1984) beschrieben werden, sind im Bundeswald "Passo Fundo" und in den zugehörigen Absatzmärkten gegeben, können aber mangels präziser Information nicht näher beschrieben werden.
Die Region des "Planalto Médio" sowie auch die angrenzenden Gebiete verfügen über eine gute Erschließung durch asphaltierte Bundes- und Landesstraßen sowie über ein vergleichsweise dichtes Netz von Kommunalstraßen. Von untergeordneter Bedeutung ist der Eisenbahntransport; Wasserverbindungen sind nicht vorhanden.
Obwohl in Brasilien noch nicht überall angemessen erkannt, kommt den Wäldern im allgemeinen und dem Bundeswald "Passo Fundo" im besonderen große Bedeutung im Zusammenhang mit Schutz- und Erholungsfunktionen zu. Ihre Bedeutung wird in Zukunft bei wachsender Bevölkerung und Zunahme der Inanspruchnahme der Umwelt durch den Menschen eher noch größer werden. Vielfältige Erfahrungen in Brasilien mit schwerwiegenden Mißbräuchen bei der Boden- und Ressourcennutzung belegen die Notwendigkeit einer dem Gedanken der nachhaltigen Mehrzwecknutzung verpflichteten Bewirtschaftung der Wälder. Im Zielsystem - insbesondere öffentlicher Forstbetriebe - müssen neben den Sachgüterzielen gleichberechtigt Infrastrukturziele berücksichtigt werden.

3. Methoden

3.1 Flächenbestimmung und Karten

Die Herstellung der Grundkarten im Maßstab 1 : 10.000 erfolgte durch Auswertung von Luftbildern mit Hilfe der bei ROCHA und CARNEIRO (1975) beschriebenen allgemein üblichen Verfahren.
Das Gebiet des Bundeswaldes wurde hierzu 1968 vom Aerophotogrammetrischen Dienst der Cruzeiro do Sul beflogen. Die vertikalen panchromatischen Luftbilder im Maßstab 1 : 60.000 wurden später mit Einzelheiten bereichert, die aus vertikalen Luftbildern im Maßstab 1 : 5.000 stammten.

Die Flächenverzeichnisse, gegliedert nach Distrikten, Abteilungen, Produktionseinheiten, Bestandestypen usw., wurden mittels Planimeter und dem Flächenbestimmungsgerät "areamite" erstellt.
Einzelheiten zur Technik der Kartenherstellung und Flächenbestimmung sowie die Ergebnisse der Flächeninventur sind bei SCHNEIDER (1984) beschrieben.

3.2 Standortskartierung

Zur Inventur der Standorte wurde eine Standortskartierung (método de procedimento combinatório) durchgeführt, wie sie bei ANDRAE (1978) detailliert beschrieben ist.
Ziel dieser Kartierung war es, Standortseinheiten auszuscheiden und kartenmäßig darzustellen. In einer Standortseinheit werden, ausgerichtet an den grundsätzlichen Informationsinteressen der forstlichen Planung, Standorte zusammengefaßt, die durch ähnliche Ertragsleistungen der Baumarten und vergleichbare waldbauliche Möglichkeiten und Gefahren gekennzeichnet sind. Die Methode sollte geeignet sein, auch Standorte ohne Baumbedeckung zu erfassen.
In jeder Abteilung des Bundeswaldes wurden parallele Untersuchungslinien mit einem Abstand von in der Regel 100 Meter eingerichtet. Bei Reliefänderungen wurde der Linienabstand in einigen Fällen dann vermindert, wenn häufige Wechsel der Standortseinheiten zu erwarten waren. Auf jeder Untersuchungslinie wurden im Abstand von 50 Meter Untersuchungsstellen festgelegt. An diesen wurden Standortseigenschaften

wie Relief, Bodeneigenschaften und Vegetation der Baum-, Strauch- und Krautschicht erhoben. Weitere Einzelheiten können dem Aufnahmeformular (Anhang 1) entnommen werden.
Die Arbeitskarten bei der Kartierung haben einen Maßstab von 1 : 2.000, die endgültige Standortskarte wurde im Maßstab 1 : 10.000 erstellt.
Die Methode dieser Standortskartierung ist eingehend bei ANDRAE (1978) beschrieben, die Ergebnisse der Standortskartierung sind im Forsteinrichtungswerk des Bundeswaldes (SCHNEIDER 1984) dargestellt.

3.3 Inventur der Bestände

3.3.1 Einführung

Für die Bestandesinventur wurden die Bestände in zwei Gruppen eingeteilt, in Naturwaldbestände und in gepflanzte Bestände. In den Gruppen wurden getrennte Inventuren mit unterschiedlichen Methoden durchgeführt. Die Pflanzbestände aus Araucaria angustifolia, Pinus elliottii, Pinus taeda und Eucalyptus spp. umfassen 688 Hektar und sind wegen ihrer hohen Produktivität im Rahmen der Forsteinrichtung besonders bedeutungsvoll.

In dieser Arbeit wird nur die Inventur der Pinusbestände, die 281,9 Hektar umfassen, dargestellt. Die Methoden und Ergebnisse der Inventuren der übrigen Bestände sind im Forsteinrichtungswerk (SCHNEIDER 1984) beschrieben.

3.3.2 Zum Stichprobenkonzept der Forstinventur

In den Pflanzbeständen des Bundeswaldes wurde ein Stichprobenverfahren für Folgeinventuren mit der teilweisen Wiederaufnahme der Probeflächen durchgeführt.
Bei diesen Verfahren sollen Inventuren in gewissen Zeitabständen wiederholt werden, um eine Kontrolle des Bestandeszustands und seiner Veränderungen im Zeitablauf zu ermöglichen. Mit der Folgeinventur stehen 3 Arten von Informationen zur Verfügung:

- eine Schätzung der Werte der Population zum Zeitpunkt der Erstinventur: x
- eine Schätzung der Werte der Population zum Zeitpunkt der Zweitinventur: y und
- eine Schätzung der Veränderungen der Werte der Population in der Periode zwischen den beiden Inventuren: $g = y - x$

Die Stichproben setzen sich aus zwei Teilen, den permanenten und den temporären Stichproben, zusammen. Die permanenten Stichproben werden stets wieder vermessen und bei jeder Inventur erneut aufgenommen, die temporären Stichproben werden dagegen am Ende der Erstinventur aufgegeben. Bei der Folgeinventur werden temporäre Stichproben nach Zahl und Lage neu festgelegt.
Dieses Stichprobenverfahren für Folgeinventuren ist bei BRENA (1979) mit seinen Implikationen und spezifischen Anwendungsmöglichkeiten eingehend beschrieben.
Bei der Stichprobenerhebung erfolgte eine Stratifizierung mit flächenproportionaler Verteilung der Stichproben (BRENA 1979 und LOETSCH u.a. 1975). Als Straten wurden zwei "verwaltungsbedingte" Straten festgelegt, die durch die Baumarten Araucaria angustifolia und Pinus spp. gebildet wurden, sowie jeweils fünf "statistische" Straten der Baumarten entsprechend den durch die Standortskartierung gebildeten fünf Standortseinheiten.
Die Stichproben haben eine rechteckige Form von 20 x 30 Meter, dem entspricht eine Flächengröße von 600 m^2.
Der Stichprobenumfang wurde aufgrund der vorhandenen Informationen über die Population berechnet. Als Stichprobenfehler wurden höchstens 10 % des geschätzten Mittels bei einem Vertrauensbereich von 95 % festgelegt[1]. Es ergab sich, daß in den Pinusflächen 63 Stichproben, flächenproportional auf die Straten verteilt, erforderlich waren (Formel bei BRENA 1979).
60 % der Stichproben wurden als permanente Stichproben durch kleine Metallschilder, durch Farbmarkierung der $d_{1,3}$-Meßstellen der Bäume und farbige Kenntlichmachung derjenigen Bäume, die für die Oberhöhenbestimmung gemessen wurden, dauerhaft im Gelände markiert. Das Verfahren ist bei SCHNEIDER (1984) im einzelnen beschrieben.

3.3.3 Dendrometrische Erhebungen

Messungen in den Probeflächen

Zur Charakterisierung der Probefläche und für Kontrollzwecke wurden neben der Baumart die Abteilungsnummer, die Nummer der Probefläche, der Pflanzverband, die Ordnungszahl des Aufnahmetrupps, das Datum der Pflanzung, das Datum der Datenaufnahme u.a. erfaßt (vgl. das Aufnahmeformular im Anhang 2).

---

1) Die Bestimmung des Stichprobenumfangs wurde nach dem Volumen ausgerichtet

In der Probefläche wurde von jedem Baum mit einem Brusthöhendurchmesser von mehr als 5 cm eine BHD-Messung mittels Kluppe mit einer Genauigkeit von 0,5 cm durchgeführt.
Für die Bestimmung der Bestandeshöhenkurve wurden die Höhen von ca. 20 Bäumen je Probefläche gemessen, die sich in den ersten beiden Pflanzreihen an der Längsseite des Probeflächenrechtecks befanden, sowie zusätzlich die Höhen der 6 stärksten Bäume der Probefläche (ASSMANN 1961). Die Messungen erfolgten mit dem Blume-Leiss-Höhenmesser.
Schließlich wurden folgende phänologischen und sonstigen Merkmale der Bäume erhoben und im Aufnahmeformular (Anhang 2) verschlüsselt festgehalten:

CODE	MERKMAL
01	toter Baum
02	Oberhöhenbaum (aus dem Kollektiv der 100 stärksten Bäume pro ha)
03	Baum, an dem Höhen- und BHD-Messung durchgeführt wurde
04	Baum, an dem lediglich eine BHD-Messung durchgeführt wurde
05	Zwieselstamm
06	Stamm gebrochen

S t a m m k u b i e r u n g

Für die Volumenbestimmungen wurden Messungen an 100 Stämmen von Pinus elliottii durchgeführt[1]. Die Kubierung erfolgte dabei nach der SMALIAN'schen Methode, das heißt die Durchmessermessungen erfolgten in absoluten Abständen von 1 Meter. Alle Durchmesser wurden mit Rinde gemessen und die Durchmesser ohne Rinde durch Messung der Rindenstärken rechnerisch ermittelt.
Bei dem Verfahren nach SMALIAN wird das Volumen der einzelnen Stammabschnitte aufgrund der Abschnittslänge von 1 Meter und der jeweiligen Stammquerschnittsflächen bestimmt. Die Meßstelle für die Durchmesserbestimmung kann jedoch dann verschoben werden, wenn Unregelmäßigkeiten, wie zum Beispiel Äste, Totäste u.a.,gegeben sind. Damit verändert sich die Abschnittslänge, was bei der Volumenbestimmung mittels der "Endflächenformel" zu berücksichtigen ist (zur Methode vgl. im einzelnen PRODAN 1965).

[1] Das Auswahlverfahren ist bei SCHNEIDER (1984) erklärt.

Das Verfahren nach SMALIAN mit der Bildung absoluter Sektionen wird in Brasilien im allgemeinen angewendet. Möglich wäre auch die Kubierungsmethode nach HOHENADL (1924) gewesen. Dabei wird der Baumstamm unabhängig von seiner Gesamtlänge in fünf längengleiche relative Sektionen eingeteilt. Diese Methode wird in praktischen und besonders in wissenschaftlichen Untersuchungen
Beispiel zu der Bestimmung echter Formzahlen, echter Formquotienten und echter Ausbauchungsreihen. Nach PRODAN (1965) besteht ein großer Vorteil dieser Methode in der Möglichkeit, verschiedene Stämme unmittelbar miteinander zu vergleichen, was bei dem Verfahren nach HUBER und SMALIAN nicht möglich ist. Die große Zahl der in Brasilien angebauten Baumarten legt eine verstärkte Anwendung der Methode von HOHENADL nahe. Denn so könnten unmittelbar vergleichende Studien zwischen verschiedenen Stämmen durchgeführt werden.
Die in dieser Arbeit angewandte Methode nach SMALIAN ist bei der Datenaufnahme einfacher und erbringt genauere Ergebnisse als die Methode von HOHENADL; sie ist aber andererseits aufwendiger und teurer aufgrund der großen Zahl der notwendigen Stammessungen.

S t a m m a n a l y s e n

Zur Durchführung von Stammanalysen wurden 25 Kiefern, jeweils fünf je Standortseinheit, aus der Klasse der 100 stärksten Bäume gefällt (nach der Definition ASSMANN 1961). Die Stammscheiben wurden in folgender Weise gewonnen und ausgewertet (vgl. ABETZ 1960):

a) Entnahme der Stammscheiben
Nach der Fällung wurden die Äste entfernt und die Schnittstellen für die Stammscheiben bei 0,1 m, 0,3 m, 1,3 m und dann je nach Lage der Astquirle jeweils ungefähr im Meterabstand bis zur Stammspitze gekennzeichnet. Die Stammscheiben wurden - stets zwischen Astquirlen - an diesen Stellen mit einer Dicke von ca. 3 cm entnommen. An jeder Scheibe wurde ein Plastikdruckband mit Scheibennummer, Höhe des Schnittes, Nummer der Abteilung, Standortseinheit usw. angebracht. Sämtliche Daten und zusätzlich die Gesamthöhe des Stamms, die Höhe bis zum ersten lebenden Ast, die Zahl der Scheiben, die Höchstzahl der Jahrringe usw. wurden in einem Formular (vgl. Anhang 4) aufgezeichnet.

b) Transport und Trocknen der Scheiben
Die Scheiben wurden zunächst, in Wergsäcken verpackt, an einer schattigen und belüfteten Stelle getrocknet. Anschließend wurden die Scheiben geschliffen, um die nachfolgenden Messungen zu erleichtern.

c) Messungen
Für die Messungen zur Abschätzung des jährlichen Zuwachses wurden dann die zu vermessenden Radien auf den Scheiben aufgezeichnet. Für die Genauigkeit der Zuwachsabschätzungen ist dabei die Wahl der zu vermessenden Radien nach Zahl und Lage sowie die Art der Durchschnittsbildung von Bedeutung.

Statistisch gesehen steigt die Genauigkeit von Radienbestimmungen auf einer Stammquerfläche mit der Zahl der untersuchten Radien. Je nach Untersuchungszweck und geforderter Genauigkeit wird aber ab einer bestimmten Radienzahl die Erhöhung der Zahl zu untersuchender Radien je Scheibe keine weiteren Vorteile bringen. Im allgemeinen werden vier senkrecht zueinander stehende Radien vermessen für die Bestimmung der Stammquerfläche, der Durchmesser je Meßhöhe bzw. der Jahrringbreiten. PRODAN (1965) empfiehlt beispielsweise für die Zuwachsbestimmung die Vermessung von vier oder acht Radien, die nach dem größten Scheibenradius auszurichten sind. GEORGOPOULUS und ASTERIS (1967, S. 192) haben bei ihren Untersuchungen fünf Radien angewandt. SIOSTRZONEK (1958) schließlich hat beim Versuch der exakten Erfassung der radialen Zuwüchse bei Picea abies eine Zeichnung über sechzehn Radien aufgestellt, die über drei verschiedene geometrische Querflächenformen (ovale, elyptische kreisförmige Form) bestimmt wurden.
In der vorliegenden Arbeit wurde in folgender Weise vorgegangen: Ausgehend vom größten Radius wurde, 45° nach links gewandt, der erste Radius auf die Scheibe gezeichnet. Die Verlängerung dieses Radius ergab den zweiten Radius, die zwei übrigen Radien wurden durch die Senkrechte hierzu gebildet. Die Messung der Jahrringe erfolgte auf diesen vier Radien mittels eines Lineals mit Millimetereinteilung, falls erforderlich, unter Zuhilfenahme einer Lupe. Das Formular für den Eintrag der Meßergebnisse ist im Anhang 4.2 enthalten.

Nach GEORGOPOULUS und ASTERIS (1967) weichen die Querflächen der Stämme je nach Baumart, Windexponierung usw. mehr oder weniger von der Kreisform ab. Das bringt Schwierigkeiten bei der Suche nach dem geeignetsten gemittelten Radius zur Bestimmung der radialen Zuwüchse der Querflächen usw.. Nach SIOSTRZONEK (1958) sind die Fehler, die bei der Zuwachsschätzung begangen werden, vor allem auf die Schwierigkeiten bei der Bestimmung des geeignetsten Durchmessers zurückzuführen. In seinen Untersuchungen an Picea abies erwies sich bei der Überprüfung des arithmetischen, geometrischen und quadratischen Mittelwerts das arithmetische Mittel als am besten geeignet zur Bestimmung der radialen Zuwüchse.

In der vorliegenden Untersuchung wurde entsprechend verfahren und das arithmetische Mittel verwendet.

3.4 Verarbeitung der Inventurdaten

Angaben zur EDV-Anlage und den Programmen

Die Datenverarbeitung erfolgte teils mit dem System IBM 360/60 der Bundesuniversität Santa Maria (Brasilien) und teils mit dem System UNIVAC 1106 der Universität Freiburg.
Die Programme sind zum überwiegenden Teil in FORTRAN IV geschrieben und, soweit im folgenden nicht ausdrücklich angegeben, vom Verfasser entwickelt. Die Regressionsanalysen wurden mit Hilfe des SPSS-Programm-Packets durchgeführt (BEUTEL u.a. 1983), und zwar als "Forward-Regressions-Verfahren". Dieses Rechenmodell ist dann besonders geeignet, wenn keine definierten Regressionsmodelle vorhanden sind oder wenn Auswahlmöglichkeiten unter mehreren Modellen bestehen.

Eine Übersicht über die in dieser Untersuchung angewandten Rechenprogramme befindet sich im Anhang 5.

Auswertung der Erhebungen in den Probeflächen

Die Analyse der Probeflächen wurde mit dem Programm ANAPAR (Análise das parcelas, zu Deutsch Analyse der Probeflächen) durchgeführt. Dieses Programm berechnet für jede Probefläche bestimmte dendrometrische und produktionsbezogene Kennzahlen wie den arithmetischen Mitteldurchmesser, den Durchmesser des Grundflächenmittelstammes, den durchschnittlichen Durchmesser der 100 stärksten Bäume, die Grundfläche, den durchschnittlichen Grundflächenzuwachs je Hektar, den Vorrat an Baumholz mit und ohne Rinde je Hektar, den durchschnittlichen jährlichen Zuwachs an Baumholz mit Rinde je Hektar, den Vorrat je Hektar in Raummetern mit Rinde, den Prozentsatz an toten und lebenden Bäumen, die Baumzahl je Hektar sowie die Standardabweichung und den Variationskoeffizient der Durchmesser.
Diese Ergebnisse werden zur Produktionsschätzung und zur Bestimmung der statistischen Präzision der Inventur angewendet. Ebenso bilden sie die Grundlage zur Aufstellung der Ertragstafel und die Grundlage für viele im Rahmen der Forsteinrichtung zu fällende Enscheidungen.

Zur Bestimmung der Stammvolumina

Die Volumenbestimmung der gefällten Probebäume erfolgte mit dem FORTRAN-Programm SMALI (SILVA 1976), welches das Volumen mit und ohne Rinde nach dem SMALIAN'schen, dem HOHENADL'schen und dem PRESSLER'schen Verfahren sowie echte Ausbauchungszahlen, die echte Schaftholzformzahl und die Brusthöhenformzahl berechnet.
Bei der Volumenbestimmung nach dem HOHENADL'schen Verfahren wird zur Schätzung der HOHENADL'schen Durchmesser relativer Sektionen im Programm SMALI aufgrund der Arbeit von NAGEL (1968) eine lineare Interpolation angewandt. NAGEL stellte nämlich fest, daß die lineare Interpolation im Vergleich zur logarithmischen eine bessere Annäherung für die Schätzung der Werte relativer Sektionen erbringt. Der prozentuale Fehler bei der Durchmesserschätzung für die Höhe 1/10 liegt bei dieser Methode bei mehr oder weniger 2,5 %, bei den übrigen Höhen schwankt der prozentuale Fehler zwischen 0,2 und 2,5 %.
Dieses Ergebnis stimmt sehr gut mit den Angaben von GROSENBAUGH (1966) überein. Dieser schlägt daher für eine ausreichend genaue Schätzung von Durchmessern relativer Sektionen absolute Abschnitte von höchstens 2 Meter Länge vor.
Der Ablauf des Programms SMALI mit den diversen Unterprogrammen ist mittels Flußdiagramm in Abbildung 2 dargestellt (aus SILVA 1976). Zunächst erfolgt im Programm die Berechnung der HOHENADL'schen Durchmesser mit dem Unterprogramm DHO (vgl. Abbildung 2). Es folgen mit dem Unterprogramm FORM die Berechnung der echten Schaftholzformzahl ($\lambda_{0,9}$) und der Brusthöhenformzahl ($f_{1,3}$), des HOHENADL'schen Quotienten (qH) und der echten Ausbauchungszahlen.
Das Stammvolumen wird beim Verfahren HOHENADL nach folgender Formel berechnet:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d^2_{0,9} \cdot h \cdot \lambda_{0,9}$$

wobei

$d_{0,9}$	Durchmesser bei 0,9 m der Gesamthöhe von der Spitze aus gemessen, mit Hilfe des Unterprogramms DHO ermittelt;
h	Gesamthöhe
$\lambda_{0,9}$	Echte Schaftholzformzahl

bedeuten.

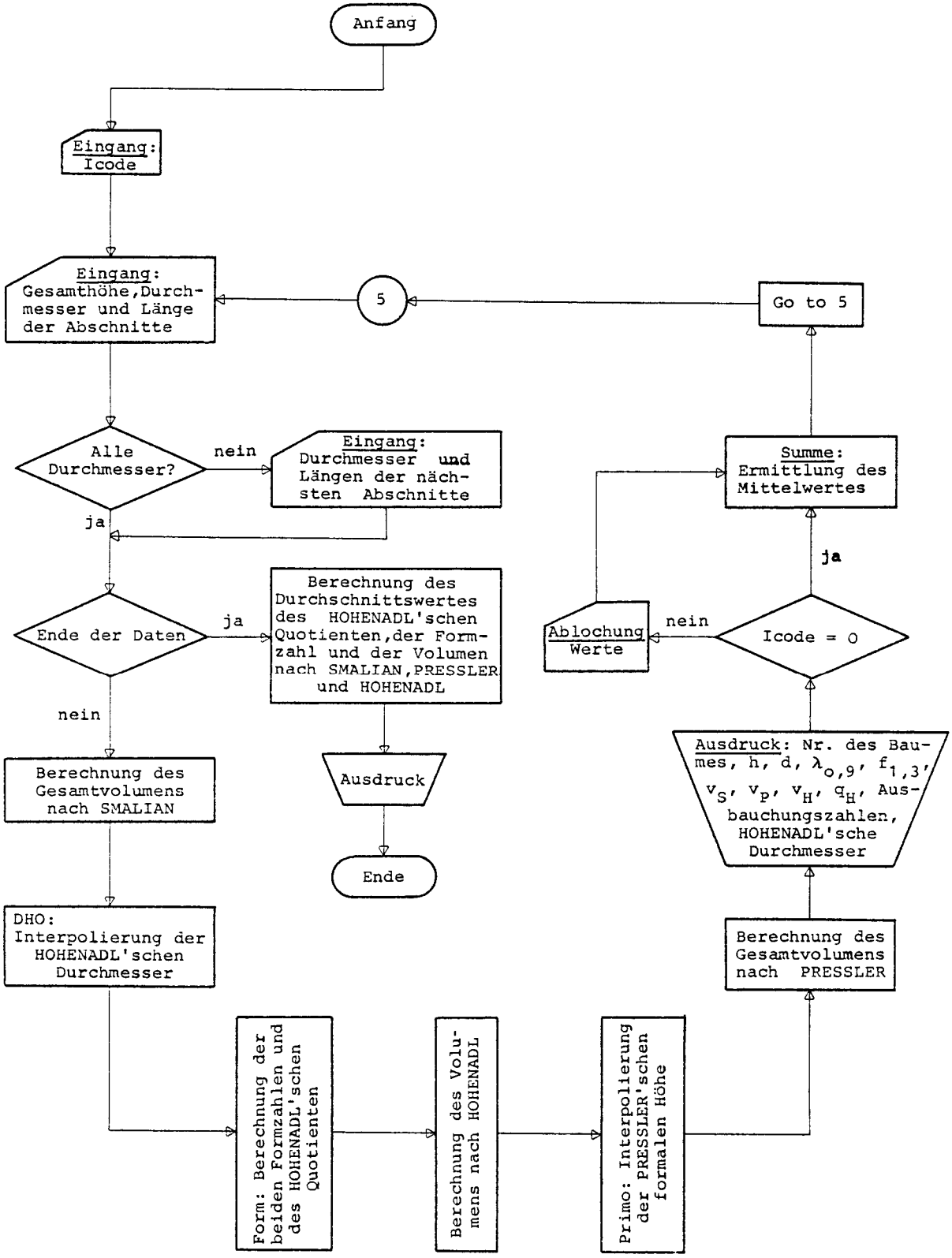


Abb. 2: Flußdiagramm des EDV-Programms SMALI zur Volumenbestimmung von Einzelbäumen (SILVA 1976)

Auswertung der Daten der Stammanalyse

Die Daten der Stammanalyse wurden mit dem FORTRAN-Programm ANATRO ausgewertet. Dieses Programm berechnet die Schaftholzformzahl je Alter und das Volumen nach dem SMALIAN'schen Verfahren. Durchmesser und Grundfläche werden mittels der in BHD-Höhe entnommenen Scheibe berechnet. Die Gesamthöhe des Stamms wird durch die Summe der jeweiligen Abschnittslängen über eine Extrapolation der Schaftkurve über die jeweils höchste Stammscheibe (als Parallele zu jüngeren Jahrringen) hinaus ermittelt.
Diese Auswertungen dienen insbesondere zur Herleitung von Ertragsklasse und Wachstumsprognosen.

3.5 Statistische Hilfsverfahren für Regressionstests und Regressionsentscheidungen

Bei der Datenauswertung wurden in größerem Umfang Regressionsanalysen durchgeführt. Einführungen in die Regressionsanalyse geben zum Beispiel LOETSCH u.a. (1973, 1975), POLLANSCHÜTZ (1965), PRODAN (1968) und SILVA (1977). Im folgenden werden Hilfsverfahren für Regressionstests vorgestellt, die bei der Datenverarbeitung von besonderer Bedeutung waren[1].

Der FURNIVAL-Index

Der FURNIVAL-Index erlaubt den Vergleich der Ergebnisse von gewogenen oder ungewogenen Gleichungen mit den transformierten oder nicht transformierten "abhängigen" Variablen. Dieses Verfahren wurde unter bestimmten Voraussetzungen an Stelle des üblicherweise mit "Standardresidualfehler" bezeichneten Genauigkeitsmaßes angewendet. Denn die Bestimmung des "Standardresidualfehlers" soll nur bei Gleichungen erfolgen, in denen die "abhängigen" Variablen die selbe Einheit aufweisen wie die unabhängigen Variablen (PAULA NETO 1977).
Die Berechnung des FURNIVAL-Indexes wird in drei Phasen durchgeführt (nach SALAZAR 1972, PAULA NETO 1977 und SILVA 1977):

a) Berechnung des "Standardresidualfehlers" durch den Ausgleich der Regression für die angewendeten Daten.

---

[1] Ausführliche Darstellung dieser Regressionstests mit Beispielen bei SCHNEIDER (1978).

b) Mit Hilfe von Logarithmen werden die geometrischen Mittel der verschiedenen Variablenableitungen ermittelt. Wenn die abhängige Variable in Logarithmus transformiert wird und ihre Ableitung mit V^{-1} bezeichnet wird, kann das geometrische Mittel durch folgende Umkehrung ermittelt werden:

$$I = \text{antilog} \frac{\Sigma \log (V^{-1})}{n} = \text{antilog} \frac{\Sigma \log V}{n} \cdot \log e^{-1}$$

wobei

n Zahl der Beobachtungen

V Abhängige Variable

bedeuten.

Falls die "abhängige" Variable nicht transformiert wird, ist die Ableitung gleich 1 und entspricht damit dem Index des "Standardresidualfehlers". Bei der gewichteten Gleichung wird der FURNIVAL-Index aufgrund des angegebenen Gewichts ermittelt.

c) Abschließend wird jeder Standardresidualfehler mit der Umkehrung des geometrischen Mittels multipliziert nach folgender allgemeiner Gleichung:

$$IF = \{F' \quad (V)\}^{-1} \cdot EPR = I \cdot EPR$$

wobei

F'(V) Ableitung der "abhängigen" Variablen

EPR Standardresidualfehler

$\{F'(V)\}^{-1}$ Geometrisches Mittel

bedeuten.

Der Prozentwert dieses Indexes wird nach folgender Formel ermittelt:

$$IF\% = \frac{IF}{\bar{V}} \cdot 100$$

wobei

$\bar{V}$ Mittelwert der "abhängigen" Variablen

bedeutet.

Zur "logarithmischen Diskrepanz"

Die Transformation von Gleichungen zur Volumenbestimmung in die logarithmische Form ergibt eine ausreichende Stabilisierung der Varianz und bildet somit eine mögliche Methode, um die Heterogenität der Varianz zu korrigieren.

Die Problematik für die Anwendung logarithmischer Gleichungen liegt in der Transformation der Variablen, da dies zu systematischen Fehlern führt, die als "logarithmische Diskrepanz" bezeichnet wird (MEYER 1941). Diese "logarithmische Diskrepanz" entsteht, wenn der Gegenlogarithmus der "abhängigen", geschätzten Variablen ermittelt wird. Das als Gegenlogarithmus ermittelte durchschnittliche Volumen stellt ein geometrisches Mittel der Volumenwerte dar. Diese Wert unterscheidet sich also vom arithmetischen Mittel. Daher wird es notwendig, einen Faktor zum Ausgleich des systematischen Fehlers zu finden, der die Schätzung des geometrischen Mittels in eine Schätzung des arithmetischen Mittels transformiert (SILVA 1977 und MEYER 1941).

Die Gleichung zur Ermittlung des arithmetischen Mittels der geschätzten "abhängigen" Variablen kann folgendermaßen beschrieben werden:

$$m_V = Vd \cdot 10^{1,1513 \cdot S^2} = Vd \cdot F$$

wobei

m_V	berichtigte Schätzung
F	$10^{1,1513 \cdot S^2}$
S^2	Quadrat des Standardfehlers der Schätzung
Vd	berechnete abhängige Variable

bedeuten.

Voraussetzungen für Regressionsanalysen

Nach FRAYER (1971), FREESE (1964) und CUNIA (1963) sind die Homogenität der Varianz, die Normalität und die Unabhängigkeit Grundvoraussetzungen für die Regressionsanalyse.

a) Homogenität der Varianz (BARTLETT-Test)
Unter den vorhandenen Tests zur Prüfung der Homogenität der Varianz ist der üblichste das χ^2 - Kriterium von BARTLETT.
Nach STEEL und TORRIE (1960) wendet man zur Berechnung des χ^2 folgende Formel an:

$$\chi^2 \; (m - 1) \; gl = \frac{M \ln \{ \sum_{u=1}^{m} (Vu \cdot Su^2)/M \} - \sum_{u=1}^{m} (Vu \cdot \ln Su^2)}{1 + \frac{1}{3\,(m-1)} \left(\sum_{u=1}^{m} \frac{1}{Vu} - \frac{1}{M} \right)}$$

wobei

m	Zahl der Klassen
Su^2	Varianz der Klasse u
Vu	Freiheitsgrade assoziiert mit der Varianz Su^2
M	definiert als $M = \sum_{u=1}^{m} Vu$

bedeuten.

Der Wert des berechneten χ^2 wird mit dem Wert der Tabelle verglichen. Signifikante Unterschiede weisen auf eine Heterogenität der Varianz hin.

b) Normalität (KOLMOGOROV-SMIRNOV-Test)
Nach SACHS (1969) ist der KOLMOGOROV-SMIRNOV-Test ein statistisches Verfahren, um die Normalität zu testen. Dieser Test berücksichtigt das Verhältnis zwischen der maximalen absoluten Differenz der beobachteten und der erwarteten Häufigkeiten und der Zahl der Beobachtungen.

$$KS = \frac{dmax}{n}$$

wobei

dmax	maximale absolute Differenz zwischen den beobachteten und den erwarteten Häufigkeiten
n	Zahl der Beobachtungen

bedeuten. Falls die Zahl der Beobachtungen größer als 30 ist, wird der errechnete Wert mit dem Wert $1{,}63/\sqrt{n}$ für 1 % Übertretenswahrscheinlichkeit bzw. $1{,}36/\sqrt{n}$ für 5 % Übertretenswahrscheinlichkeit verglichen. Liegt der errechnete Wert KS über dem Prüfwert, liegen signifikante Unterschiede vor. Bei geänderten Bedingungen ($n < 30$, $p \neq 1$ % oder 5 %) sind in der Literatur Prüftabellen von KOLMOGOROV-SMIRNOV angegeben.

c) Unabhängigkeit (DURBIN-WATSON-Test)
YAMANE (1974) stellt Tests vor, die zur Überprüfung der "Unabhängigkeit" angewendet werden können. Der DURBIN-WATSON-Test ist eines dieser Verfahren. Er stellt fest, ob die Werte von ε_i untereinander "serienmäßig" korreliert sind, was als stochastischer Fehler oder Störung der Regression zu charakterisieren ist. Diese Unabhängigkeitsprüfung der ε_i ist sehr wichtig bei der Regressionsanalyse. Falls die ε_i abhängig sind, ist es möglich, daß die Methode der kleinsten Quadratsumme nicht die besten Schätzungen ergibt. In diesem Fall können auch die t- und F-Verteilungen nicht zur Prüfung von Hypothesen oder zur Bestimmung von Vertrauensbereichen angewendet werden.
Das Verfahren zur Bestimmung, ob die ε_i "serienmäßig" korreliert sind, besteht darin, den Wert "d" auszurechnen und ihn mit den kritischen Tabellenwerten von DURBIN-WATSON zu vergleichen (zum Beispiel bei YAMANE 1974 angegeben).
Die Signifikanzprüfung für ein bestimmtes Wahrscheinlichkeitsniveau wird dabei im Rahmen der Hypothese $H_\emptyset$ und H_1 durchgeführt, wobei

$H_\emptyset$ Serienkorrelation nicht vorhanden

H_1 Serienkorrelation vorhanden

bedeuten.
Der statistische Wert "d" wird nach folgender Formel ermittelt:

$$d = \frac{\sum_{i=2}^{n} \{\varepsilon_i - (\varepsilon_{i-1})\}^2}{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2}$$

Eine positive Korrelation der ε_i Werte liegt dann vor, wenn der Wert "d" fast gleich null oder sehr klein ist.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Einführung

Beim gegenwärtigen Entwicklungsstand der brasilianischen Forstwirtschaft und -wissenschaft fehlen wichtige holzmeßkundliche, ertragskundliche, waldbauliche und betriebswirtschaftliche Grundinformationen zur Erstellung von Forsteinrichtungswerken. In großem Umfang werden in den Forstbetrieben Südbrasiliens erstmalig Forsteinrichtungen durchgeführt. Die Inventur des natürlichen Standorts, der Bestände, des wirtschaftlichen Standorts und der wirtschaftlichen Situation des Forstbetriebes muß daher so durchgeführt werden, daß holzmeßkundliche, ertragskundliche und betriebswirtschaftliche Grundlagen der forstlichen Planung wie zum Beispiel Massentafeln, Ertragstafeln, Sortentafeln und Kalkulationen zur Umtriebszeit erstellt werden können.
Die hierzu erforderlichen Datenerhebungen und Berechnungen sind im Flußdiagramm in Abbildung 3 wiedergegeben. Bei der vorliegenden Untersuchung wurde in der in Abbildung 3 dargestellten Reihenfolge vorgegangen.

4.2 Die Standortseinheiten [1)]

In der Vergangenheit wurde die Flächengliederung des Bundeswaldes ausschließlich nach geographischen Gesichtspunkten in Abteilungen vorgenommen. Eine Bewertung der Flächen hinsichtlich des Produktionspotentials oder die Bildung von Planungseinheiten auf standörtlicher Grundlage, was beispielsweise bei der Baumartenwahl von großer Bedeutung wäre, waren bislang nicht vorhanden[2)].
Durch die Standortskartierung mit der in Kapitel 3.2 beschriebenen kombinierten Methode wurden fünf sich deutlich hinsichtlich Boden, Relief und Lage unterscheidende Standortseinheiten ausgeschieden. Einzelheiten zur Methode oder zu den Ergebnissen der Kartierung können dem Forsteinrichtungswerk entnommen werden (SCHNEIDER 1984).

---

1) Die Standortskartierung wurde von GALVÃO, HOPPE, LONGHI, MARCHIORI vom Fachbereich "Forstliche Ökologie" der Bundesuniversität Santa Maria durchgeführt. Die vollständigen Ergebnisse der Standortskartierung - Karten und Erläuterungen - sind Bestandteil des Forsteinrichtungswerkes (SCHNEIDER 1984).
Eine umfassende Darstellung der standörtlichen Verhältnisse des Bundeswaldes "Passo Fundo" liegt außerhalb des Zweckes dieser Arbeit. Die Erläuterungen dienen lediglich als Verständnisgrundlage für die ertragskundlichen und betriebswirtschaftlichen Inventurauswertungen.

2)

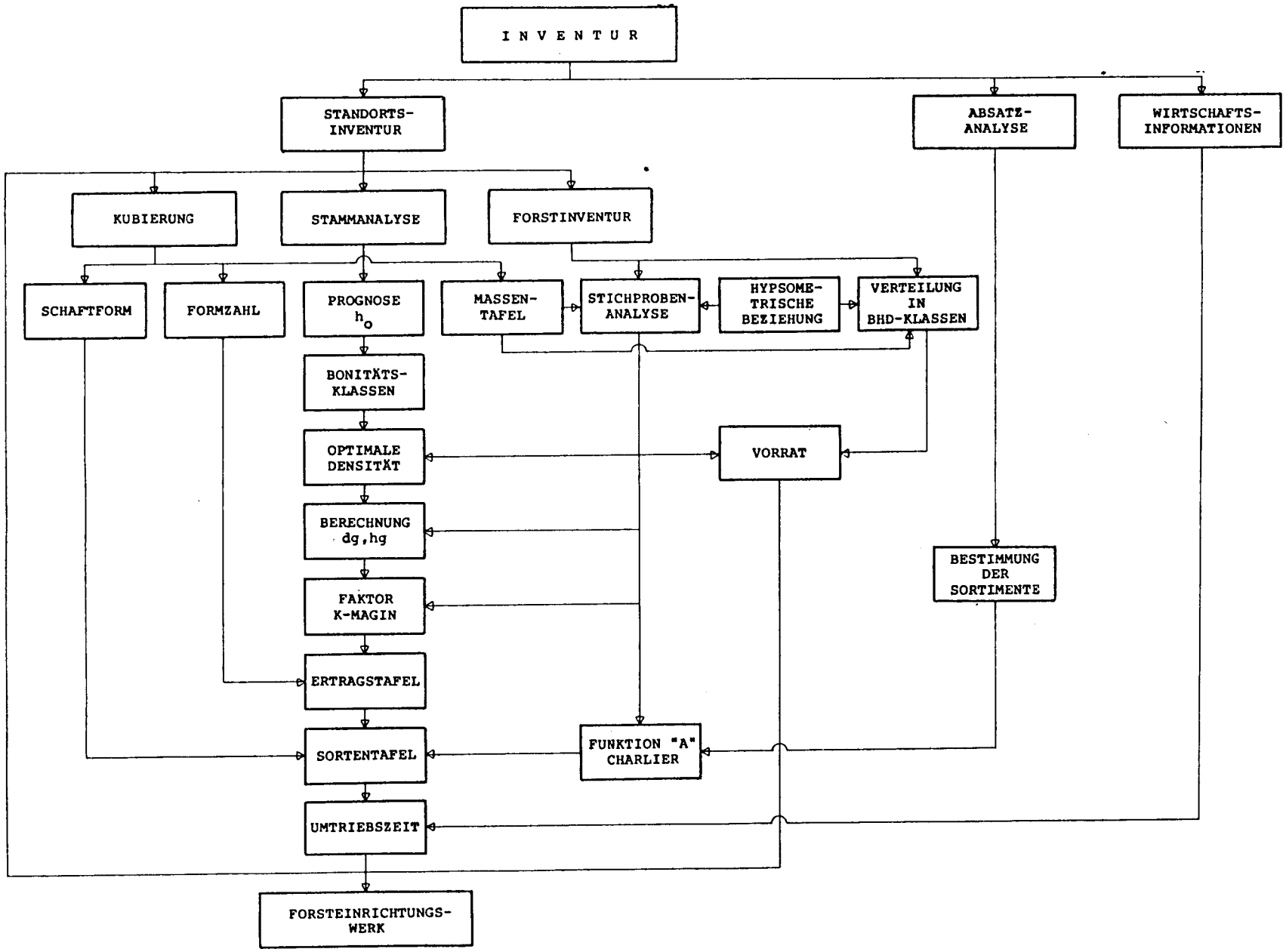


Abb. 3: Ablauf von Inventur und Inventurauswertung im Rahmen der Forsteinrichtung

Kurzcharakteristik der Standortseinheiten (Sítios naturais)

Standortseinheit 1

a) Boden

Tiefgründiger, roter Latosol (Latossolo vermelho profundo); Bodenhorizonte wenig differenziert; gute Wasserdurchlässigkeit; porös; Farbton gleichmäßig rötlich im ganzen Profil (2,5 YR); Bodenart toniger Lehm bis Ton; Gefüge oben einzelkörnig (bis ca. 50 cm), dann krümelig, bei größeren Tiefen (ab ca. 80 cm) kohärent; Wurzeln gleichmäßig verteilt, wobei die ersten 10 cm durch eine Konzentration mykotropher Wurzeln gekennzeichnet sind; ab 25 cm dickere Seitenwurzeln.

Unter Araukarienbeständen weist der O-Horizont folgende Merkmale auf:

L-Lage:	2 - 5 cm,Äste und Nadeln von Araukarien
F-Lage:	0 - 2 cm,Äste und Nadeln in der Zersetzungsphase, große Fülle von mykotrophen Wurzeln zu beobachten
H-Lage:	0 - 0,5 cm,mit ausgezeichneter mykotropher Durchwurzelung

Unter Pinusbeständen weist der O-Horizont folgende Merkmale auf:

L-Lage:	4 - 5 cm, Kiefernäste und -nadeln
F-Lage:	2 - 4 cm, Bestandesmaterial in der Zersetzungsphase, große mykotrophe Wurzeldichte, die in Richtung Mineralboden zunimmt
H-Lage:	0 - 1 cm, ausgezeichnete mykotrophe Durchwurzelung

b) Relief

Die Standortseinheit 1 findet sich in höher gelegenen, flach bis leicht geneigten (1 bis 5°) Teilen des Bundeswaldes

Standortseinheit 2

a) Boden

Hydromorphe Böden (Solos hidromórficos); dunkelbraune bis dunkelgraue Farbtöne (10 YR); Bodenart lehmig bis tonig; krümeliges bis kohärentes Gefüge; schwache Durchwurzelung in den ersten 10 cm mit dünnen Wurzeln mit wenig Mykorrhiza, dickere Wurzeln können bis ca. 30 cm beobachtet werden.

Unter Araukarienbeständen, die in großem Umfang Laubbaumunterstand aufweisen, lediglich dünne Streuschicht mit schwach ausgebildeten L-, F- und H-Lagen und mykotropher Durchwurzelung.
Unter Pinusbeständen weist der mächtige O-Horizont folgende Merkmale auf:

L-Lage:	3 - 6 cm aus Kiefernästen und -nadeln
F-Lage:	2 - 4 cm geringe mykotrophe Durchwurzelung
H-Lage:	0 - 1 cm Entwicklung der Lage im Anfangsstadium, spärliche Durchwurzelung

b) Relief
Tiefe Lagen des Bundeswaldes, in Senken und entlang von Bachläufen, flach geneigt mit 1 bis 3°.

S t a n d o r t s e i n h e i t 3

a) Boden
Lithomorphe Böden (Solos litólicos); flachgründig (im Durchschnitt 25 cm); steinreich; Wasserhaushalt trocken; Bodenart sandiger Lehm; Einzel- bis Krümelgefüge, porös, nicht plastisch und nicht klebrig; Farbe dunkelbraun (7,5 YR); Durchwurzelungsintensität sowohl bei den Pinus- als auch bei den Araukarienbeständen mittelmäßig ausgeprägt; mit Ausnahme der ersten 5 cm Wurzeln gleichmäßig im Profil verteilt.
Die Streuschicht ist unter Kiefernbeständen mit 2 bis 6 cm mächtiger als unter Araukarienbeständen mit 1 bis 2 cm. Bei den Araukarienbeständen überwiegen Mischbestände mit unterständigen Laubbäumen mit entsprechender Mischstreu.

b) Relief
Hanglagen mit bis zu 25°.

S t a n d o r t s e i n h e i t 4

a) Boden
Verdichteter, tiefgründiger, roter Latosol (Latossolo vermelho profundo compactado); die Bodenprofile ähneln denen der Standortseinheit 1; sie sind wie diese tiefgründig, aber mit geringerer Wasserdurchlässigkeit, leicht plastisch bis klebrig, ab ca. 30 cm wenig porös; Farbton bis 50 cm rötlich dunkelbraun (2,5 YR); Bodenart toniger Lehm bis Ton; Gefüge bröckelig bis krümelig bis 50 cm, tiefer liegend kohärent; die Verdichtung des Bodens ist vermutlich durch früheren landwirtschaftlichen Anbau oder aber frühere Viehzucht entstanden; noch stärker verdichtet sind die Böden der Standortseinheit 5; Durchwurzelungsintensität mittelmäßig, bis zu einer Tiefe von 50 cm gleichmäßig.
Unter Araukarienbeständen weist der O-Horizont folgende Merkmale auf:

L-Lage: 1 - 4 cm aus Araukarienmaterial
F-Lage: 1 - 2 cm Araukarienmaterial mit mykotropher Durchwurzelung
H-Lage: 0,5 - 1 cm mit geringer mykotropher Durchwurzelung

Unter Kiefernbeständen ist die Streuauflage mächtiger (L-Lage 3 - 5 cm, F-Lage 2 - 4 cm, H-Lage 0 - 1 cm); mykotrophe Wurzeln in den F- und H-Lagen.

b) Relief
Höher gelegene, flach bis leicht geneigte (3 bis 7°) Lagen des Bundeswaldes

S t a n d o r t s e i n h e i t 5

a) Boden
Stark verdichteter, tiefgründiger, roter Latosol (Latossolo vermelho profundo compactadíssimo); die Horizonte sind deutlich differenziert, im Profil Quarzkörner unterschiedlicher Größe; tiefgründig; wenig porös; an der Oberfläche verhärtet; im feuchten Zustand plastisch, klebrig; Farbton rötlich dunkelbraun (5 YR) bis dunkles dunkelbraun (2,5 YR); Bodenart tonig; kohärentes Gefüge mit den ersten Zentimetern beginnend; Durchwurzelung in den ersten 15 cm schwach, in größeren Tiefen weiter abnehmend. Unter Kiefer und besonders unter Araukarie verhältnismäßig dünne Streuschicht; unter Araukarienbeständen L-Lage dünner als 2 cm, F-Lage 0,5 - 1 cm, beide Lagen aus Araukarienmaterial und Material des Unterholzes; mykotrophe Wurzeln in der Streu nur begrenzt vorhanden; unter Kiefer etwas stärkere Streuschicht mit L-Lage von 2 - 4 cm und F-Lage von 1 - 3 cm, die ausschließlich durch Kiefernmaterial gebildet werden, weitgehend ohne Wurzeln.

b) Relief
Obere Lagen des Bundeswaldes, flach bis leicht geneigt (2 bis 5°).

4.3 Das Volumen des Einzelbaumes

4.3.1 Literaturüberblick

Massentafeln werden für einzelne Arten oder für Artengruppen erstellt und geben das Volumen des Baumes in Abhängigkeit von den Eingangsgrößen

- Durchmesser des Baumes oder
- Durchmesser und Höhe des Baumes oder
- Durchmesser, Höhe und Formzahl des Baumes

an. Entsprechend ergeben sich drei Grundarten von Massentafeln unterschiedlicher Geltungsbereiche: die lokalen, regionalen und großräumig gültigen Massentafeln. Die regionale Massentafel wird am häufigsten angewandt. Mit ihr wird das Volumen als Funktion von Durchmesser und Höhe des Baumes ermittelt. Großräumig gültige Tafeln, die zusätzlich Formunterschiede berücksichtigen, finden dagegen selten Anwendung. Denn für ihre Aufstellung wird eine sehr große Zahl von Messungen benötigt. Oftmals erweist sich die zusätzliche Berücksichtigung der Form als wenig bedeutungsvoll für praktische Fragestellungen (HONER 1965).
SMITH u.a. (1961) zum Beispiel überprüfen verschiedene Volumenregressionen, die die Form der untersuchten Douglasien, Hemlocktannen bzw. Thuja neben Durchmesser in Brusthöhe und Höhe als unabhängige Variable berücksichtigen. Dabei zeigt sich für dieses Untersuchungsmaterial, daß die Berücksichtigung der Form als dritter Variabler keine praktisch bedeutsamen Vorteile erbringt. Die Untersuchungen von BEHRE (zitiert nach HONER 1965) bestätigen, daß Brusthöhendurchmesser und Baumhöhe berücksichtigende regionale Massentafeln innerhalb ihres Gültigkeitsbereiches befriedigend genaue Volumenschätzungen ergeben - ähnlich genau denen aus großräumig gültigen, die Form zusätzlich berücksichtigenden Massentafeln.
Nach DREES (1959) sollte bei der Erstellung regionaler Massentafeln in folgender Weise vorgegangen werden:

a) Auswahl von Probestämmen mittels Zufallsstichproben.

b) Bestimmung des Volumens der Probestämme mittels geeigneter Formel (nach den in Kapitel 3.4, S.23 beschriebenen Verfahren).

c) Aufstellung einer Volumenregression zur Abschätzung des Volumens in Abhängigkeit von Baummerkmalen ($d_{1,3}$, h usw.).

HEINSDIJK (1965) benutzt für seine Massentafeln von Eucalyptus spp. eine logarithmische Form der von SCHUMACHER und HALL vorgeschlagenen Volumenregression:

$$\log V = \log b_o + b_1 \log d + b_2 \log h$$

wobei

V	Baumvolumen
d	Durchmesser in 1,3 m Höhe
h	Baumhöhe
b_o, b_1, b_2	Koeffizienten

bedeuten.

PAULA NETO (1977) wendet für die Volumenabschätzung von Eucalyptus saligna ein Modell mit kombinierten Variablen an. Er stellte bei der Anwendung des von FURNIVAL vorgeschlagenen Gewichts $1/d^2h$ fest, daß die Volumenregression mit nicht-gewichteten Variablen die Volumina der kleinsten Durchmesser- und Höhenklassen unterschätzt, während die Regression mit gewichteten Variablen zu einer besseren Schätzung der Volumina der kleinen Klassen und zu einer Überschätzung der Volumina der großen Klassen führt.

PAULA NETO (1975) vergleicht 127 mögliche lineare Modelle zur Bestimmung des Volumens, die aus sieben verschiedenen Kombinationen der Variablen Durchmesser und Höhe ermittelt wurden. Bei dieser sogenannten "Methode aller Möglichkeiten" zur Beurteilung der Regressionsgleichung zeigt sich, daß mehr als vier unabhängige Variablen in einem volumetrischen Modell nicht mehr zu bedeutenden Steigerungen des Bestimmtheitsmaßes R^2 führen, und daß die unabhängige Variable d^2h nicht außer Acht gelassen werden sollte. Denn sie korreliert am höchsten mit dem Volumen.

SCHNEIDER und HOSOKAWA (1978) zeigen, daß die logarithmische Gleichung der kombinierten Variablen von SPURR das geeignetste Modell zur Abschätzung der Volumina mit und ohne Rinde einzelner Acacia mearnsii-Bäume in Südbrasilien darstellt. Dieses Modell

$$\log V = b_o + b_1 \log (d^2h)$$

(Symbole wie oben)

weist einen geringeren Wert des FURNIVAL-Indexes im Vergleich zur gewichteten und zur arithmetischen Gleichung von SPURR auf sowie eine gleichmäßigere Verteilung der Residualwerte und ähnlich hohe Bestimmt-

heitsmaße R^2.

Die Wichtung des SPURR'schen arithmetischen Modells durch $W = 1/d^2h$ ergibt dabei eine Stabilisierung der Varianzen. Das bedeutet, daß dieses Gewicht besonders geeignet ist für arithmetische Gleichungen. Die normale Verteilung der Daten je Klasse der unabhängigen Variable sowie die Unabhängigkeit der Residualwerte konnte nachgewiesen werden.

FURNIVAL (1961) schlägt als geeignete Wichtung der arithmetischen Gleichung mit kombinierten Variablen von SPURR den Ausdruck $(d^2d)^{-2}$ virm da der "Standardresidualfehler" proportional dem Produkt d^2h sei. Er ist der Ansicht, daß die Schätzungen nach der Methode der kleinsten Quadrate nur wirklich effizient sind, wenn "Homoscedastie" besteht oder wenn der "Standardresidualfehler" in allen Klassen unabhängiger Variablen konstant ist.

Nach FREESE (1964) müssen bei der Wichtung der Modelle drei verschiedene Fälle berücksichtigt werden (vgl. auch CUNIA 1973 und FRAYER 1971):

a) Y-Varianz ist proportional zu X_1:
In diesem Fall kann die Regression folgendermaßen gewichtet werden:

$$W_i = 1/X_1 \; i$$

b) Y-Varianz ist proportional zu $X_1 \; i^2$:

$$W_i = 1/X_1 \; i^2$$

c) Die Y-Varianz ist homogen. In diesem Fall ist die Wichtung der Regression unnötig.

In dieser Studie über gewichtete Regressionen beschreibt FREESE (1964) die Schwierigkeiten bei der Bestimmung der geeigneten Wichtung für Regressionsmodelle, die dann auftreten, wenn die Größe der Varianz an verschiedenen Punkten auf der Regressionslinie unbekannt ist.

Als allgemeine Gesichtspunkte für die Erstellung von Volumenregressionen können gelten: Es sollten möglichst wenige Variablen berücksichtigt werden. Diese sollten leicht und präzise meßbar sein, jeweils eine hohe Korrelation zur abhängigen Variablen aufweisen und untereinander niedrig korreliert sein. Schließlich soll der geschätzte Wert des Baumvolumens möglichst nahe bei dem tatsächlichen Wert der analysierten Probebäume liegen.

Um bei der Auswahl des besten Regressionsmodells subjektive Wertungen zu vermeiden, schlägt SILVA (1977) folgende Prüfkriterien vor: Bestimmtheitsmaß R^2, Standardresidualfehler, Gleichmäßigkeit der Verteilung der Residualwerte und den FURNIVAL-Index.
Von den bei LOETSCH u.a. (1975), bei PRODAN (1965) und anderen Autoren vorgeschlagenen Volumenregressionen wurden diejenigen in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt, die in der Literatur als besonders geeignet bezeichnet werden. Zur besseren Schätzung der Volumina mit und ohne Rinde jeder Baumart wurden arithmetische und logarithmische Modelle einbezogen. Die getesteten Regressionsgleichungen sind in Tabelle 2 dargestellt.

4.3.2 Ergebnisse der Regressionsrechnungen

Mit dem bei der Stammkubierung (vgl. Kapitel 3.3.3) gewonnenen Probestammaterial und den in Tabelle 2 vorgestellten Regressionsmodellen wurden Volumenregressionen für Pinus elliottii aufgestellt und anschließend einer statistischen Präzisionsanalyse unterzogen.
Tabelle 3 und Tabelle 4 enthalten die Koeffizienten der so ermittelten Volumenregressionen sowie statistische Kennzahlen zur Beurteilung der Güte der Volumenschätzungen (in Baumholz mit bzw. ohne Rinde) durch das Regressionsmodell.
Den schlechtesten Ausgleich bei der Volumenschätzung mit und ohne Rinde zeigt die von OGAYA vorgeschlagene 9. Gleichung. Die Gleichungen 1, 2, 3, 4 und 10 führen zu guten Ergebnissen der Volumenschätzung und einem niedrigen Wert für den Standardresidualfehler. Ausgewählt wurden aber die Gleichungen 11 und 12, da sie durch noch niedrigere Standardresidualfehler, höhere F-Werte und eine geringere Zahl unabhängiger Variablen gekennzeichnet sind. Sowohl Gleichung 11 von SCHUMACHER-HALL als auch die logarithmische Gleichung 12 von SPURR weisen bei der Volumenschätzung von Pinus elliottii mit und ohne Rinde praktisch die gleiche Präzision (R^2 = 0,98) auf und einen Schätzfehler Syx von weniger als 0,05 m^3.

Im folgenden wurde mit der Regressionsgleichung 11 von SCHUMACHER-HALL weiter gerechnet. Sie lautet:

$$\log V = b_o + b_1 \log d + b_2 \log h$$

Tab. 2

Volumenregressionen zur Erstellung der Massentafel von Pinus elliottii

Nummer der Gleichung	Unabhängige Variablen	Formeln	Autor
01	d,h	$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 dh + b_4 d^2 h + b_5 h$	MEYER
02	d,h	$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 dh^2 + b_4 d^2 h$	MEYER (modifiziert)
03	d,h	$V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 dh^2 + b_4 h^2$	NASLUND (modifiziert)
04	d,h	$V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 h$	STOATE
05	d	$V = b_0 + b_1 d$	BERKHOUT
06	d,h	$V = b_0 + b_1 d^2 h$	SPURR
07	d	$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$	HOHENADL - KRENN
08	d	$V = b_0 + b_1 d^2$	KOPEZKY - GEHRHARDT
09	d,h	$V = d^2 (b_0 + b_1 h)$	OGAYA
10	d,h	$LogV = b_0 + b_1 Logd + b_2 Log^2 d + b_3 Logh + b_4 Log^2 h$	PRODAN (Baden-Wuerttemberg)
11	d,h	$LogV = b_0 + b_1 logd + b_2 Logh$	SCHUMACHER-HALL
12	d,h	$LogV = b_0 + b_1 Log\ (d^2 h)$	SPURR
13	d	$LogV = b_0 + b_1 Logd + b_2 d^{-1}$	BRENAC
14	d	$LogV = b_0 + b_1 Logd$	HUSCH

Symbole: d = Brusthöhendurchmesser; h = Höhe; V = Stammvolumen; b_0, b_1 = Koeffizienten

Tab. 3

Koeffizienten der Volumenregressionen für Pinus elliottii (Baumholz mit Rinde) und statistische Kennzahlen zur Gütebeurteilung der Regressionen - Formeln der Regressionen siehe Tab. 2

Nummer der Gleichung	Koeffizienten						R^2	S_{yx}	F	IF	DW
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5					
1	0,26119	-0,03193	0,00072	0,00197	-0,00001	-0,01588	0,9803	0,04184	965,17	-	1,9216
2	0,00937	-0,00880	0,00024	0,00055	0,00002	-	0,9800	0,04194	1200,45	-	1,9266
3	-0,00706	0,00017	0,00002	0,00002	-0,00013	-	0,9801	0,04181	1207,97	-	1,8886
4	-0,07358	0,00003	0,00004	0,00534	-	-	0,9797	0,04199	1596,20	-	1,9427
5	-0,41507	0,03935	-	-	-	-	0,9428	0,06488	1664,19	-	1,8843
6	0,01646	0,00004	-	-	-	-	0,9787	0,04264	4640,17	-	2,0169
7	-0,08487	0,00615	0,00075	-	-	-	0,9596	0,00590	1186,65	-	1,7943
8	-0,02192	0,00088	-	-	-	-	0,9590	0,05914	2362,81	-	1,7955
9	0,00005	0,00004	-	-	-	-	0,7145	0,00007	252,71	0,00009	2,0155
10	-2,58655	2,14805	-0,10051	-2,03249	1,25921	-	0,9903	0,03588	2496,87	0,00281	1,9083
11	-4,38912	1,88094	1,12884	-	-	-	0,9899	0,03607	4939,11	0,00283	1,9088
12	-4,26434	0,97032	-	-	-	-	0,9897	0,03641	9663,71	0,00285	1,9275
13	-2,47501	1,70141	-4,45622	-	-	-	0,9765	0,05521	2079,17	0,04336	1,6069
14	-3,45817	2,27370	-	-	-	-	0,9738	0,05795	3764,35	0,04551	1,6228

Symbole: b_0, b_1 ... = Koeffizienten der Regressionsgleichung; R^2 = Bestimmtheitsmaß;
S_{yx} = Standardresidualfehler; F = F-Wert; IF = Index nach FURNIVAL
DW = Index nach DURBIN-WATSON

Tab. 4

Koeffizienten der Volumenregressionen für Pinus elliottii (Baumholz ohne Rinde) und statistische Kennzahlen zur Gütebeurteilung der Regressionen - Formeln der Regressionen siehe Tab. 2

Nummer der Gleichung	Koeffizienten						R^2	S_{yx}	F	IF	DW
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5					
1	0,23297	-0,02689	0,00048	0,00169	0,00001	-0,01472	0,97705	0,03711	825,78	-	1,74380
2	-0,00043	-0,00545	0,00003	0,00037	0,00003	-	0,97667	0,03723	1025,60	-	1,72454
3	-0,00172	0,00003	0,00002	0,00002	-0,00017	-	0,97689	0,03705	1035,85	-	1,70107
4	-0,05271	-0,00010	0,00004	0,00368	-	-	0,97643	0,03723	1367,14	-	1,73210
5	-0,34931	0,03218	-	-	-	-	0,93321	0,06204	1411,22	-	1,75890
6	0,00244	0,00003	-	-	-	-	0,97477	0,03813	3902,60	-	1,73289
7	-0,07110	0,00420	0,00063	-	-	-	0,95085	0,05349	967,35	-	1,55700
8	-0,02809	0,00072	-	-	-	-	0,95046	0,05343	1937,94	-	1,54694
9	-0,00011	0,00004	-	-	-	-	0,71855	0,00007	257,85	-	1,67537
10	-1,53024	2,73194	-0,29215	-4,68126	2,34963	-	0,98412	0,04785	1622,12	0,02915	1,66452
11	-4,75319	1,95531	1,25033	-	-	-	0,98425	0,04771	3125,05	0,02906	1,67507
12	-4,57256	1,02085	-	-	-	-	0,98365	0,04838	6075,32	0,02947	1,68487
13	-2,62659	1,75268	-4,96522	-	-	-	0,96946	0,06645	1587,06	0,04046	1,44772
14	-3,72204	2,39033	-	-	-	-	0,96651	0,06924	2914,59	0,04216	1,52130

Symbole: b_0, b_1 ... = Koeffizienten der Regressionsgleichung; R^2 = Bestimmtheitsmaß; S_{yx} = Standardresidualfehler
F = F-Wert; IF = Index nach FURNIVAL; DW = Index nach DURBIN-WATSON

Die Überprüfung der Voraussetzungen für die Regressionsrechnung (vgl. Kapitel 3.5) zeigte die Normalverteilung der Residualwerte des Volumens mit und ohne Rinde (KOLMOGOROV-SMIRNOV-Test: KS = 0,0981 bzw. 0,0892 für 1 % Signifikanzniveau) und die Unabhängigkeit der Residualwerte des Volumens (DURBIN-WATSON-Test: DW = 1,9275 bzw. 1.67507 für 1 % Signifikanzniveau). Wegen der logarithmischen Form der ausgewählten Volumenregression wurde auf den BARTLETT-Test zur Überprüfung der Homogenität der Varianz verzichtet, denn die logarithmische Form der Daten führt zu einer Beseitigung der Heterogenität.
Die mit dieser Regressionsgleichung berechneten Massentafeln für Pinus elliottii (Baumholz mit bzw. ohne Rinde) befinden sich in Anhang 6 und 7.

4.4 Die Formzahl

Die Bestimmung der Formzahl ist wichtig für die Ermittlung der Volumina der Einzelbäume in den temporären oder permanenten Stichproben. Im allgemeinen wird die unechte Formzahl als Funktion des BHD-Durchmessers und der Höhe des Baumes bestimmt. Ausgehend von SCHIFFEL (1899) werden gelegentlich auch unechte Formquotienten (als Quotient aus Durchmesser in halber Höhe und Durchmesser in 1,3 m Höhe) zur Charakterisierung der Baumform verwendet. Auf HOHENADL (1924) geht die Messung von Durchmessern in relativen Höhen und die Ermittlung echter Ausbauchungsreihen, echter Formzahlen und echter Formquotienten zurück, von denen ausgehend die unechte Formzahl mittels Regression geschätzt werden kann.
Aufbauend auf den Arbeiten von SCHIFFEL entwickelte POLLANSCHÜTZ (1965) verschiedene Regressionsgleichungen zur Schätzung der unechten Formenzahl, wobei die unechten Formquotienten als unabhängige Variable in die Gleichung eingehen (vgl. die Formeln in Tabelle 5). TILLMANNS (1976) hat diesen Weg zur Untersuchung des Volumenzuwachses von Pinus caribaea in Venezuela beschritten.
In einigen Forstinventuren, zum Beispiel der in Österreich, wird das Volumen der Einzelbäume durch Anwendung der auf HOHENADL zurückgehenden echten Formzahl bestimmt.

In der Regel ist davon auszugehen, daß die Messung eines zweiten Durchmessers neben dem Durchmesser in 1,3 m Höhe zu einer deutlich besseren Bestimmung der Formzahl führt (vgl. zum Beispiel NAESLUND 1940). Dieses Konzept wurde deshalb auch von SILVA und SCHNEIDER (1981) bei Untersuchungen zur Form von Acacia mearnsii angewendet.
In der Tabelle 5 sind die in dieser Arbeit berücksichtigten Regressionsgleichungen (aus POLLANSCHÜTZ 1965 und PRODAN 1965) zur Bestimmung der unechten Formzahl in Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser, Baumhöhe und/oder Durchmessern in relativen Baumhöhen angegeben. Tabelle 6 enthält die aus dem Untersuchungsmaterial ermittelten Koeffizienten der jeweiligen Regressionsgleichungen und die zugehörenden statistischen Kennzahlen. Als Untersuchungsmaterial dienten die Probestämme zur Stammkubierung.
Wie erwartet zeigen die Schätzungen der unechten Formzahl als Funktion von Brusthöhendurchmesser und Höhe (Gleichungen 1, 2 und 3) eine geringe Präzision. Auch logarithmische Regressionsmodelle mit den gleichen unabhängigen Variablen (Gleichung 11) ergeben ähnlich schlechte Ergebnisse.
Die Berücksichtigung von Durchmessern relativer Höhe oder des echten Formquotienten von HOHENADL führt dagegen zu einer beträchtlichen Verbesserung der Schätzungen der unechten Formzahl. Für das vorliegende Untersuchungsmaterial erbrachte das Regressionsmodell 9 von POLLANSCHÜTZ die besten Ergebnisse. Die Formel lautet:

$$f_{1,3} = b_o + b_1 \left(\frac{d_{o,5}}{d}\right)^2 + b_2 \left(\frac{d_{o,3}}{d}\right)^2$$

Die Koeffizienten und statistischen Kennzahlen wie Bestimmtheitsmaß R^2, Standardresidualfehler Syx usw. sind in Tabelle 6 angegeben.
Im Anhang schließlich befindet sich die zugehörende Tabelle der unechten Formzahlen von Pinus elliottii in Abhängigkeit von Höhe und BHD.
Die Durchmesser $d_{o,5}$ und $d_{o,3}$ können bei Forstinventuren direkt mittels Relaskoptechnik gemessen werden oder aber, wie in dieser Untersuchung, mittels einer Regression aus Probestammessungen für die Stammkubierung

Tab. 5

Regressionsmodelle zur Bestimmung der unechten Formzahl

Nummer der Gleichung	Formeln
1	$f = b_0 + b_1 \frac{1}{d^2 h} + b^2 \frac{1}{h} + b^3 \frac{1}{d^2}$
2	$f = b_0 + b_1 \frac{1}{d^2 h} + b_2 \frac{1}{d.h} + b_3 \frac{1}{d} + b_4 \frac{1}{h} + b_5 \frac{1}{d^2}$
3	$f = b_0 + b_1 \frac{1}{h} + b_2 \frac{h}{d} + b_3 \frac{h}{d^2}$
4	$f = b_0 + b_1 \frac{d_{0,3}}{d} + b_2 \frac{h}{d^2}$
5	$f = b_0 + b_1 \frac{d^2_{0,3}}{d^2} + b_2 \frac{h}{d^2}$
6	$f = b_0 + b_1 \frac{d_{0,3}}{d^2} + b_2 \frac{h}{d^2} + b_3 \frac{1}{d}$
7	$f = b_0 + b_1 \frac{d_{0,1} . d_{0,5}}{d^2} + b_2 \frac{d_{0,3}}{d^2}$
8	$f = b_0 + b_1 \frac{d_{0,1} . d_{0,5}}{d^2} + b_2 \frac{d^2_{0,3}}{d^2} + b_3 \frac{h}{d^2}$
9	$f = b_0 + b_1 (\frac{d_{0,5}}{d})^2 + b_2 (\frac{d_{0,3}}{d})^2$
10	$f = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log d_{0,3} + b_3 \log h$
11	$f = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h$

Symbole: f = unechte Formzahl

h = Gesamthöhe

d = Durchmesser in 1,3m Höhe

$d_{0,i}$ = Durchmesser in der relativen Höhe 0,i

Tab. 6

Koeffizienten und Statistische Kennzahlen der Regressionen zur Bestimmung der unechten Formzahl von Pinus elliottii - Formeln siehe Tabelle 5

Nummer der Gleichung	Koeffizienten						R^2	S_{yx}	F	IF	DW
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5					
01	0,55064	86,48854	-1,09238	0,96257	-	-	0,07473	0,04476	2,66	-	2,02197
02	0,73700	-339,82333	109,26339	-2,90296	-6,21016	0,00000001	0,09882	0,04440	2,69	-	1,95323
03	0,42761	0,52935	0,07071	-0,21320	-	-	0,04468	0,04468	2,79	-	1,95160
04	0,20077	0,58910	0,05085	-	-	-	0,65725	0,02710	95,88	-	1,79682
05	0,35038	0,57307	0,04239	-	-	-	0,67239	0,02650	102,62	-	1,76942
06	0,34932	0,57291	0,01260	0,05239	-	-	0,67241	0,02663	67,73	-	1,76862
07	0,34450	0,24967	0,45664	-	-	-	0,69946	0,02538	116,36	-	1,76345
08	0,34408	0,31637	0,44107	-0,11313	-	-	0,70436	0,02530	78,62	-	1,75919
09	0,23469	0,37192	0,26618	-	-	-	0,88193	0,01591	373,49	-	1,75688
10	-0,02089	-0,56858	0,60350	-0,11391	-	-	0,63757	0,02398	58,05	0,02809	1,85210
11	-0,28481	-0,10099	0,09742	-	-	-	0,07996	0,03802	4,34	0,04458	1,91399

Symbole: siehe Tab. 3

geschätzt werden. Mit dem Programm FORWARD des SPSS[1] wurden hierzu die unabhängigen Variablen in unterschiedlichster arithmetischer und logarithmischer Form, ausgehend von dem Brusthöhendurchmesser und der Höhe, überprüft. Zur Anwendung gelangten schließlich folgende Regressionsgleichungen:

$$\log d_{o,3} = -0{,}46198 + 0{,}39150 \log (d^2h)$$
$$(R^2 = 0{,}8918, \quad Syx = 0{,}0488 \text{ mm})$$

und

$$\log d_{o,5} = -0{,}1426 - 1{,}0068 \log (1/d)$$
$$(R^2 = 0{,}9583, \quad Syx = 0{,}0326 \text{ mm})$$

4.5 Die Bestandeshöhenkurve
(Hypsometrische Beziehung)

In der Literatur findet sich eine sehr große Zahl mathematischer Modelle zur Beschreibung der Beziehung zwischen Baumhöhe und zugehörendem Brusthöhendurchmesser (vgl. PRODAN 1965, CURTIS 1967, SCHMIDT 1967, LOETSCH u.a. 1973, STERBA u.a. 1976).
HOHENADL (zitiert nach PRODAN 1965) gibt bereits an, daß die Höhenstreuung über den Durchmessern in einem gleichaltrigen Bestand fast immer durch eine Parabel zweiten Grades ausgeglichen werden kann. Andere Funktionen wie logarithmische Funktionen oder Funktionen höheren Grades können ebenfalls verwendet werden.
Zur Herleitung einer Bestandeshöhenkurve für Pinus elliottii wurden die in Tabelle 7 dargestellten Regressionsgleichungen getestet (aus PRODAN 1965, STERBA u.a. 1976). Die Ergebnisse der Rechnungen enthält Tabelle 8.. Als Material dienten die Messungen an den Probestämmen zur Stammkubierung. Der beste Ausgleich der Höhenstreuung über den Durchmessern wurde mit der Gleichung 6 erreicht, einer Funktion zweiten Grades mit folgender Formel:

$$\frac{1}{h - 1{,}30} = b_o + b_1 \frac{1}{d} + b_2 \frac{1}{d^2}$$

Die Koeffizienten b_o, b_1, b_2, das Bestimmtheitsmaß R^2 und der Standardresidualfehler Syx sind in Tabelle 8 angegeben.

---

[1] Vgl. Kapitel 3.4, S. 22

Tab. 7

Regressionsmodelle zur Bestimmung der Bestandeshöhenkurve

Nummer der Gleichung	Formeln
1	$\frac{1}{\sqrt{h - 1,30}} = b_0 + b_1\frac{1}{d}$
2	$h - 1,30 = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$
3	$h = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$
4	$h = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3$
5	$h = b_0 + b_1\frac{1}{d^2}$
6	$\frac{1}{h - 1,30} = b_0 + b_1\frac{1}{d} + b_2\frac{1}{d^2}$
7	$\log (h - 1,30) = b_0 + b_1\frac{1}{d}$
8	$h - 1,30 = b_0 + b_1 d$
9	$\log h = b_0 + b_1\frac{1}{d}$
10	$h = b_0 + b_1 d$
11	$\log h = b_0 + b_1 \log d$
12	$\log (h - 1,30) = b_0 + b_1 \log d$
13	$\log (h - 1,30) = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log^2 d$
14	$\log (h - 1,30) = b_0 + b_1 \log \frac{1}{1 + d}$

Symbole: h = Höhe

d = Durchmesser in 1,3 m Höhe

b_o, b_1, ... = Koeffizienten der Regression

Tab. 8

Koeffizienten der Regressionen und statistische Kennzahlen zur Bestimmung der Bestandeshöhenkurve von Pinus elliottii - Formeln siehe Tab. 7

Nummer der Gleichung	Koeffizienten b_0	b_1	b_2	b_3	R^2	S_{yx} *	F	IF	DW
01	0,19255	0,87159	-	-	0,71520	0,01122	253,63	-	1,38138
02	3,02148	1,17103	-0,01998	-	0,68307	1,56418	107,76	-	1,30634
03	4,32148	1,17103	-0,01998	-	0,68307	1,56418	107,76	-	1,30634
04	-1,84400	2,18192	-0,07051	0,00078	0,69219	1,54928	74,21	-	1,34086
05	21,96739	-841,87389	-	-	0,66523	1,59962	200,70	-	1,43991
06	0,04508	0,04488	3,08006	-	0,74027	0,00545	142,51	-	1,47858
07	3,23982	-6,93171	-	-	0,70824	0,09079	245,17	1,61995	1,33956
08	11,83970	0,28430	-	-	0,54942	1,85580	123,16	-	1,28243
09	3,28374	-6,40282	-	-	0,70685	0,08414	243,53	1,61208	1,33461
10	13,13971	0,28431	-	-	0,54942	1,85580	123,16	-	1,28243
11	1,89894	0,34793	-	-	0,64337	0,09281	182,21	1,77820	1,31490
12	1,74186	0,37626	-	-	0,64323	1,00400	182,10	1,79142	1,32302
13	-1,07277	2,32349	-0,33154	-	0,72305	0,08890	130,53	1,58622	1,38884
14	3,25134	7,36457	-	-	0,70629	0,09109	242,87	1,62530	1,33528

*: Die Größe von Syx ist zwischen den verschiedenen Gleichungen nicht unmittelbar vergleichbar, da die abhängigen Variablen in den Regressionen unterschiedliche Form haben (vgl. Tabelle 7).

Symbole: b_o, b_1 ... = Koeffizienten der Regressionsgleichung; R^2 = Bestimmtheitsmaß; Syx = Standardresidualfehler
F = F-Wert; IF = Index nach FURNIVAL; DW = Index nach DURBIN-WATSON

Diese Regressionsgleichung wurde zur Bestimmung der Höhenkurven in den jeweiligen Probeflächen angewendet. In jeder Stichprobenfläche wurden dabei die Koeffizienten der Regression aufgrund der erhobenen Daten neu berechnet.

4.6 Prognose des altersabhängigen Höhenwachstums

4.6.1 Probleme und Literaturüberblick

Die Forstbetriebe Südbrasiliens sind in sehr vielen Fällen durch Aufforstungsmaßnahmen seit den 60er Jahren entstanden und sind durch ihren zum Teil extremen Aufbaucharakter gekennzeichnet. Häufig fehlen ältere Bestände, so daß Prognosen über die altersabhängige Entwicklung der heute jungen Bestände im Rahmen der Forsteinrichtung von großer Wichtigkeit sind. BURGER (1976) betont in diesem Zusammenhang die Bedeutung von "Wachstumsgesetzen", die die zukünftige Entwicklung der Bestände beschreiben könnten und empfiehlt die stärkere Berücksichtigung insbesondere des BACKMAN'schen Gesetzes.
Aufgaben von Prognosen, Verfahren und ihre Anwendung in der Forsteinrichtung werden in grundsätzlicher Weise von SPEIDEL (1972) beschrieben. Danach versteht man unter einer Prognose eine sich von der intuitiven Zukunftserwartung durch die Logik und die Nachprüfbarkeit des Prognoseprozesses unterscheidende Vorhersage einer künftigen Entwicklung aufgrund des in der Vergangenheit beobachteten Tendenzen. Prognosen können nur dann aufgestellt werden, wenn folgende Grundbedingungen erfüllt sind (IBDF - FUPEF 1978):

- Die in der Vergangenheit vorkommenden Tendenzen müssen bekannt sein;
- Die beobachteten Tendenzen müssen eindeutig sein;
- Die Tendenzen müssen in irgendeiner Weise eine logische Entwicklung aufweisen.

Für ertragskundliche Prognosen aufgrund einer einmaligen Erhebung in jungen Beständen - dies ist der Regelfall in Südbrasilien, Versuchsflächen und deren Auswertung fehlen weitgehend - bestehen zwei Möglichkeiten:

a) Die zu diesem Zeitpunkt durchgeführte Inventur erfaßt Bestände unterschiedlichen Alters. Für die Prognose werden die zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführten Erhebungen des selben Bestandes verwendet. Homogene Bestände, vergleichbare Standorte und vergleichbare waldbauliche Behandlung der Bestände sind Voraussetzungen für diese Prognosemethode.

b) Datenmaterial von den in anderen Regionen unter vergleichbaren Bedingungen erwachsenen Beständen wird für die Prognose auf die zu prognostizierende Bestandesentwicklung im Forstbetrieb übertragen. Nach ASSMANN (1970) setzt dieses Vorgehen das gleiche Ertragsniveau der beiden Bestände voraus. Das Ertragsniveau sit definiert als die Gesamtwuchsleistung, die bei einer bestimmten Mittel- bzw. Oberhöhe erreicht wird; es ist abhängig zum Beispiel von der genetischen Zusammensetzung des Bestandes, der Standortsgüte und der waldbaulichen Behandlung.

In der Literatur sind eine Reihe von Wachstums- und Zuwachsgesetzen bzw. Funktionen beschrieben, die für Funktionen des altersabhängigen Höhenwachstums geeignet erscheinen.

Nach ASSMANN (1961) geht das BACKMAN'sche Gesetz auf den schwedischen Wissenschaftler BACKMAN (1943) zurück und wurde von WECK (1953) erstmals für Zwecke der forstlichen Zuwachsforschung besonders empfohlen. Mit dem Gesetz wird versucht, das gesetzmäßig ablaufende Wachstum mit den Phasen Jugend, Reife und Alter mathematisch zu beschreiben. Nach diesem Gesetz liegt die Kulmination des laufenden jährlichen Zuwachses bei 15,87 % des Endwertes.

Nach WECK's Vorschlag (1953) kann das Integral des BACKMAN'schen Gesetzes in entsprechende Relativwerte des GAUSS'schen Integrals umgeformt werden. In einem Wahrscheinlichkeitsnetz über den Logarithmus der Zeit aufgetragen, ergibt die Funktion eine Gerade. Der maximal erreichbare Endwert kann aus dem Summenwert berechnet werden, der zum Zeitpunkt der Zuwachskulmination erreicht wird.

ASSMANN (1961) zeigt am Beispiel der Höhenentwicklung einer 140jährigen Fichte, daß der im BACKMAN'schen Gesetz vorgesehene Ausgleich mit nur einer Geraden unmöglich ist. Vielmehr ist in der Höhenentwicklung dieser Fichte ein "Bruch" der Entwicklung zwischen dem Alter 50 bis 70 - danach verringerten sich die Zuwachswerte gegenüber dem vom Gesetz beschriebenen Zuwachsgang deutlich. Diese Feststellungen werfen Fragen bezüglich der Anwendbarkeit des Gesetzes auf (vgl. ASSMANN 1961).

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt WEIHE (1961) bei seinen Untersuchungen über das Höhenwachstum der Fichte. Er weist darauf hin, daß die Kulmination des Höhenzuwachses von Fichte nicht unbedingt bei 15,87 % des Endwertes stattfinden muß (SCHLETTER, zitiert nach WEIHE 1961).

Neben dem BACKMAN'schen Gesetz finden sich in der Literatur eine Reihe weiterer Zuwachsfunktionen, mit denen versucht wird, Wachstumsabläufe zu prognostizieren. Sehr komplexe Funktionen sind beispielsweise von GOMPERTZ (zitiert nach PRODAN 1968) und von RICHARDS (1959) veröffentlicht worden.
Das Regressionsmodell von HRADETZKY (1972) dient zur Herleitung von standortsabhängigen Altershöhenkurven. Als Grundlage für diese Untersuchung dienten Zuwachsdaten aus drei Erhebungen. HOSOKAWA (1976), BECHTER (1977) und DE HOOGH (1981) haben dieses Modell in ihren Untersuchungen angewendet. Die Gleichung lautet:

$$\Delta h = A \cdot e^{a_1 \cdot t} \cdot h^{a_2}$$

Es bedeuten Δh jährlicher Höhenzuwachs,
t Alter,
h Höhe und
A, a_1, a_2 Paramter.

Dieses Modell erfüllt eine wichtige Forderung, die an standortsabhängige Zuwachskurven zu stellen ist. Der Wendepunkt der Zuwachskurve ändert sich in Abhängigkeit vom Standort. Tatsächlich findet die Kulmination des Höhenzuwachses zuerst bei Bäumen auf besseren Standorten statt.
PRODAN (1968) weist auf die Funktion von BACKMAN hin. Sie hat folgende Form:

$$\log h_{\emptyset} = b_o + b_1 \log I + b_2 \log^2 I$$

wobei

$h_{\emptyset}$ Oberhöhe (in Meter) und
I Alter (in Jahren)

bedeuten.
STERBA (1978) und BECHTER (1977) haben diese Funktion zur Beschreibung von Höhen- und Durchmesserwachstum angewendet. THOMASIUS (1965) setzt sich allerdings kritisch mit dieser BACKMAN'schen Wachstumsfunktion auseinander. Ihre Anwendbarkeit scheint bedenklich wegen der Konstanten b_o. Die Wachstumskurve muß aus biologischen Gründen vom Nullpunkt des

Koordinatensystems ausgehen, b_o kann aus diesen biologischen Gründen nicht irgendeinen Wert annehmen.

Die Wachstumsfunktion von RICHARDS hat STERBA (1975) zur Beschreibung des Höhenwachstums angewendet. Die Funktion lautet:

$$h = A \left(1 - b \cdot e^{-KI} \right)^{1/(1-m)}$$

wobei

h Höhe

I Alter

A Asymptote der Kurve und

b,K,m Parameter der Funktion

bedeuten.

Die Parameter dieser Wachstumsfunktion von RICHARDS werden detailliert interpretiert von RAWAT und FRANZ (1973). Für die rechnerische Lösung wird die Funktion in eine logarithmische Form umgewandelt und b = 1 gesetzt (STERBA 1975):

$$\ln h = \ln A + \ln \left\{ \left(1 - e^{-KI}\right)^{1/(1-m)} \right\}$$

$$\ln h = \ln A + \frac{1}{1-m} \ln \left\{ \left(1 - e^{-K \cdot I}\right) \right\}$$

Werden

$\ln h = y;$

$\ln (1 - e^{-KI}) = X;$

$\ln A = b_o;$ und

$1/(1-m) = b_1$

gesetzt, ergibt sich

$$Y = b_o + b_1 X.$$

Diese Gleichung ist mit der Methode der kleinsten Quadratsumme lösbar.

BITTERLICH u.a. (1974) stellen die Zuwachsfunktion von KORSUN als Möglichkeit für Zuwachsprognosen vor, allerdings erweitert um die

Asymptote A:

$$h = A \cdot e^{b_1 \ln I + b_2 \ln^2 I}$$

wobei

h Höhe in Metern

I Alter in Jahren und

A Asymptote

bedeuten.

Diese Funktion wird ebenfalls von FRANZ (1971) bei der Untersuchung des Wachstums von Fichten auf drei verschiedenen Standorten angewendet. Zwischen dieser Gleichung und den oben beschriebenen Gleichungen der anderen Autoren besteht der wesentliche Unterschied im Fehlen des Koeffizienten b_o. Diese Funktion geht stets vom Nullpunkt aus.

Folgende Gleichung kann als veränderte Form der KORSUN'schen Funktion aufgefaßt werden:

$$h = A \cdot (1 - e^{b_o + b_1 I + b_2 I^2})$$

Zur Lösung der Gleichung mit der Methode der kleinsten Quadratsumme ist folgende Änderung erforderlich:

$$\ln \{(A - h)/A\} = b_o + b_1 I + b_2 I^2$$

4.6.2 Zur Prognose der Endhöhe nach dem BACKMAN'schen Gesetz

Die Tabelle 9 sowie die Abbildungen 4 und 5 zeigen das durchschnittliche Höhenwachstum von zwei 40jährigen Pinus-elliottii-Bäumen der Forschungsstation für Waldbau "Boca do Monte" in Santa Maria, Brasilien. Die Daten wurden mittels vollständiger Stammanalyse erhoben. In Abbildung 6[1] ist der tatsächliche Wachstumsgang im Wahrscheinlichkeitsnetz als Kurve A graphisch dargestellt.
Der laufende Höhenzuwachs kulminiert im Alter von 10 Jahren mit einem Wert von 1,30 Meter und einer Gesamthöhe von 9,17 Metern. Nach dem BACKMAN'schen Gesetz würden diese 9,17 Meter 15,87 % des Endhöhenwertes entsprechen; es errechnet sich also eine unrealistische Endhöhe von 57,67 Metern. In Abbildung 6 ist der Wachstumsverlauf nach dem BACKMAN'schen Gesetz als Kurve B dargestellt. Offenbar wird der tatsächliche Wachstumsgang nur bis zu einem Alter von 30 bis 40 Jahren mit dem BACKMAN'schen Gesetz annähernd richtig beschrieben. Im Alter von 40 Jahren beispielsweise ergibt sich nach dem BACKMAN'schen Gesetz eine Höhe von 33,4 Metern. Die tatsächliche Höhe der Bäume beträgt in diesem Alter aber 31,9 Meter. Der Unterschied von 4,4 % bzw. 1,50 Meter zwischen dem geschätzten und dem tatsächlichen Wert scheint für Prognosen annehmbar genau. Denn Messungen mit Höhenmessern, zum Beispiel dem BLUME-LEISS, führen zu Fehlern ähnlicher Größenordnung.
Abbildung 6 zeigt den nichtlinearen Verlauf der tatsächlichen Wachstumskurve im Wahrscheinlichkeitsnetz. Die Werte müßten durch mindestens zwei Geraden ausgeglichen werden, was Zweifel aufwirft, in welchem Alter die theoretische Endhöhe erreicht wird. Infolgedessen empfiehlt es sich, das BACKMAN'sche Gesetz nur zur Bestimmung der Asymptote in einem festgelegten Endalter anzuwenden und gegebenenfalls einen Ausgleich mit zwei Geraden zu suchen. Die Untersuchungsergebnisse von ASSMANN (1961) und WEIHE (1961) werden damit bestätigt.
Im Bundeswald "Passo Fundo" wurden Stammanalysen an 25 Oberhöhenbäumen durchgeführt, wobei jede Standortseinheit mit 5 Bäumen vertreten war (vgl. Kapitel 3.3.3 bzw. SCHNEIDER 1982).

---

[1] Seite 57

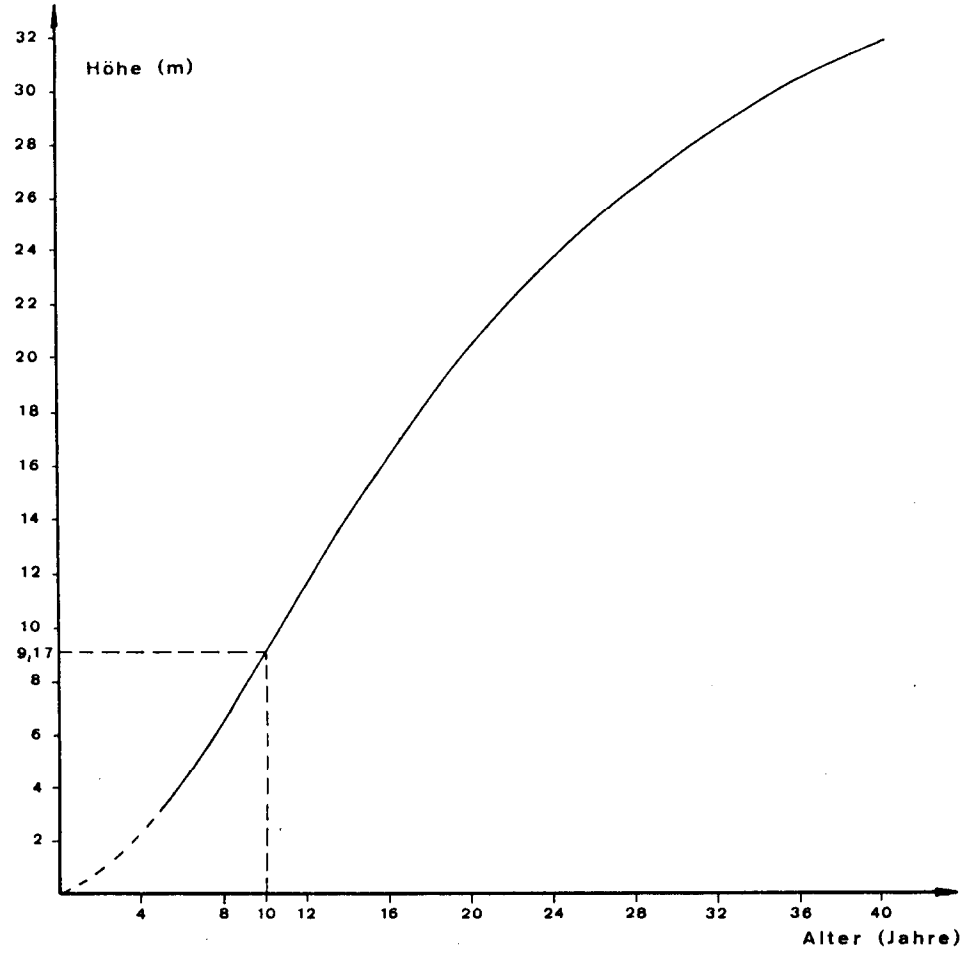
Tab. 9

Mittleres Höhenwachstum und mittlerer Höhenzuwachs von zwei Pinus elliottii - Bäumen der Estação Esperimental de Silvicultura de Boca do Monte, Santa Maria - RS

Alter in Jahren	Höhe in Metern	Jährlicher Zuwachs in Metern	Prozent der Endhöhe nach BACKMAN
5	3,03	-	5,3
6	4,14	1,11	7,2
7	5,34	1,21	9,3
8	6,59	1,25	11,4
9	7,87	1,21	13,6
10	9,17	1,30	15,9
11	10,45	1,28	18,1
12	11,72	1,27	20,3
13	12,96	1,24	22,5
14	14,16	1,20	24,6
15	15,30	1,19	26,5
16	16,45	1,18	28,5
17	17,50	1,05	30,3
18	18,54	1,04	32,1
19	19,80	1,26	34,3
20	20,45	0,65	35,5
21	21,33	0,88	37,0
22	22,15	0,85	38,5
23	22,98	0,80	39,8
24	23,73	0,75	41,1
25	24,46	0,73	42,4
26	25,15	0,69	43,6
27	25,79	0,64	44,7
28	26,42	0,63	45,8
29	27,00	0,58	46,8
30	27,56	0,56	47,8
31	28,09	0,53	48,7
32	28,60	0,51	49,6
33	29,00	0,40	50,3
34	29,54	0,54	51,2
35	29,97	0,43	52,0
36	30,39	0,42	52,7
37	30,80	0,41	53,4
38	31,17	0,37	54,0
39	31,54	0,37	54,7
40	31,88	0,34	55,3

Abb. 4

Durchschnittliche Höhenwachstumskurve zweier Kiefern von "Estação Esperimental de Silvicultura de Boca do Monte", Santa Maria - RS.



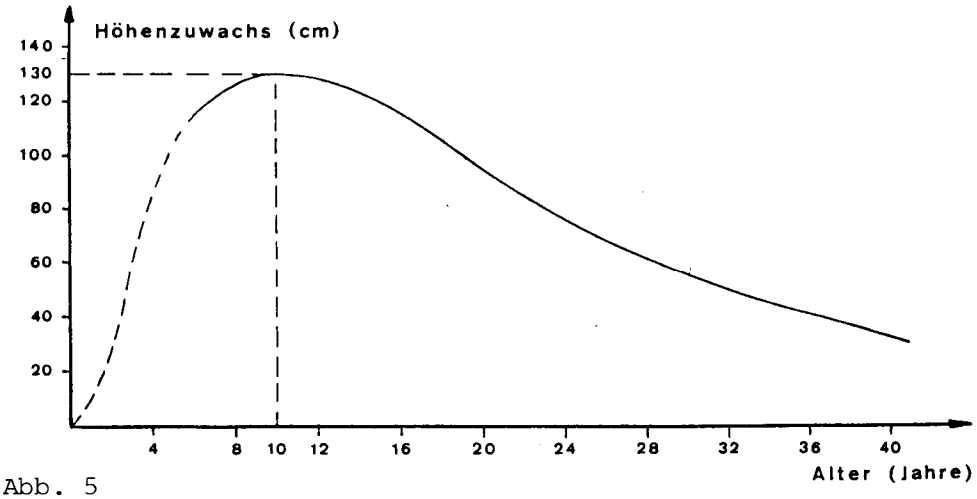
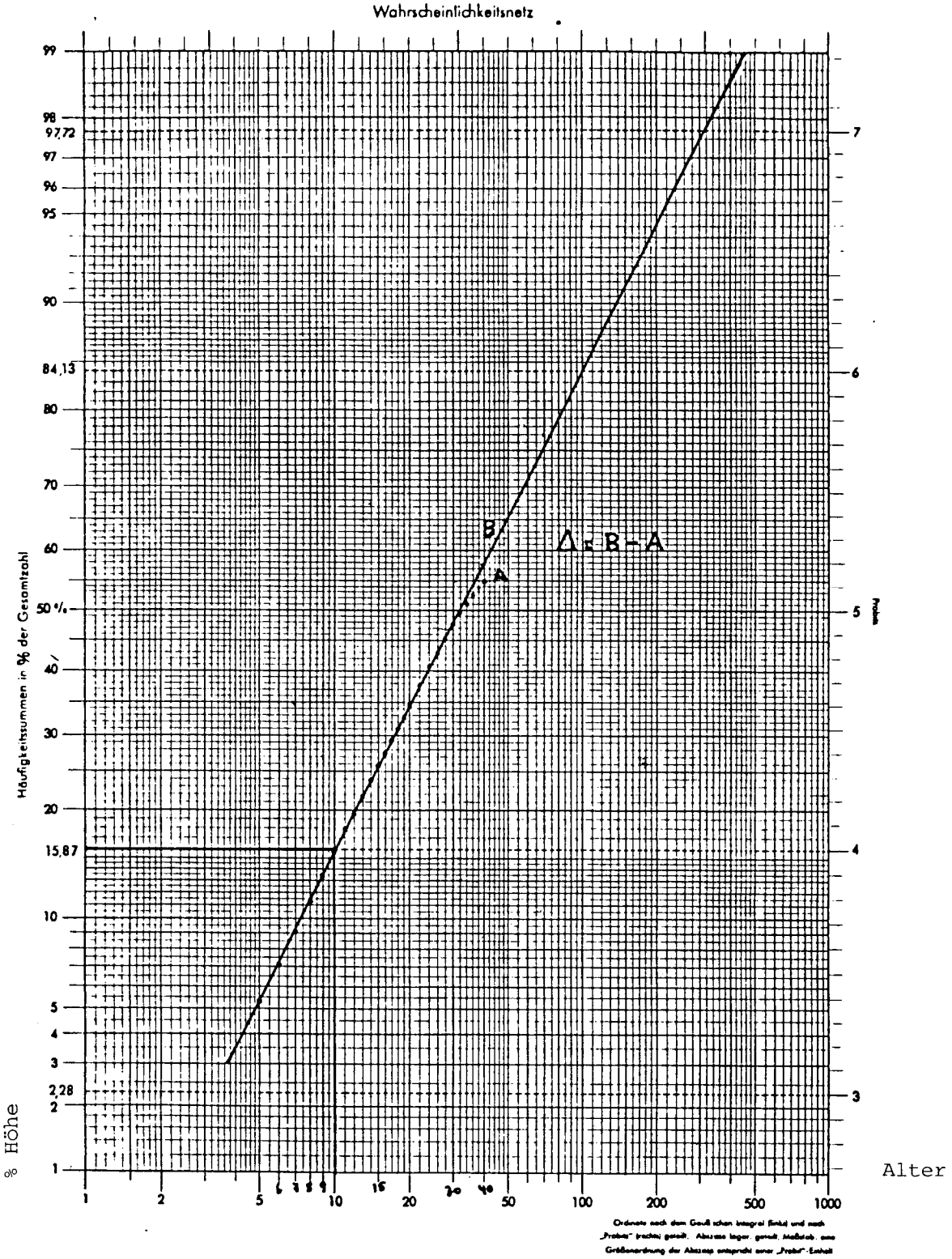


Abb. 5

Durchschnittliche Höhenzuwachskurve zweier Kiefern von "Estação Esperimental de Silvicultura de Boca do Monte", Santa Maria - RS.

Abb. 6

Höhenwachstum der zwei untersuchten Pinus-Bäume (Kurve A) und Wachstumsverlauf nach dem BACKMAN'schen Gesetz (Kurve B) im Wahrscheinlichkeitsnetz



Die Bäume haben ein Alter von 7 bis 23 Jahre, im Durchschnitt 17 Jahre. Im Durchschnitt aller 25 Bäume kulminiert der laufende Zuwachs - standortsabhängig in unterschiedlichem Alter - in einer durchschnittlichen Höhe von 5,66 Meter. Nach dem BACKMAN'schen Gesetz - eine Ausgleichsgerade zugrunde gelegt - erreichen die Bäume in einem unbekannten Alter im Durchschnitt die theoretische Endhöhe von 35,50 Metern.
Diese theoretische Endhöhe von 35,50 Metern wurde als Konstante A (Asymptote) in den Funktionen eingesetzt, die zur Höhenbonitierung untersucht wurden (vgl. Kapitel 4.5 und Tabelle 7).

4.7 Die Bonitierung

4.7.1 Literaturüberblick

Nach MACHADO (1978) wurde der Begriff der Bonität erstmals im 19. Jahrhundert in Deutschland entwickelt. Mit Bonität wird ein Maß für die relative oder absolute Ertragsleistungskapazität eines Standortes oder eines Bestandes bezeichnet.
In der Literatur sind für die Bonitätsbestimmung sehr verschiedene Methoden vorgeschlagen worden. Häufig wird sie als Höhenbonität, als durchschnittliche Höhe der herrschenden Bäume bzw. als durchschnittliche Höhe der herrschenden und mitherrschenden Bäume in einem bestimmten Alter, definiert. STRAND (1964, zitiert nach MACHADO 1978) empfiehlt, als Alter einen Wert in der Nähe der Umtriebszeit zu wählen. Denn dann weisen die Höhenwerte eine größere Korrelation mit der Gesamtwuchsleistung auf.
Ursprünglich wurden bei der Konstruktion von Bonitätskurven graphische Methoden angewendet, die "monomorphe" Kurven ergeben (SPURR 1952). Dabei wird zunächst eine Leitkurve mittels Regression ermittelt, in gewissen Abständen nach oben bzw. nach unten werden dann die gleichartig laufenden übrigen Bonitätskurven gezeichnet. "Monomorphen" Kurven entspricht die Auffassung, daß Standortsunterschiede in allen Altersstufen zu gleichartigen Unterschieden des Höhenwachstums führen und daß damit auch der Variationskoeffizient in allen Altersklassen gleich groß sei.
OSBORN und SCHUMACHER (1953, zitiert nach MACHADO 1978) haben dagegen festgestellt, daß der Variationskoeffizient in den einzelnen Altersklassen verschieden ist - in der Regel ist er in den jüngeren Altersklassen größer. Sie haben daher auf graphischem Wege "polymorphe" Bonitätskurven entwickelt; dabei wird jeder Altersklasse aufgrund des Variationskoeffizienten eine andere Gewichtung zugeordnet.
In der neueren Literatur werden in der Regel "polymorphe" Kurven als Bonitätskurven vorgeschlagen, da sie den tatsächlichen Höhenwachstumsgang von Beständen unterschiedlicher Ertragsklasse realitätsnäher beschreiben als "monomorphe" Kurven. Für die Entwicklung "polymorpher" Bonitätskurven ist es unerläßlich, von standortsspezifischen Ausgangsdaten

auszugehen. Nach Standortseinheiten getrennt erhobene Daten aus Stammanalysen eignen sich besonders gut für die Bestimmung von Bonitätskurven.

BENETT u.a. (1959), CHAGAS CAMPOS (1970), SCHÖNAU (1973), FISHWICK (1977) und weitere Autoren versuchen, die standortsabhängigen Gesetzmäßigkeiten zwischen Höhenwachstum und Alter der Bestände mit folgender Gleichung zu beschreiben:

$$h_o = b_o + b_1^{-I}$$

wobei

h_o Durchschnittshöhe der 100 stärksten Bäume je ha,

I Alter und

b_o, b_1 Regressionskoeffizienten

bedeuten.

Die Gleichung kann mit der Methode der kleinsten Quadratsumme nach folgender Umformung gelöst werden:

$$\log h_o = b_o + b_1 \cdot \frac{1}{I}$$

Die von PRODAN (1961) vorgeschlagene Gleichung

$$h_o = \frac{I^2}{b_o + b_1 I + b_2 I^2} \quad \text{(Symbole wie oben)}$$

wird beispielsweise von DE HOOGH u.a. (1978), MACHADO (1978), TAMADDONI und JAHROMI (1976) und SCHNEIDER und SILVA (1980) mit zufriedenstellenden Ergebnissen angewendet. Zur Bestimmung der Koeffizienten kann diese Gleichung folgendermaßen umgeformt werden:

$$Z_i = b_o + b_1 I + b_2 I^2$$

wobei

$$Z_i = \frac{I^2}{h_o}$$

bedeutet.

DE HOOGH (1981) wendet bei seiner Untersuchung über das Wachstum von Araucaria angustifolia in Südbrasilien sowohl die "monomorphe" Kurven erzeugende Gleichung von PRODAN, als auch die "polymorphe" Kurven erzeugende Gleichung von HRADETZKY (1972) an. Nach seiner Auffassung sind standortsbezogene Bonitätskurven für regionale und lokale Prognosen der Volumenleistung von sehr jungen Araucaria angustifolia-Pflanzungen entbehrlich.
Alle in Kapitel 4.6.1 im Zusammenhang mit Prognosen des altersabhängigen Höhenwachstums erwähnten Funktionen - wie z.B. die Funktionen von HRADETZKY (1972), RICHARDS (1959), BACKMAN (zitiert nach PRODAN 1968), KORSUN (zitiert nach BITTERLICH 1974) und von PRODAN (1961) - sind, abhängig von ihrer statistischen Präzision und eignen sich zur Herleitung von standortsbezogenen Bonitätskurven.
Eine Weiterentwicklung in der Erforschung des alters- und standortsabhängigen Höhen- und Volumenwachstums von Beständen bedeuten die Arbeiten von MOOSMAYER und SCHÖPFER (1972). Mit Korrelationsrechnungen haben sie die Gesetzmäßigkeiten des Volumenwachstums von Fichte in Abhängigkeit von Standortsfaktoren wie zum Beispiel dem Regenfaktor, der Dauer der Vegetationszeit, dem Wasser- bzw. Lufthaushalt der Böden, der Zugehörigkeit der Standorte zu "Ökoserien", Oberbodenstörungen usw. untersucht. Danach können 80 % der Variation der Produktionsleistung von Fichtenbeständen mit zwei regionalen (Regenfaktor im Sommerhalbjahr und Dauer der Vegetationszeit) und drei lokalen Standortsfaktoren (Wasser- und Lufthaushalt, Ökoserie, Oberbodenstörung) erklärt werden, die restliche Variation von lediglich 20 % geht auf sonstige nicht bekannte Einflüsse zurück.

4.7.2 Ergebnisse

Im folgenden wird, ausgehend von den Daten der Stammanalyse (vgl. Kapitel 3.3.3), eine Regressionsgleichung gesucht, die das standortsabhängige Höhenwachstum der Pinus elliottii-Bestände möglichst wirklichkeitsnah abbildet und damit für die Höhenbonitierung geeignet ist. In die Untersuchung werden die in Tabelle 10 zusammengestellten Funktionen einbezogen - sie ergeben "polymorphe" Bonitätskurven, die standortsabhängig das Höhenwachstum der Bestände in Abhängigkeit vom Bestandesalter angeben.

Tab. 10

Regressionen zur Bestimmung von standortsabhängigen Altershöhenkurven von Pinus elliottii

mmer der eichung	Formel der Regression	Asymptote A	Koeffizienten b_0	b_1	b_2	R^2	S_{yx}	F	DW
1	$\ln h_0 = b_0 + b_1 \, {}^1/_I$	-	3,5042	-7,5536	-	0,9233	0,1358	902,5	1,8679
2	$\ln h_0 = b_0 + b_1 \ln I + b_2 \ln^2 I$	-	-0,6966	2,0766	-0,2627	0,9296	0,1309	488,7	1,9895
3	$h_0 = \frac{I^2}{b_0 + b_1 I + b_2 I^2}$	-	1,7780	0,2290	0,0268	0,9665	1,0669	1066,6	1,6829
4	$h_0 = A \cdot e^{b_0 + b_1 \ln I + b_2 \ln^2 I}$	35,5	-4,2661	2,0766	-0,2627	0,9296	0,1309	488,7	1,9895
5	$h_0 = A \, (1 - e^{b_0 + b_1 \ln I + b_2 \ln^2 I})$	35,5	-0,1502	0,2549	-0,1897	0,8808	0,1126	273,3	1,3526
6	$h_0 = A \, (1 - e^{b_0 + b_1 I + b_2 I^2})$	35,5	0,1228	-0,0750	0,0007	0,8799	0,1129	271,2	1,3405

Symbole: b_0, b_1 ... = Koeffizienten der Regressionsgleichung; R^2 = Bestimmtheitsmaß

S_{yx} = Standardresidualfehler; F = F-Wert; DW = Index nach DURBIN-WATSON

h_0 = Oberhöhe; A = theoretischer Endwert der Höhe (Asymptote); I = Alter

Die höchste statistische Präzision weist Gleichung 4 auf (vgl. Tabelle 10). Sie ist durch einen hohen Korrelationskoeffizienten R^2 und durch niedrige Residualwerte gekennzeichnet, inbesondere in den äußeren Klassen, die im allgemeinen die größten Probleme bei Regressionsschätzungen aufweisen. Die Funktion lautet:

$$h_o = A \cdot e^{b_o + b_1 \ln I + b_2 \ln^2 I}$$

Die auf PRODAN zurückgehende Gleichung 3 weist einen noch besseren Korrelationskoeffizienten R^2 auf, wird aber wegen des vergleichsweise hohen Standardresidualfehlers Syx im folgenden nicht weiter berücksichtigt.
Gleichung 2 ist durch einen ähnlich hohen Korrelationskoeffizienten R^2 bzw. einen ähnlich niedrigen Standardresidualfehler Syx wie Gleichung 4 charakterisiert. Der Nachteil dieses statistischen Modells besteht aber darin, daß Werte von h_o systematisch überschätzt werden, wobei sogar Ergebnisse über die Asymptote hinaus erzielt werden. Gleichung 4 dagegen kann niemals höhere als durch die Asymptote A festgelegte Werte von h_o erbringen.
Gleichung 5 und 6 weisen ebenfalls eine gute statistische Präzision auf, erscheinen aber wegen systematischer Über- bzw. Unterschätzungen in den äußeren Klassen im Vergleich mit Gleichung 4 weniger geeignet.

Aufgrund der Empfehlung von STERBA (1975) wird auch die Präzision der Funktion von RICHARDS untersucht (für b = 1). Sie lautet:

$$\ln h_o = \ln A + \ln \{(1 - e^{-KI})^{1/(1-m)}\}$$

wobei

h_o Oberhöhe

I Alter

A Asymptote der Kurve

K und m Koeffizienten der Funktion

bedeuten (vgl. S. 52).

Die geringsten Fehler bei der Abschätzung von h_o werden in diesem Modell im Alter von 4 Jahren gemacht. Als Endwert der Oberhöhe werden im Durchschnitt aller Standorte 25,60 Meter geschätzt (vgl. Tabelle 11). Im Vergleich mit der Endwertschätzung durch das BACKMAN'sche Gesetz von 35,50 Metern (vgl. Kapitel 4.6.2) bedeutet dies eine Abweichung von 27,8 %. Zumindest für das vorliegende Untersuchungsmaterial erscheint die Regressionsgleichung wenig geeignet.
Mit Gleichung 4 wurden Bonitätskurven berechnet, die im Indexalter Oberhöhenunterschiede von jeweils 2 Metern aufweisen. Das Indexalter wurde mit 30 Jahren in der Nähe der vermuteten Umtriebszeit festgelegt. Die zwischen den Standortseinheiten auftretende Streuung der Höhenwerte kann mit 7 Bonitätskurven erfaßt werden. In Tabelle 12 und Abbildung 6 sind die Oberhöhenkurven der Bonitäten 22 bis 34 dargestellt.

4.8 Die Ertragstafel

4.8.1 Einführung

Ertragstafeln sind sehr wichtige Grundlagen für die Kontrolle und Planung der Betriebsentwicklung im Rahmen der Forsteinrichtung. Ertragstafeln sind Wuchsmodelle von in der Regel gleichaltrigen und einschichtigen Reinbeständen, die getrennt nach Bonitäten die zeitliche Entwicklung der wichtigsten ertragskundlichen Eigenschaften der Bestände beschreiben. In Ertragstafeln implizit enthalten sind jeweils bestimmte waldbauliche Bestandesbehandlungen, insbesondere bestimmte Durchforstungsmethoden.
Die in den Ertragstafeln enthaltenen Ausgangsdaten können bei den veröffentlichten Ertragstafeln von verschiedener Herkunft sein; sie können zum Beispiel langjährig beobachteten Versuchsflächen oder einer einmaligen Aufnahme von mehreren verschieden alten Beständen entstammen bzw. mit Prognosemethoden ermittelt worden sein usw.. Bei der Anwendung für einen konkreten Betrieb sind Ertragstafeln bezüglich ihrer Eignung daher stets kritisch zu prüfen.

Tab. 11

Statistische Kennzahlen zur Regressionsgleichung von RICHARDS für die Ableitung von Altershöhenkurven von Pinus elliottii im Durchschnitt aller Standortseinheiten (weitere Erläuterungen im Text)

Alter	A	K	m	S_{yx}
4	25.60	.1376	.7585	1.6559
5	25.27	.1441	.8078	1.6648
6	25.35	.1447	.8386	1.6648
7	25.23	.1447	.8675	1.6690
8	24.99	.1522	.8934	1.6768
9	25.40	.1477	.9043	1.6678
10	24.98	.1540	.9252	1.6788
11	25.27	.1509	.9335	1.6722
12	25.52	.1483	.9409	1.6665
13	24.95	.1561	.9555	1.6815
14	25.12	.1542	.9609	1.6771
15	25.28	.1526	.9656	1.6740
16	25.41	.1512	.9698	1.6719
17	24.76	.1599	.9783	1.6892
18	24.85	.1589	.9812	1.6862
19	24.93	.1579	.9836	1.6837
20	25.01	.1571	.9858	1.6817
21	25.07	.1564	.9877	1.6801
22	25.13	.1557	.9893	1.6767
23	25.18	.1552	.9907	1.6776
24	25.23	.1546	.9919	1.6767
25	25.27	.1542	.9930	1.6759
26	25.31	.1538	.9939	1.6753
27	25.34	.1534	.9948	1.6748
28	25.37	.1531	.9955	1.6743
29	25.40	.1528	.9961	1.6739
30	25.42	.1525	.9966	1.6736
31	24.67	.1623	.9979	1.6937
32	24.63	.1621	.9982	1.6931
33	24.70	.1619	.9985	1.6925
34	24.71	.1617	.9937	1.6920
35	24.72	.1616	.9989	1.6916
36	24.74	.1614	.9990	1.6912
37	24.75	.1613	.9992	1.6908

Anmerkungen:

. Die Gleichung von RICHARDS lautet:

$$\ln h_o = \ln A + \ln \{(1-e^{-KI})^{1/(1-m)}\}$$

. Symbole:

h_o = Oberhöhe

A = Asymptote der Kurve (geschätzte Endhöhe)

K, m, = Koeffizienten der Funktion

S_{yx} = Standardresidualfehler

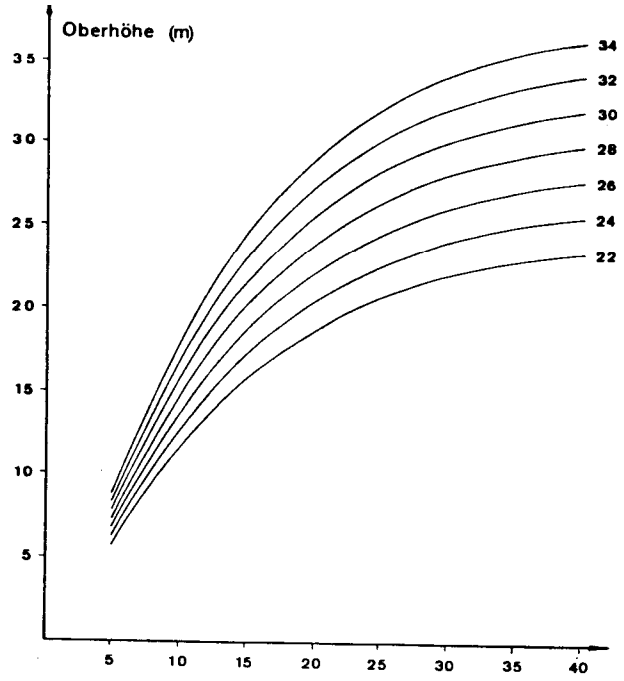
Tabelle 12

Altershöhenkurven von Pinus elliottii für verschiedene Höhenbonitäten (Oberhöhenbonitäten im Alter 30)

	Oberhöhenbonitäten						
Alter	22	24	26	28	30	32	34
5	5.63	6.15	6.66	7.17	7.68	8.19	8.71
6	6.99	7.63	8.26	8.90	9.53	10.17	10.80
7	8.27	9.03	9.78	10.53	11.28	12.04	12.79
8	9.48	10.34	11.20	12.07	12.93	13.79	14.65
9	10.61	11.57	12.54	13.50	14.46	15.43	16.39
10	11.66	12.72	13.78	14.83	15.89	16.95	18.01
11	12.63	13.78	14.93	16.07	17.22	18.37	19.52
12	13.53	14.76	15.99	17.22	18.45	19.68	20.91
13	14.37	15.68	16.93	18.29	19.60	20.90	22.21
14	15.15	16.52	17.90	19.28	20.65	22.03	23.41
15	15.86	17.31	18.75	20.19	21.63	23.08	24.52
16	16.53	18.03	19.54	21.04	22.54	24.04	25.55
17	17.15	18.71	20.26	21.82	23.38	24.94	26.50
18	17.72	19.33	20.94	22.55	24.16	25.77	27.38
19	18.25	19.90	21.56	23.22	24.88	26.54	28.20
20	18.74	20.44	22.14	23.85	25.55	27.25	28.96
21	19.19	20.93	22.68	24.42	26.17	27.91	29.66
22	19.61	21.39	23.17	24.96	26.74	28.52	30.30
23	20.00	21.81	23.63	25.45	27.27	29.09	30.90
24	20.36	22.21	24.06	25.91	27.76	29.61	31.46
25	20.69	22.57	24.45	26.33	28.21	30.09	31.97
26	20.99	22.90	24.81	26.72	28.63	30.54	32.44
27	21.26	23.21	25.15	27.08	29.01	30.95	32.88
28	21.54	23.50	25.45	27.41	29.37	31.33	33.29
29	21.78	23.76	25.74	27.72	29.70	31.68	33.66
30	22.00	24.00	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00
31	22.20	24.22	26.24	28.26	30.28	32.30	34.31
32	22.39	24.43	26.46	28.50	30.53	32.57	34.60
33	22.56	24.61	26.66	28.72	30.77	32.82	34.87
34	22.72	24.78	26.85	28.91	30.98	33.04	35.11
35	22.86	24.94	27.02	29.10	31.17	33.25	35.33
36	22.99	25.08	27.17	29.26	31.35	33.44	35.53
37	23.11	25.21	27.31	29.41	31.51	33.61	35.71
38	23.22	25.33	27.44	29.55	31.66	33.77	35.88
39	23.31	25.43	27.55	29.67	31.79	33.91	36.03
40	23.40	25.52	27.65	29.78	31.91	34.03	36.16

Abbildung 7

Höhenwachstumskurven der verschiedenen Bonitäten von Pinus elliottii (Oberhöhenbonität im Alter 30)



Aus der Sicht der Forsteinrichtung sollen Ertragstafelmodelle die realen Bestandesverhältnisse und/oder aufgrund des Zielsystems des Forstbetriebes erwünschte Bestandesverhältnisse realistisch wiedergeben.
Für Südbrasilien existieren keine Ertragstafeln von Pinus elliottii, keine langjährig beobachteten Versuchsflächen, selten aussagefähige Buchführungsunterlagen der Betriebe, in vielen Betrieben - so auch in "Passo Fundo" - nicht einmal ältere Bestände. Forsteinrichtungen sind aber auf Ertragstafeln für die Planung unbedingt angewiesen - in aller Regel müssen mit den Informationen aus der Erstinventur Ertragstafeln näherungsweise erstmals erstellt werden.
In der vorliegenden Untersuchung werden vorläufige Ertragstafeln ausgehend von den Daten der Forstinventur und von in der Literatur mitgeteilten ertragskundlichen Forschungsergebnissen ermittelt. Der vorläufige Charakter der Tafeln ergibt sich aus der für Südbrasilien begrenzten Datenbasis. Wegen des Fehlens empirischer Untersuchungsergebnisse kann auf die Probleme der Durchforstung nach Art, Stärke und Intensität und ihre Auswirkungen auf das Bestandeswachstum umfassend im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen werden (vgl. insbesondere ASSMANN 1961, 1963, 1968, 1970; PRODAN 1961; MITSCHERLICH 1970; ABETZ 1974, 1975, 1976; JOHNSTON u.a. 1977; BRADLEY 1969). Vielmehr wird im folgenden ausführlich am Beispiel des Bundeswaldes "Passo Fundo" dargestellt, in welcher Weise mit den begrenzten Ausgangsdaten die tatsächliche Entwicklung der Stammzahlhaltung, die Vornutzungsmassen, die Gesamtwuchsleistung und letztlich eine Ertragstafeln für Pinus elliottii hergeleitet wurden.

4.8.2 Die Stammzahlhaltung nach der Methode von HART-BECKING

Literaturüberblick

Zur Bestimmung der unter den oben genannten Ausgangsbedingungen optimalen Stammzahlhaltung in Kiefernbeständen ist das von HART-BECKING (1953) entwickelte Verfahren der "prozentischen Standraumfaktoren" geeignet. Zur Festlegung der Durchforstungsstärke sind bei dieser

Methode allerdings weitere waldbauliche Gegebenheiten des Bestandes zu berücksichtigen. Der "prozentische Standraumfaktor" wird aus Oberhöhe und mittlerem Stammabstand ermittelt:

$$S\,\% = \frac{EM}{h_o} \cdot 100 = \frac{10^2 / \sqrt{N}}{h_o} \cdot 100$$

wobei

S % prozentischer Standraumfaktor

EM mittlerer Stammabstand

h_o Oberhöhe

N Stammzahl je Hektar

bedeuten.

Die Stammzahl je Hektar (N) kann dann in folgender Weise ermittelt werden:

$$N = \frac{10^8}{(S\,\% \cdot h_o)^2}$$

Zur Bestimmung der Durchforstung nach Stammzahl und Masse ist es zunächst notwendig, den mittleren Stammabstand nach der Durchforstung zu bestimmen:

$$EMD = \frac{h_o \cdot S'\%}{100}$$

wobei

EMD mittlerer Stammabstand nach der Durchforstung

S'% tatsächlicher prozentischer Standraumfaktor

bedeuten.

Während in den zuerst genannten Formeln eine quadratische Verteilung der Bäume unterstellt ist, muß nach der Durchforstung davon ausgegangen werden, daß diese quadratische Verteilung im verbleibenden Bestand nicht mehr gegeben ist. Bei der Unterstellung einer Verteilung der Bäume in sechseckigen Formen wird die Zahl der Bäume nach der Durchforstung mit Hilfe der nachstehenden Formel ermittelt:

$$N_D = \frac{10^4}{EMD^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{10^4}{EMD^2 \cdot 0{,}866}$$

wobei

N_D Stammzahl je Hektar nach der Durchforstung

bedeutet.

Der Unterschied zwischen der Stammzahl je Hektar vor bzw. nach der Durchforstung ergibt die Zahl der Bäume, die entnommen werden können. Mit Hilfe der Massentafel können daraus die Durchforstungsmassen - eine sehr wichtige Planungsgröße der Forsteinrichtung - näherungsweise ermittelt werden.

In der Literatur sind verschiedene Untersuchungen über die Durchforstung in Kiefernbeständen vorhanden, die als Hinweise für die Größenordnung von S% geeignet erscheinen.

FISHWICK (1975) schlägt aufgrund seiner Untersuchungen einen in allen Altersstufen gleichen "prozentischen Standraumfaktor" von 21 % für Pinus elliottii vor. Nach dieser Untersuchung gewährleistet dieser Standraumfaktor einen maximalen Grundflächenzuwachs des Bestandes. "Prozentische Standraumfaktoren" von 16 % und weniger führen zu großer Wuchskonkurrenz, was bis zu 25 % Verlust an potentiellem Zuwachs bedeuten kann.

Hinweise für die zweckmäßige Durchforstung von Pinus-Beständen können die Versuchsflächen von "Três Barras" und "Capão Bonito" geben, die mit einem Pflanzverband von 2 x 2 m und dem Ziel, Auswirkungen der Durchforstung zu untersuchen, angelegt wurden (FISHWICK 1976). Die vorläufigen, noch ungesicherten Ergebnisse belegen, daß bei dem ersten Durchforstungseingriff im Alter von 8 Jahren die Grundfläche von etwa 40 m^2 je Hektar - bei einem durchschnittlichen Durchmesserzuwachs von 2,0 cm pro Jahr - auf 27 m^2 je Hektar verringert werden sollte. In der Folgezeit wurden Grundflächenzuwüchse von ca. 3,5 m^2 je Hektar beobachtet. Die nächste Durchforstung sollte dann vier Jahre später stattfinden, wenn die Grundfläche wieder ca. 41 m^2 je Hektar erreicht hat. FISHWICK (1976) kommt aufgrund dieser vorläufigen Ergebnisse zu der Empfehlung, daß bei einer Umtriebszeit von 30 Jahren und dem Ziel, Kiefernstämme mit einem $d_{1,3}$ von 45 cm und gleichmäßigen Jahrringen zu erzielen, die Grundfläche von Kiefernbeständen beim ersten Eingriff von 40 m^2 auf 20 m^2 je Hektar gesenkt werden muß[1].

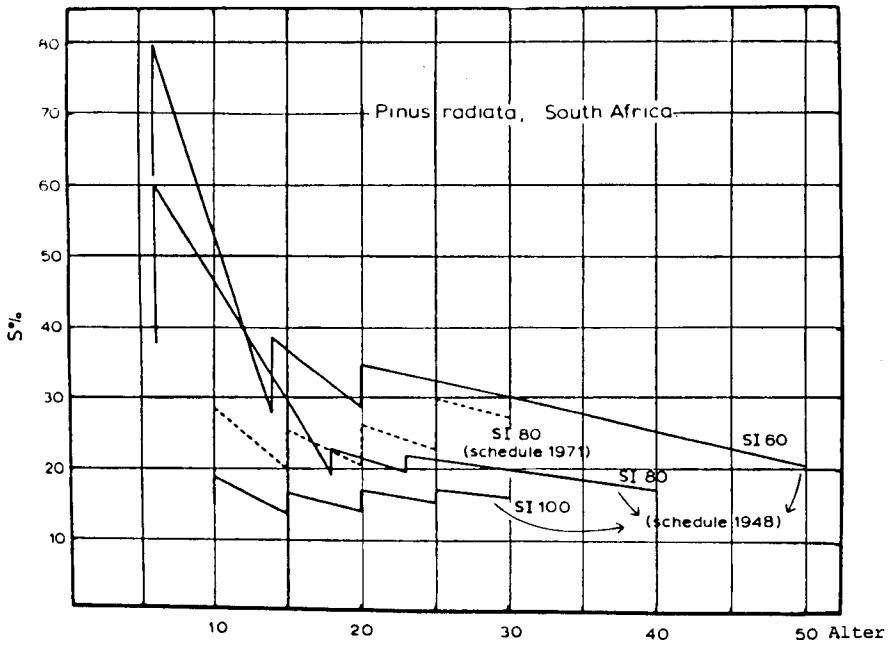
Nach VAN LAAR (1973) bewegt sich der "prozentische Standraumfaktor" der von ihm untersuchten Pinus radiata-Bestände in Südafrika zwischen 20 % im Alter 10 und 22 % im Alter 25 (vgl. Abbildung 8 gestrichelte Kurve).

---

[1] Es erscheint fraglich, ob durch diese starke Grundflächenabsenkung der von FISHWICK geforderten gleichmäßige Jahrringaufbau erreicht werden kann. Diese Untersuchungsergebnisse entstammen außerdem einer einzigen Versuchsfläche guter Standortsgüte und sind nur bedingt übertragbar.

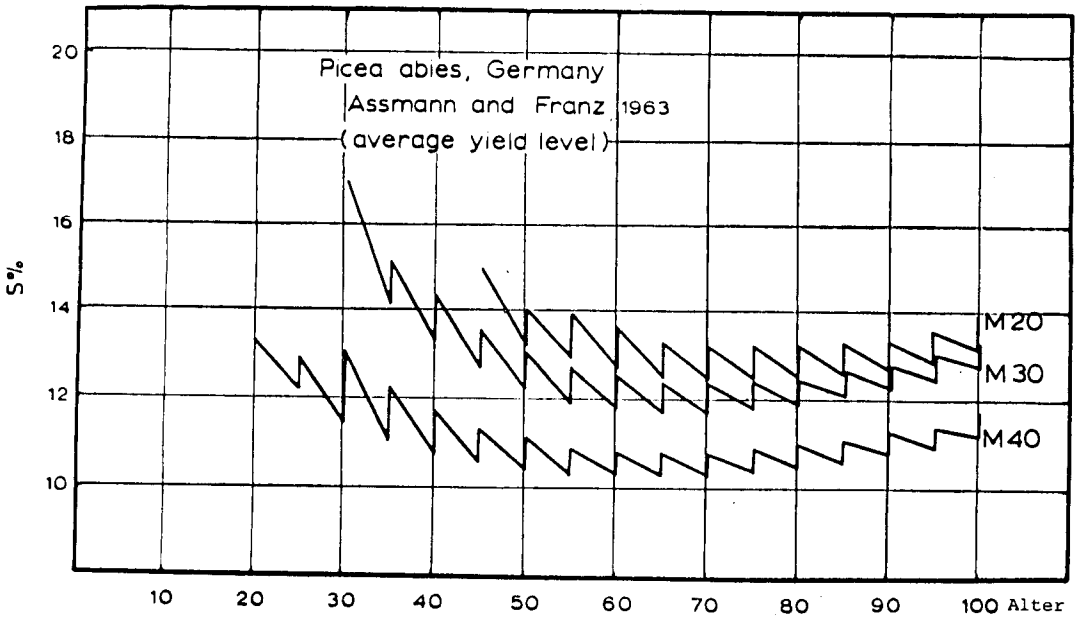
Diese Ergebnisse können auf Pinus taeda- und Pinus elliottii-Bestände übertragen werden.

Abb. 8: Beziehung zwischen Alter und "prozentischem Standraumfaktor" (S%) in südafrikanischen Kiefernbeständen (VAN LAAR 1973)



Von VAN LAAR 1973 stammen auch die vergleichenden Untersuchungen über den "prozentischen Standraumfaktor" für Picea abies, wie er sich aus den Ertragstafeln von ASSMANN und FRANZ (1963) ergibt (vgl. Abb. 9)

Abb. 9: Beziehung zwischen Alter und "prozentischem Standraumfaktor" (S%) für Picea abies in Deutschland (VAN LAAR 1973)



Der Vergleich von Abb. 8 und Abb. 9 zeigt recht große Unterschiede zwischen den "prozentischen Standraumfaktoren" in der Jugend der verschiedenen Baumarten; die Unterschiede nehmen im Laufe des Bestandeslebens ab. Die Werte von Picea abies - der "prozentische Standraumfaktor" S% liegt ab Alter 30 zwischen 10 % und 14 % - können wegen der Unterschiedlichkeit der Baumarten und der gänzlich verschiedenen ökologischen Bedingungen nicht auf brasilianische Pinus-Bestände übertragen werden.
Nach MONTEIRO ALVES (1982) zeigen niederländische Modellversuche, daß im allgemeinen eine schwache Durchforstung einen "prozentischen Standraumfaktor" von 16 %, eine starke Durchforstung dem von 25 % entspricht. Aus einem Durchforstungsversuch mit Douglasie, dessen drei Flächen auf Standraumfaktoren von 16, 19 und 22 gestellt und vom Alter 17 bis 19 beobachtet wurden, folgert BECKING (1953), daß für die Durchforstung der Douglasie ein S=22% optimal sei und daß in Holland durchweg zu schwach durchforstet würde.

Ergebnisse der eigenen Untersuchung

Die Stammzahlhaltung wurde mit Hilfe der Methode von HART-BECKING über "prozentische Standraumfaktoren" bestimmt. Die Ergebnisse stimmen mit denen von FISHWICK (1975) nicht überein. Er schlägt einen "prozentischen Standraumfaktor" S% von einheitlich 21 % während des ganzen Bestandeslebens vor, während diese Untersuchung über die tatsächliche Stammzahlhaltung eine Veränderung des "prozentischen Standraumfaktors" in Abhängigkeit vom Alter erbrachte.
Der tatsächliche "prozentische Standraumfaktor" ($S'\%$) wurde mit folgender Funktion ermittelt:

$$S'\% = 18{,}0040 + 0{,}0649 \quad h_o$$

wobei

$S'\%$ tatsächlicher "prozentischer Standraumfaktor" nach HART-BECKING und

h_o Oberhöhe

bedeuten.
Das Bestimmtheitsmaß R^2 dieser Regression beträgt 0,89, der Standardresidualfehler S_{yx} 0,021.

Als Ausgangsdaten dienten in erster Linie die Unterlagen der Forsteinrichtung in "Passo Fundo"; daneben wurden Aufzeichnungen des Forstbetriebes über die Durchforstungen in der Vergangenheit, über die Daten eines 37-jährigen älteren Bestandes in der Nachbarschaft von "Passo Fundo" sowie eigene (noch nicht veröffentlichte) Durchforstungsversuche durchgeführt.

Die Stammzahl je Hektar ergibt sich dann aus folgender Gleichung, wobei eine sechseckige Verteilung der Bäume im Bestand unterstellt wird:

a) Mittlerer Stammabstand

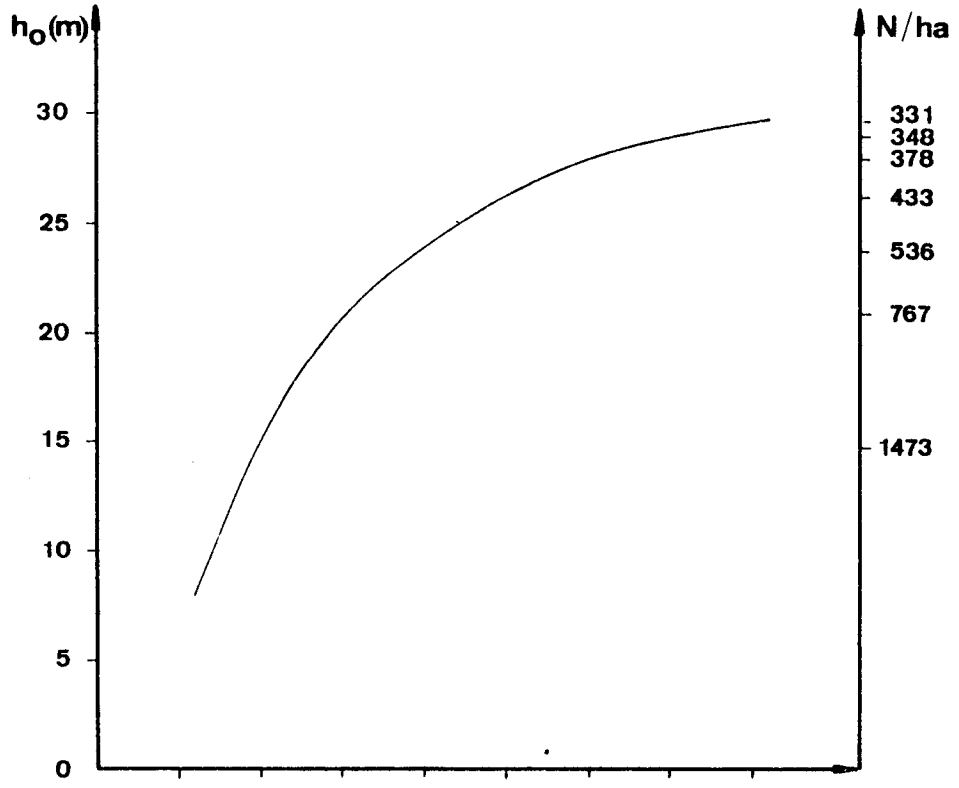
$$EMD = \frac{h_o \cdot S'\%}{100}$$ (Symbole wie oben)

b) Stammzahl je Hektar

$$N/ha = \frac{10^4}{EMD^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}$$ (Symbole wie oben)

Das Ergebnis - die Entwicklung der tatsächlichen Stammzahl und ihre Zusammenhänge mit der Entwicklung des Alters und der Oberhöhe - sind für die durchschnittlichen Standortsverhältnisse in "Passo Fundo" in Abbildung 10 dargestellt.

Abb. 10: Stammzahlhaltung für Pinus elliottii und die Zusammenhänge zur Altersentwicklung und zur Entwicklung der Bestandesoberhöhe am Beispiel der durchschnittlichen Bonitätsverhältnisse in "Passo Fundo" (ermittelt nach der Methode HART-BECKING)



4.8.3 Sonstige Methoden zur Bestimmung der Stammzahlhaltung

HRADETZKY (1972) bestimmt bei der Ertragstafelkonstruktion die Stammzahl je Hektar in Abhängigkeit vom Alter und dem Standort mit folgender Funktion:

$$N = N_o - (N_o - N_{oo}) \cdot e^{-\frac{b_o}{t^{b_1} \cdot B^{b_2}}}$$

wobei

N	Stammzahl je Hektar
N_o	Stammzahl je Hektar im Alter O
N_{oo}	Stammzahl je Hektar im Abtriebsalter
t	Alter
B	Bonität

bedeuten.

Zur Lösung der Gleichung wird diese in folgender Weise linearisiert (HOSOKAWA 1976):

$$\ln \left(- \ln \frac{N_o - N}{N_o - N_{oo}}\right) = \ln b_o - b_1 \ln t - b_2 \ln B$$

Voraussetzung zur Anwendung dieser Gleichung ist die Kenntnis der optimalen Stammzahl am Anfang und am Ende der Umtriebszeit; diese Voraussetzung liegt bei dieser Untersuchung jedoch nicht vor.

Folgende einfachere Formel zur Bestimmung der Stammzahl hat HRADETZKY (1972) vorgeschlagen:

$$\ln N = \ln b_o + b_1 \ln B + b_2 \ln t$$

REINECKE (1933) hat als erster eine Funktion zur Schätzung der Stammzahl in Abhängigkeit vom Grundflächenmittelstamm entwickelt. Im doppellogarithmischen Koordinatennetz aufgetragen hat sie folgende Form:

$$N = b_o \cdot X^{-b_1}$$

wobei

N	die Stammzahl je Hektar und
X	den Durchmesser des Grundflächenmittelstammes

bedeuten.

STERBA (1978) schlägt vor, die Stammzahl als halblogarithmische Funktion der Oberhöhe h_o auszudrücken:

$$N = e^{b_o + b_1 h_o}$$

Die unmittelbare Anwendung der genannten Gleichungen von HRADETZKY, REINECKE und STERBA setzt - soll ein befriedigender Ausgleich erreicht werden - umfangreiche Ausgangsdaten voraus, wie sie in dieser Untersuchung nicht gegeben sind. Daher wurde in der vorliegenden Untersuchung zunächst die Stammzahlentwicklung mit der Methode von HART-BECKING[1)] unter Berücksichtigung der Altersdynamik bestimmt. Danach wurden die in Tabelle 13 angegebenen Funktionen getestet, inwieweit sie diese Stammzahlentwicklung in Abhängigkeit verschiedener unabhängiger Variablen mathematisch beschreiben. In Tabelle 13 sind die Funktionen, die zugehörigen Koeffizienten sowie statistische Kennzahlen zur Gütebeurteilung angegeben.

Mit Ausnahme der Regressionsgleichung 2 weisen die Gleichungen ähnlich hohe Genauigkeiten auf. Wegen ihrer einfachen Form und der hohen Genauigkeit wurde bei den weiteren Untersuchungsschritten die Funktion 4 gewählt. Sie lautet:

$$N = e^{b_o + b_1 \ln h_o}$$

wobei

$$N = 10.000 \,/\, \left[(S'\% \cdot h_o/100)^2 \cdot 0{,}866 \right]$$

$S'\%$ tatsächlicher "prozentischer Standraumfaktor" nach HART-BECKING

h_o Oberhöhe und

b_o, b_1 Koeffizienten der Funktion

bedeuten.

---

1) Siehe Seite 67

Tab. 13

Regressionsgleichungen zur Bestimmung der Stammzahlentwicklung von Beständen und statistische Kennzahlen (weitere Erläuterungen im Text)

Nummer der Gleichung	Formel der Regression	Koeffizienten			R^2	S_{yx}	F	D-W
		b_0	b_1	b_2				
1	$N = e^{b_0 + b_1 \ln h_0 + b_2 \ln I}$	12,7876	- 1,8865	- 0,1269	0,9998	0,0042	284680,2	2,1443
2	$\ln \left(-\ln \frac{N_0 - N}{N_0 - N_\infty}\right) = b_0 + b_1 \ln I + b_2 \ln h_0$	0,5971	- 5,5778	6,6497	0,9103	0,3067	55,8	2,1394
3	$N = e^{b_0 + b_1 \ln dg}$	12,4130	- 1,7831	-	0,9962	0,0403	3177,2	0,4811
4	$N = e^{b_0 + b_1 \ln h_0}$	12,9453	- 2,1048	-	0,9999	0,0043	284690,2	0,3755

Symbole: N = Stammzahl je ha

h_0 = Oberhöhe

b_0, b_1, b_2 = Koeffizienten der Regressionen

S_{yx} = Standardresidualfehler

D-W = Index von DURBIN-WATSON

I = Alter

N = Stammzahl je ha im Abtriebsalter

dg = Durchmesser des Grundflächenmittelstammes

R^2 = Bestimmtheitsmaß

F = F-Wert

N_0 = Stammzahl im Alter Null

N_∞ = Stammzahl im Abtriebsalter

4.8.4 Die Schätzung der Vornutzungen nach der Methode von MAGIN

Literaturüberblick

Das K-Wertverfahren von MAGIN (1971) dient der Bestimmung der Masse des ausscheidenden Bestandes. Dabei wird von dem Massenmittelstamm des verbleibenden Bestandes mit Hilfe des Faktors K auf den Massenmittelstamm des ausscheidenden Bestandes geschlossen. Der Faktor K berechnet sich als Funktion der optimalen Stammzahl, der Masse des verbleibenden Bestandes sowie des Regulativs "C" mit folgender Formel:

$$K = (\Delta N/N)^{\ln (N^2/3000)/C/\ln V}$$

wobei

N Stammzahl am Anfang der Periode

ΔN Stammzahl des ausscheidenden Bestandes in der Periode

V Masse des Bestandes am Anfang der Periode

C Regulativ

bedeuten.

Nach PRODAN (1965) ist der K-Faktor von MAGIN direkter Ausdruck der folgenden Beziehung:

$$K = \frac{\text{mittlerer Bauminhalt des ausscheidenden Bestandes}}{\text{mittlerer Bauminhalt des verbleibenden Bestandes}}$$

Der K-Faktor hat eine unterschiedliche Größe, die von der Durchforstungsstärke abhängt; er beträgt 0,5 bei einer normalen, 0,4 bei einer schwachen, 0,6 bei einer starken und 0,7 bis 0,8 bei einer sehr starken Durchforstung (vgl. die englischen Tafeln HUMMEL und CHRISTIE nach MAGIN 1963 und 1964).

Für Araucaria angustifolia unterstellt HOSOKAWA (1976) einen K-Wert von 0,5 für alle Alter und Standorte.

Über den Prozentfehler der so geschätzten Gesamtwuchsleistung gibt MAGIN (1964) einen Volumenfehler von ± 10 % an für den Fall, daß die Massen des verbleibenden und des ausscheidenden Bestandes ein Verhältnis von 50 : 50 aufweisen. Eine eingehende Analyse über diesen Prozentfehler führt MAGIN (1971) am Beispiel europäischer Ertragstafeln durch.

PRODAN (1965) zeigt, daß der Schätzfehler der Gesamtwuchsleistung bei dieser Methode unmittelbar vom Vornutzungsprozent und dem Fehler bei der Schätzung der Durchforstungsmassen abhängt. Die Prozentfehler der Gesamtwuchsleistung (GWL) in Funktion vom Fehler bei der Einschätzung der Durchforstungsmasse (mDf%) und in Funktion vom Vornutzungsprozent (VP%) sind in der Tabelle 14 angegeben (PRODAN 1965). Sogar bei grobem Schätzfehler der Df-Masse bleibt bei geringem Vornutzungsprozent der Fehler in der Gesamtwuchsleistung unter 10 %.

Tabelle 14: Prozentfehler der Gesamtwuchsleistung (GWL) in Funktion des Fehlers bei der Einschätzung der Durchforstungsmassen (mDf%) und in Funktion vom Vornutzungsprozent (VP%). Die gebrochene Linie zeigt die 10 %-Fehlergrenze für die Gesamtwuchsleistung (aus PRODAN 1965).

VP%	mDf% 10	20	30	40	50
10	1	2	3	4	5
20	2	4	6	8	10
30	3	6	9	12	15
40	4	8	12	16	20
50	5	10	15	20	25
60	6	12	18	24	30

Das "Regulativ C" charakterisiert die Art der Durchforstung. Es liegt nach MAGIN (1971) im Bereich von 2 bis 7, wobei ein größerer C-Wert eine Annäherung an hochdurchforstungsartige Eingriffe, ein niedriger C-Wert niederdurchforstungsartige Eingriffe bedeuten.

Neben der Durchforstungsart hängt der Wert "C" von der Baumart ab (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15: Wert des Regulativs "C" nach Baumarten

Baumart	C-Wert	Autor
Fichte	3	MARSCHALL 1975
Kiefer	5,24	MARSCHALL und STERBA 1975
Douglasie	2	HRADETZKY 1972
Araucaria angustifolia	2	HOSOKAWA 1976
Picea abies (USSR-Karpaten)	2	MAGIN 1971
Verschiedene Baumarten (Deutschland)	3	MAGIN 1971
Verschiedene Baumarten (England)	5	MAGIN 1971
Verschiedene Baumarten (angenommene Werte)	2; 3; 5; 7	FRANZ nach MAGIN 1971

Der Wert des Regulativs "C" wird durch Umformung der Formel zur Bestimmung des K-Wertes in folgender Weise bestimmt:

$$C = \ln (\Delta N/N) \cdot (\ln \frac{N^2}{3000} / \ln V / \ln K) \qquad \text{(Symbole wie oben)}$$

In vielen Fällen muß bei der Anwendung der Methode von MAGIN zur Bestimmung von "K" eine Festlegung der unbekannten Größe "C" erfolgen oder umgekehrt nach der Festlegung von "K" muß die Bestimmung von "C" mit obiger Formel erfolgen.
MARSCHALL und STERBA (1975) haben bei der Konstruktion von Kiefernertragstafeln "Litschau" das Regulativ "C" aus den GUTTENBERG-Kiefern-tafeln rückgerechnet und als Funktion der Mittelhöhe im Alter 100 über die Formel $C = 7{,}9334 - 0{,}0896 \cdot h_{g100}$ ausgeglichen. STERBA (1978) berechnet zur Konstruktion von Fichtenertragstafeln "Sauwald" die C-Werte aus der Bayerischen Fichtenertragstafel für das obere Ertragsniveau. Diese werden linear über dem Alter ausgeglichen, die Koeffi-

zienten dieser linearen Regression werden danach wieder als Funktion der Oberhöhenbonität dargestellt. Es ergibt sich dabei ein Funktionsschema für die C-Werte wie folgt:

$$c_o = 3{,}03416 + 0{,}328028 \cdot h_{o100}$$

$$c_1 = 0{,}013526 - 0{,}00394 \cdot h_{o100}$$

$$C = c_o + c_1 \cdot t \qquad (t = \text{Alter})$$

E r g e b n i s s e

Im Bundeswald "Passo Fundo" werden in den Pinus-Beständen in der Regel mäßige Durchforstungen, bei der ersten Durchforstung u.U. auch schematische Reihenhiebe geführt. Bei derartigen Durchforstungen muß aufgrund der in der Literatur mitgeteilten Untersuchungsergebnisse von MAGIN mit einem Faktor "K" von 0,5 bis 0,6 gerechnet werden. Für das "Indexalter" von 30 Jahren wurde "K" aus den genannten Gründen mit 0,55 gutächtlich festgesetzt in Kenntnis der Bestandesverhältnisse in "Passo Fundo" (23jährige Kiefernbestände) und in Boca do Monte, Santa Maria (37jähriger Kiefernbestand). Dieses Alter wurde deshalb gewählt, weil unter diesen Umständen eine Stabilisierung des Verhältnisses von ausscheidendem zu verbleibendem Vorrat zu erwarten ist. Für das Alter 30 errechnet sich dann für die durchschnittlichen Standortsverhältnisse "Passo Fundos" nach den von MAGIN mitgeteilten Formeln (siehe oben) ein Regulativ "C" von 2.73. Wird in allen Altersstufen der gleiche Wert von "C" unterstellt, so ergeben sich in Abhängigkeit vom Alter die in Tabelle 16 mitgeteilten K-Werte.

Tabelle 16: Der Faktor "K" und das Regulativ "C" nach der Methode von MAGIN für Pinus elliottii (durchschnittliche Standortsverhältnisse von "Passo Fundo")

Alter	HO	HM	DG	N	V	DN	K	C
10	14.76	13.72	16.29	1473.37	209.62			
						706.28	.72	2.73
15	20.09	18.54	22.03	767.10	273.23			
						230.29	.66	2.73
20	23.73	21.69	26.55	536.81	326.65			
						103.63	.62	2.73
25	26.20	23.78	29.89	433.18	366.95			
						54.32	.59	2.73
30	27.87	25.16	32.24	378.85	395.78			
						30.50	.55	2.73
35	28.96	26.05	33.84	348.35	415.41			
						17.24	.51	2.73
40	29.64	26.61	34.85	331.11	427.91			

Symbole: H_o = Oberhöhe

H_m = Mittelhöhe

DG = Durchmesser des Grundflächenmittelstammes

N = Stammzahl des verbleibenden Bestandes

V = Volumen des verbleibenden Bestandes

K = K-Faktor nach MAGIN

DN = Stammzahl des ausscheidenen Bestandes pro Periode

C = C-Regulativ nach MAGIN

In Tabelle 16 sind außerdem die altersabhängige Entwicklung der Oberhöhe, der Mittelhöhe, des Grundflächenmittelstammes, der Stammzahl und des Vorrates für die durchschnittlichen Standortsverhältnisse "Passo Fundo's" mitgeteilt. Diese wurden mit den in Tabelle 18 (S. 86) dargestellten Funktionen ermittelt.

Die zwischen Oberhöhe des Bestandes und dem K-Faktor von MAGIN bestehende Beziehung kann mit folgender Funktion mathematisch beschrieben werden:

$$K = 0{,}9959 - 0{,}0162 \cdot h_o$$

Das Bestimmtheitsmaß dieser Regression beträgt 0,9564, der Standardresidualfehler S_{yx} 0,0176.

Die K-Werte sind umgekehrt proportional zur Oberhöhe und zum Alter des Bestandes. Dieses Ergebnis erscheint angesichts des raschen Jugendwachstums dieser Baumart (frühe Kulmination des Zuwachses) plausibel[1].

[1] Vgl. die Untersuchung von MARSCHALL (1975) für Fichte in Österreich, die ähnliche Ergebnisse erbrachte.

Die obige Funktion $K = f(h_o)$ wurde in den folgenden Untersuchungsschritten dazu genutzt, für jede Bonität aufgrund der Oberhöhenentwicklung K-Werte nach MAGIN zu ermitteln.

4.8.5 Die Konstruktion der Ertragstafel

Literaturüberblick

In der Literatur wird eine große Zahl unterschiedlicher Methoden zur Konstruktion von Ertragstafeln mitgeteilt. Die Unterschiedlichkeit der Methoden ergibt sich vor allem aus dem unterschiedlichen Ausgangsmaterial und den unterschiedlichen Zielsetzungen der Untersuchungen. Im folgenden werden an Beispielen wichtige Lösungen vorgestellt.

CLUTTER (1963) wendet bei der Konstruktion einer Ertragstafel von Pinus taeda folgende Gleichung an:

$$\log V = b_o + b_1 IS + b_2 \log G + b_3 I^{-1}$$

wobei

V Masse je Hektar

IS Höhenbonität

G Grundfläche je Hektar

I Alter

bedeuten.

BENETT u.a. (1959) ermitteln bei ihrer Ertragstafel von Pinus elliottii den Vorrat mit folgender Funktion:

$$\log V = b_o + b_1 \frac{1}{I} + b_2 IS + b_3 \log R + b_4 \frac{1}{IS}$$

wobei die Symbole wie oben verwendet werden und

R Quotient von Fläche je Baum durch Prozentsatz der lebenden Bäume

bedeutet.

HEINSDIJK und SOARES (1962) wenden ebenfalls diese Gleichung zur Untersuchung der Leistung von Koniferenbeständen in Südbrasilien an; allerdings ersetzen sie die Variable R (Fläche je Baum/Prozentsatz der lebenden Bäume) durch die Stammzahl je Hektar:

$$\log V = b_o + b_1 \frac{1}{I} + b_2 IS + b_3 \log N + b_4 \frac{1}{IS}$$

wobei

N Stammzahl je Hektar

bedeutet (übrige Symbole wie oben).

DE HOOGH u.a. (1978) teilen Ertragstafeln für Araucaria angustifolia mit. Dazu wenden sie die von PITA und MADRIGAL (1947) erwähnten Grundbeziehungen sowie folgende Variablen an:

a) Alter in Jahren
b) Oberhöhe in Metern
c) Stammzahl je Hektar
d) Prozentischer Standraumfaktor (S%)
e) Durchmesser des Grundflächenmittelstammes
f) Grundfläche je Hektar in m^2
g) Gesamtmasse des Bestandes mit Rinde in m^3/ha
h) Gesamtmasse des Bestandes ohne Rinde in m^3/ha
i) Nutzbare Masse des Bestandes in m^3/ha

Die Schätzung der Stammzahl je Hektar wird von diesen Autoren mit folgender Gleichung vorgenommen (nach CARPENTIER 1973):

$$E = b_o + b_1 h_o \sqrt{I}$$

wobei

E mittlerer Abstand zwischen den Stämmen
h_o Oberhöhe in Metern
I Alter

bedeuten.

Die Bestandesdichte wird über den schon erwähnten "prozentischen Standraumfaktor" (S%), den Durchmesser des Grundflächenmittelstammes als Funktion des mittleren Stammabstandes und der Oberhöhe mit folgender Gleichung (CARPENTIER 1974) ermittelt:

$$dg = b_o + b_1 E + b_2 h_o$$

wobei

dg Durchmesser des Grundflächenmittelstammes in Metern
E mittlerer Stammabstand
h_o Oberhöhe in Metern

bedeuten.

Die Masse je Hektar wird mit der nachstehenden Gleichung ermittelt, wobei das Produkt von Grundfläche je Hektar und Oberhöhe die unabhängige Variable darstellt:

$$V = b_o + b_1 G \cdot h_o$$

wobei

V Masse je Hektar

G Grundfläche je Hektar

h_o Oberhöhe in Metern

bedeuten.

Nach MAGIN (1964) kann die Gesamtwuchsleistung wie folgt geschätzt werden (siehe auch BITTERLICH u.a. 1974, STERBA 1975, HRADETZKY 1972, BECHTER 1977, ASSMANN 1961, FRANZ 1967 und PRODAN 1965):

$$GWL_i = V_a + \sum_a^i \Delta V_s + \sum_a^i \Delta N_s \cdot V_{m(s/2)} \cdot K$$

wobei

GWL_i Gesamtwuchsleistung im Alter i

V_a Vorrat am Anfang der Periode

ΔV_s Differenz der Massen in den Perioden s

ΔN_s Differenz der Stammzahl je Hektar in der Periode s

$V_{m(s/2)}$ Volumen des Vorratsmittelstammes in der Mitte der Periode s

K Korrekturfaktor nach MAGIN

bedeuten.

Die Schwierigkeit bei der Anwendung dieses Modells besteht in der genauen Festsetzung des Korrekturfaktors. Dieser hängt - wie bereits dargestellt[1)] - von der Durchforstungsstärke und von der Bestandesdichte ab.

PRODAN (1965) schlägt eine modifizierte Formel zur Schätzung der Gesamtwuchsleistung vor; er geht davon aus, daß diese eine direkte Folge der Summe der Masse der Durchforstungen und der Masse des Erntehiebes ist:

$$GWL = V_e + \Sigma \Delta N_s \cdot V_{m(s/2)} \cdot K = V_e + \Sigma Df_i$$

wobei

V_e Vorrat am Ende der Periode

ΣDf_i Summen der Durchforstungsmassen

K K-Faktor, ermittelt mit der Formel von PRODAN (siehe Seite 76)

bedeuten.

---

1) Siehe Seite 76

Im Vergleich zur Formel von MAGIN hat diese Formel den Vorteil, daß die Masse des Erntehiebes keinen Schätzfehler aufweist. Sie muß allerdings bei der Anwendung der Formel bekannt sein.
Das von HRADETZKY (1972) entwickelte Verfahren zur Erstellung von Ertragstafeln beruht auf einer modularen Form, wobei jedes Modul durch drei wachstumsbeeinflussende Faktoren bestimmt wird: Zeit, Standort und genetische Grundlage. Für lokale Tafeln kann die genetische Grundlage als einheitlich betrachtet werden; der Standort wird dabei durch die Oberhöhe in einem bestimmten Alter charakterisiert und die Gesamtwuchsleistung durch die MAGIN'sche Formel geschätzt.

Eigenes Vorgehen und Ergebnisse

Ausgangsdaten für die Erstellung von Ertragstafeln von Pinus elliottii sind die Inventurdaten des Bundeswaldes "Passo Fundo" sowie die Inventurdaten benachbarter Betriebe mit Beständen, die ein höheres Alter als 23 Jahre aufweisen.
In Tabelle 17 sind die Variablen aufgeführt, deren Kenntnis zum Aufbau der Ertragstafel erforderlich sind. Die Reihenfolge der Variablen in der Tabelle entspricht der Reihenfolge der in dieser Arbeit gewählten rechnerischen Herleitung. Bei jeder Variablen ist das für ihre Herleitung angewandte Regressionsmodell angegeben. In Tabelle 18 werden für die Regressionsgleichungen zur Bestimmung der Oberhöhe, der Mittelhöhe, des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes, der Stammzahl je Hektar, der unechten Formzahl und des Korrekturfaktors K von MAGIN die Größe der Koeffizienten sowie statistische Kennzahlen zur Gütebeurteilung der Regression mitgeteilt[1].
Die mit den in Tabelle 17 und Tabelle 18 mitgeteilten Regressionen berechneten sieben Ertragstafeln von Pinus elliottii befinden sich im Anhang 9.

---

[1] Die Konstruktion der Ertragstafeln erfolgte mit dem für diesen Zweck erstellten EDV-Programm ESOWA (Ertrags-, Sortentafel und Wirtschaftsanalyse). Es erstellt Ertrags- und Bestandes-Sortentafeln und berechnet verschiedene Umtriebszeiten im Normalwaldmodell.

Tab. 17

Rechenschritte bei der Konstruktion der Ertragstafel von Pinus elliottii

Nummer der Gleichung	Variable	Regression
1	Oberhöhe (h_0)	$h_0 = A \cdot e^{b_0 + b_1 \ln I + b_2 \ln^2 I}$
2	Mittelhöhe (h_m)	$h_m = e^{b_0 + b_1 \ln h_0 + b_2 \ln^2 h_0}$
3	Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (dg)	$dg = e^{b_0 + b_1 \ln hm + b_2 \ln^2 hm}$
4	Formzahl ($f_{1,3}$)	$f = b_0 + b_1 (d_{0,5}/d)^2 + b_2 (d_{0,3}/d)^2$
4.1	Durchmesser bei 0,5 der Gesamthöhe ($d_{0,5}$)	$d_{0,5} = 10^{b_0 + b_1 \log(1/d)}$
4.2	Durchmesser bei 0,3 der Gesamthöhe ($d_{0,3}$)	$d_{0,3} = 10^{b_0 + b_1 \log(d^2 h)}$
5	Stammzahl je Hektar (N)	$10\,000 / [(S'\% \cdot h_0/100)^2 \cdot 0{,}866] = e^{b_0 + b_1 \ln h_0}$
6	Grundfläche je Hektar (G)	$G = (\pi \cdot dg^2/4) \cdot N$
7	Verbleibende Masse (V)	$V = G \cdot hm \cdot F$
8	Durchschnittliche verbleibende Masse (VM)	$Vm = (V_i/N_i + V_{i+5}/N_{i+5})/2$
9	MAGIN'scher Korrekturfaktor (K)	$K = b_0 + b_1 \cdot h_0$
10	Masse der Durchforstungen (Vd)	$Vd = \Delta N \cdot K \cdot Vm$
11	Gesamtwuchsleistung im Alter i (GWL_i)	$GWL_i = V_a + \sum_a^i \Delta V + \sum_a^i \Delta Vd$

Symbole: im Text erläutert

Tab. 18

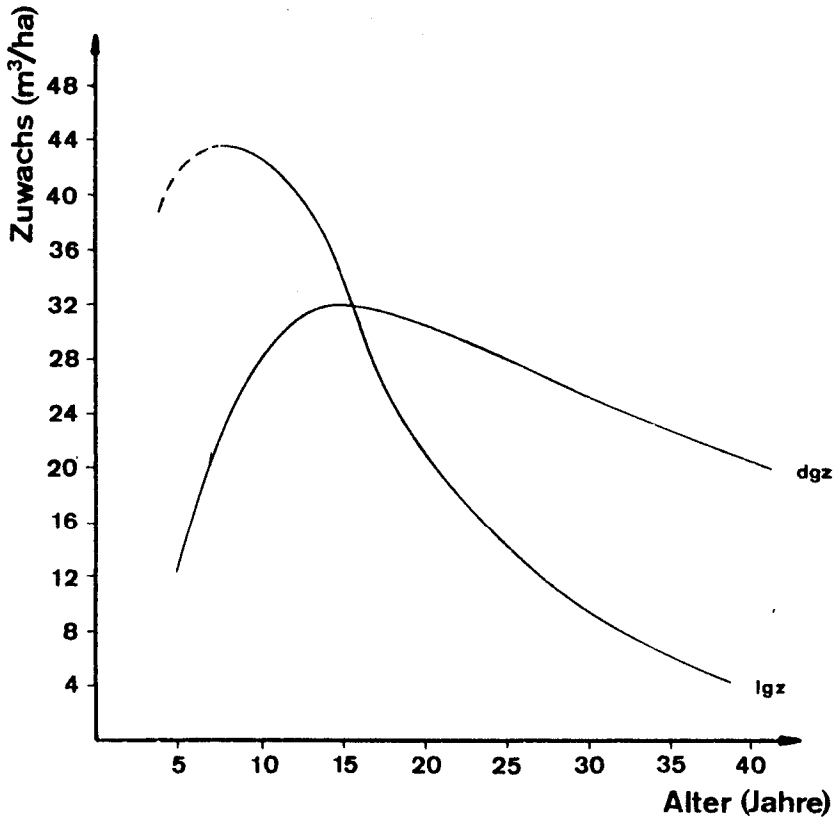
Die wichtigsten Regressionsmodelle zur Konstruktion der Ertragstafel von Pinus elliottii mit den Koeffizienten und statistischen Kennzahlen zur Gütebeurteilung der Regressionen

Nummer der Gleichung	Formel der Regression	Koeffizienten			R^2	S_{yx}	F	D-W
		b_0	b_1	b_2				
1	$h_0 = 35{,}5 \cdot e^{b_0 + b_1 \ln I + b_2 \ln^2 I}$	- 4,2661	2,0766	- 0,2627	0,9296	0,1309	488,7	1,9895
2	$hm = e^{b_0 + b_1 \ln h_0 + b_2 \ln^2 h_0}$	- 0,5539	1,3597	- 0,0673	0,9879	0,0557	3092,2	2,1012
3	$dg = e^{b_0 + b_1 \ln hm + b_2 \ln^2 hm}$	3,2430	- 1,2272	0,4026	0,8762	0,1324	247,6	1,5254
4	$N = e^{b_0 + b_1 \ln h_0}$	12,9453	- 2,1048	-	0,9999	0,0043	284690,2	0,3755
5	$f = b_0 + b_1(d_{0,5}/d)^2 + b_2(d_{0,3}/d)^2$	0,2347	0,3719	0,2662	0,8819	0,0159	373,5	1,7560
6	$K = b_0 + b_1 h_0$	0,9329	- 0,0137	-	0,9564	0,0176	87,85	1,0246

Symbole: h_0 = Oberhöhe
dg = Durchmesser des Grundflächenmittelstammes
f = unechte Formzahl
I = Alter
$d_{0,5}$ = Durchmesser in 0,5 der Höhe
b_0, b_1, b_2 = Koeffizienten der Regressionen
S_{yx} = Standardresidualfehler
D-W = Index nach DURBIN-WATSON
hm = Mittelhöhe
N = Stammzahl je Hektar
K = K-Faktor nach MAGIN
d = Durchmesser in 1,3 m Höhe
$d_{0,3}$ = Durchmesser in 0,3 der Höhe
R^2 = Bestimmtheitsmaß
F = F-Wert

Abb. 11 zeigt am Beispiel der Höhenbonität 28 die in den Ertragstafeln enthaltene Entwicklung des laufenden und durchschnittlichen Zuwachses.

Abb. 11: Entwicklung des durchschnittlichen Gesamtzuwachses (dGZ) und des laufenden jährlichen Zuwachses (lGZ) für die Höhenbonitätsklasse 28 von Pinus elliottii



Selbstverständlich können diese Ertragstafeln aufgrund der begrenzten Ausgangsdatenbasis lediglich als vorläufig betrachtet werden. Die Güte der Tafeln kann nur durch die Anwendung in der Praxis beurteilt werden. Neue Untersuchungsergebnisse können es erforderlich machen, daß in Zukunft Änderungen vorgenommen werden, was durch die additive Art des EDV-Programmes problemlos möglich ist.

Einige Belege bezüglich der Genauigkeit der Ertragstafel liegen bereits vor. Als Beispiel sei ein 37jähriger Pinus-Bestand der Versuchsstation für Waldbau "Boca do Monte" in Santa Maria, Brasilien, genannt. Im Alter 37 beträgt die Oberhöhe des Bestandes 29,2 m, die Gesamtwuchsleistung 798,4 Vfm Baumholz mit Rinde je Hektar. Der Fehler der Ertragstafel beträgt in diesem Beispiel 19,49 m^3 je Hektar, das entspricht einer Abweichung von - 2,41 %.

Auf ein Problem bei der Konstruktion der Ertragstafel soll noch näher eingegangen werden: die Stammzahl der Bestände zu Beginn des Bestandeslebens. Denn die Stammzahl zu Beginn des Bestandeslebens hat u.U. beträchtlichen Einfluß auf die Gesamtwuchsleistung nach Menge und Struktur in den verschiedenen Bestandesaltern. Diese Stammzahl ist abhängig vom Pflanzverband, von der Anwuchsrate und der "Sterberate" bis zur ersten Durchforstung.
In den Tafeln (Anhang 9) sind die jüngsten Altersklassen, die von diesem Problem besonders betroffen sind, und für die keine gesicherten Inventurergebnisse vorliegen, durch eine gestrichelte Linie von den folgenden älteren Altersklassen getrennt.
Es wurde ein Pflanzverband von 2 x 2 Metern unterstellt, dem entsprechen 2.500 Pflanzen je Hektar. Dieser Pflanzverband ist am häufigsten in Südbrasilien bei Aufforstungen in Bundeswäldern angewendet worden. Bei der Ermittlung der Stammzahl vor der ersten Durchforstung wurde in den Ertragstafeln eine Ausfallrate nach der Pflanzung und eine "Sterberate" infolge Konkurrenz von zusammen 4 % unterstellt.
Diese Unterstellungen gründen sich auf die von FISHWICK (1976) mitgeteilten Erfahrungen einer im Bundeswald "Três Barras" angelegten Versuchsfläche von Pinus elliottii - dort wurden im Alter 10 bei einem Pflanzverband von 2 x 2 Metern eine "Sterberate" von 2 % festgestellt - und auf Ergebnisse von im Bundeswald "Passo Fundo" durchgeführten Untersuchungen der Ausfall- und "Sterberate"[1].

4.8.6 Die Schätzung der Gesamtwuchsleistung

Mit "Gesamtwuchsleistung" wird die gesamte Wuchsleistung eines Bestandes in Vorratsfestmetern je Hektar von der Begründung bis zum Jahr der Aufnahme bezeichnet. Sie entspricht der Summe der Vornutzungen und des Ist-Vorrats. In den Ertragstafeln (vgl. Anhang 9) ist die Entwicklung der Gesamtwuchsleistung entsprechend dieser Definition aufgeführt.

Ihre Kenntnis ist bei einer Reihe von Aufgaben der Forsteinrichtung, bei der Inventur und Planung erforderlich. In der Literatur werden daher eine große Zahl von Gleichungen mitgeteilt, die die Gesamtwuchsleistung als Funktion von Inventurgrößen, z.b. dem Bestandesalter, der Oberhöhe

---

[1] Leider liegen in Südbrasilien noch keine Untersuchungen zur Ausfall- bzw. Sterberate in Abhängigkeit z.B. von der Qualität des Pflanzmaterials, der

oder der Mittelhöhe des Grundflächenmittelstammes ausdrücken (vgl. z.B. KENNEL 1973, MITSCHERLICH und SONNTAG 1982, FRANZ 1971, HRADETZKY 1972 und PRODAN 1968).

HRADETZKY (1972) beschreibt ausführlich die Funktionen, die zur Schätzung der Gesamtwuchsleistung eines Bestandes angewandt werden können. Unter ihnen befindet sich die KORFF'sche Funktion:

$$y = A \cdot e^{\frac{K}{(1-n)t^{(n-1)}}}$$

wobei

A, K und n	Parameter
t	Alter
y	Gesamtwuchsleistung

bedeuten.

In dieser Arbeit von HRADETZKY (1972) sind auch die Gleichungen von BACKMAN (1943), WENK (1969), SIMMER (1966), HUBERSHOF (1936), PEARSON (1955), WEBER (1891), van der VLIET (1921) und andere angegeben.

MITSCHERLICH und SONNTAG (1982) haben ein nichtlineares Gleichungsmodell zur Abschätzung der Gesamtwuchsleistung von Beständen entwickelt. Es geht von folgender Gleichung aus, die auf die KORFF'sche Formel (KORFF 1939) zurückgeht:

$$y = b_1 \cdot e^{b_2 \cdot t^{b_3}}$$

wobei

b_1, b_2, b_3	Parameter
t	Alter
y	Gesamtwuchsleistung

bedeuten.

Wegen des engen statistischen Zusammenhangs zwischem dem Alter t eines Bestandes und der Oberhöhe h_o kann die Funktion in folgender Weise umgeformt werden (MITSCHERLICH und SONNTAG 1982):

$$y = b_1 \cdot e^{\ln^{b_3}(b_2 \cdot h_o)}$$

FRANZ (1971) untersucht die Gesamtwuchsleistung von Fichtenbeständen auf verschiedenen Standortseinheiten. Folgende, von ihm angegebene Funktion bestimmt die Gesamtwuchsleistung als Integral des Zuwachses:

$$GWL_{(t)} = \int_{0}^{t} f\ (iv) \cdot d_t$$

wobei

$GWL_{(t)}$	Gesamtwuchsleistung im Alter t
t	Alter
iv	laufender Volumenzuwachs

bedeuten.

Um Abweichungen der Gesamtwuchsleistung aufgrund unterschiedlichen Ertragsniveaus erfassen zu können, wendet KENNEL (1973) die BACKMAN'sche Funktion (BACKMAN 1943) an:

$$\ln y = a + b \ln x + c \ln^2 x$$

wobei

a, b, c	Parameter
y	Gesamtwuchsleistung/100 (in VfmD)
x	Oberhöhe · 2,5 (in Metern)

bedeuten.

In den Ertragstafeln für Pinus elliottii (vgl. Kapitel 4.8.5 bzw. Anhang 9) ist die Gesamtwuchsleistung als Summe von verbleibendem Bestand und Summe der Vornutzungen enthalten. Im folgenden wird aus den Regressionen, die in der Literatur für diesen Zweck empfohlen werden, diejenige ausgewählt, die geeignet ist, den in der Ertragstafel mitgeteilten Verlauf der Gesamtwuchsleistung mathematisch möglichst genau zu beschreiben (vgl. Tabelle 19). Die Regressionen 1 und 2 entstammen der Arbeit von MITSCHERLICH und SONNTAG (1982), Regression 3 ist die von BACKMAN 1943 entwickelte Funktion und Regression 4 ist eine veränderte Form der BACKMAN'schen Funktion (ohne b_o)[1].

---

[1] Gleichung 3 wurde nach der Methode der kleinsten Quadratsumme mit Hilfe des SPSS-Programmpakets ausgeglichen. Die nichtlinearen Modelle 1 und 2 wurden mit Hilfe des Programmpakets BMDP gelöst (Programm NON LINEAR REGRESSION-P3R). Das vierte Modell wurde nach der Methode der kleinsten Quadratsumme mit Hilfe des Programmpaketes BMDP gelöst (da ohne b_o). Die Lösung der nichtlinearen Gleichungen 1 und 2, die die Gesamtwuchsleistungen als Funktion der Oberhöhe ausdrücken, erfolgte in drei Stufen (vgl. MITSCHERLICH und SONNTAG 1982):

1. Ausgleich der Wertepaare als eine in sich geschlossene Punktwolke
2. Berücksichtigung des Wachstumsganges der Einzelflächen durch Verwendung der Technik mit Dummy-Variablen
3. Berechnung einer mittleren Ausgleichskurve

Tab. 19

Regressionsgleichungen zur Bestimmung der Gesamtwuchsleistung sowie Koeffizienten und statistische Kennzahlen zur Gütebeurteilung der Regressionen für Pinus elliottii (Oberhöhenbonität $h_{30} = 28$)

Nummer der Gleichung	Gleichungen	Koeffizienten b_0	b_1	b_2	b_3	R^2	S_{yx}	SQRES
1	$y = b_1 + b_2 \cdot h_0^{b_3}$	-	-110,0723	16,2894	1,1920	-	7,1603	256,36
2	$y = b_1 \cdot e^{\ln^{b_3}(b_2 \cdot h_0)}$	-	8,4924	-14,4329	1,1956	-	21,1518	2684,47
3	$y = e^{b_0 + b_1 \ln h_0 + b_2 \ln^2 h_0}$	-1,9428	3,8589	- 0,3861	-	0,9998	0,0052	64,05
4	$y = e^{b_1 \ln h_0 + b_2 \ln^2 h_0}$	-	2,3826	- 0,1164	-	0,9980	0,0567	3948,02

Symbole: y = Gesamtwuchsleistung

h_0 = Oberhöhe

S_{yx} = Standardresidualfehler

b_0, b_1, b_2, b_3 = Koeffizienten der Regression

R^2 = Bestimmtheitsmaß

SQRES = Summe der Quadrate der Residualwerte

$$SQRES = \sum_{i=1}^{u} (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Tab. 20:

Koeffizienten und statistische Kennzahlen der Regressionen nach BACKMAN zur Bestimmung der Gesamtwuchsleistung von Pinus elliottii nach Höhenbonitäten

Höhen-bonität	Koeffizienten b_o	b_1	b_2	R^2	S_{yx}	F
22	-0,5596	2,9151	-0,2245	0,9993	0,0276	3608,1
24	-0,9685	3,2034	-0,2766	0,9997	0,0191	7368,4
26	-1,5746	3,6094	-0,3448	0,9998	0,0145	12586,9
28	-1,9428	3,8589	-0,3861	0,9999	0,0052	97824,6
30	-2,2757	4,0772	-0,4203	0,9999	0,0033	98084,0
32	-2,5615	4,2601	-0,4475	0,9999	0,0058	73667,1
34	-3,0209	4,5706	-0,4963	0,9999	0,0113	18982,6

Symbole: b_o, b_1, b_2 = Koeffizienten der Regression

R^2 = Bestimmtheitsmaß

S_{yx} = Standardresidualfehler

F = F-Wert

Tabelle 19 enthält die Ergebnisse der Regressionsrechnung am Beispiel der Oberhöhenbonität 28. Das von BACKMAN vorgeschlagene Modell Nr. 3 ergibt den besten Ausgleich mit der kleinsten Summe der Quadrate der Residualwerte von 64,05. Zwar weist diese Gleichung den Nachteil auf, daß die Schätzung der Gesamtwuchsleistung den Wert des Schnittpunktes $e^{-1,9428}$ bzw. 0,14 m^3 je Hektar annimmt, wenn die Oberhöhe gegen den Wert von Null tendiert. Dieses Modell kann aber trotzdem ohne Bedenken angewandt werden, weil in der Praxis Schätzungen bis zum Alter von 5 Jahren unnötig sind. Der Versuch, das BACKMAN'sche Modell ohne den Schnittpunkt (b_0) anzuwenden (Gleichung 4), blieb unbefriedigend; die Residualwerte variieren sehr, was zu einer sehr hohen Summe der Quadrate der Residualwerte führt.

Die nichtlinearen Modelle 1 und 2 weisen eine niedrigere statistische Genauigkeit auf als das BACKMAN'sche Modell 3. Das normalerweise nicht für diesen Zweck empfohlene Modell 1 ist dabei genauer als das von MITSCHERLICH und SONNTAG (1982) vorgeschlagene Modell 2, das eine sehr große Summe der Quadrate der Residualwerte ergibt. Die geringere Genauigkeit und die große Zahl der zur Ermittlung der Koeffizienten dieser Gleichungen notwendigen Iterationen führen zur Empfehlung des BACKMAN'schen Modells 3.

In der vorliegenden Arbeit wurde daher die BACKMAN'sche Gleichung zum Ausgleich der Gesamtwuchsleistung als Funktion der Oberhöhe für alle Höhenbonitäten angewandt. Die ermittelten Koeffizienten und statistischen Kennwerte sind in Tabelle 20 angegeben. Diese Gleichungen ermöglichen unter anderem die direkte Schätzung der Gesamtwuchsleistung für die Praxis aufgrund von Inventurdaten und vergleichende Ertragsniveauuntersuchungen in Regionen unterschiedlicher Wachstumstendenzen.

4.9 Die Ergebnisse der Forstinventur[1)]

Im Anhang 10 sind als Beispiel für die Inventurauswertung die Ergebnisse der Abteilung 64 wiedergegeben. Die Stichprobeninventur

---

[1)] Die Ergebnisse der Forstinventur werden der Zielsetzung dieser Arbeit entsprechend nur knapp gefaßt und beispielhaft vorgestellt. Eine ausführliche Darstellung wird im Forsteinrichtungswerk des Bundeswaldes gegeben (SCHNEIDER 1984).

erfolgte dabei in der in Kapitel 3.3 und 3.4 beschriebenen Weise mit dem EDV-Programm ANAPAR (Análise das Parcelas). Voraussetzungen für die Inventurauswertung sind die Kenntnis des Baumvolumens (Kapitel 4.3) und der Bestandeshöhenkurve (Kapitel 4.5).
Tabelle 21 gibt die Ergebnisse der Forstinventur nach Standortseinheiten gegliedert wieder. Der größte Vorrat je Hektar wurde in der Standortseinheit 5 mit 425,3 Vfm Baumholz in Rinde je Hektar festgestellt.

Für den gesamten Forstbetrieb ergab die Forstinventur folgende Ergebnisse (Formeln im Anhang 11)

- Mittelwert des Vorrats der stratifizierten Population

  $\bar{y}$ St = 361,5 $Vfm_{B\ in\ R}$

- Varianz der stratifizierten Population

  $s^2_{\bar{y}st}$ = 128,36 $Vfm_{B\ in\ R}$

- Standardfehler

  $s_{\bar{y}st}$ = 11,33 $Vfm_{B\ in\ R}$

- Stichprobenfehler

  E = 6,33 %

- Vertrauensintervalle (für p = 0,05)

  a) für den Mittelwert $\bar{y}st$

  IC $\left[338{,}6\ Vfm_{BmR}/ha < \bar{y}st < 384{,}4\ Vfm_{BmR}/ha\right]$

  b) für den gesamten Vorrat

  IC $\left[95\ 451\ Vfm_{BmR} < \tau < 108\ 362\ Vfm_{BmR}\right]$

Tab. 21: Ergebnisse der Vorratsinventur im Nationalwald "Passo Fundo"

Standorts-einheit	Fläche	Zahl der Stichproben temp. u	perm. m	i.G.	Vorrat (in $Vfm_{B.I.R.}$) $\bar{x}_u$	$\bar{x}_m$	$\bar{x}$	Streuung s^2_{xu}	s^2_{xm}	s^2_x
I	75,9	07	11	18	412,1	382,3	393,9	4.300,4	6.462,4	5.542,1
II	57,2	04	10	14	336,6	374,8	365,8	6.602,0	14,438,2	11,408,1
III	112,3	07	10	17	345,2	319,3	329,9	9.323,2	7.294,8	7.772,3
IV	28,1	05	06	11	395,2	354,2	372,8	433,4	1.255,9	1.259,2
V	8,4	01	01	02	406,7	443,8	425,3	-	-	688,2
TOTAL	281,9	24	38	62						

Es bedeuten: temp. u — Zahl der temporären Stichproben

perm. m — Zahl der permanenten Stichprobem

$\bar{x}_u$, $\bar{x}_m$, $\bar{x}$ — Mittelwert des Vorrats in den temporären, permanenten bzw. allen Stichproben

s^2_{xu}, s^2_{xm}, s^2_x — Varianz des Vorrats in den temporären, permanenten bzw. allen Stichproben

4.10. Die Sortierung

4.10.1 Die Schaftform als Grundlage für Sortentafeln

Literaturüberblick

Sortentafeln und Bestandessortentafeln sind bedeutungsvolle Hilfsmittel bei der Lösung betriebswirtschaftlicher Probleme im Rahmen der Forsteinrichtung bzw. der Führung des laufenden Forstbetriebes. In der Literatur finden sich daher eine große Zahl von Veröffentlichungen, die sich mit der Optimierung der Sortierung nach Qualität, Dimension und Weiterverarbeitungsmöglichkeiten beschäftigen.

Die Kenntnis der Schaftkurve ist eine der Voraussetzungen für die Konstruktion von Sortentafeln. Als Schaftkurve wird die äußere Begrenzungskurve eines Baumes bezeichnet. Sie ist abhängig von der Baumart, dem Standort, dem Alter des Baumes, der soziologischen Stellung, der waldbaulichen Behandlung des Bestandes und vieles mehr[1].

Die meisten Methoden zur Bestimmung der Schaftform versuchen, die Zusammenhänge zwischen Durchmesser- und zugehörender Volumenentwicklung einerseits und relativer Baumhöhe andererseits zu beschreiben. Auf SCHUBERG (1891 , zitiert nach SPURR 1952) geht die Bestimmung des Formquotienten $d_{0,5}$ / $d_{1,3}$ als dem Verhältnis zweier Durchmesser, nämlich dem Durchmesser in halber Höhe und dem in 1,30 m Höhe, zurück. SCHIFFEL (1905) zeigt, daß mit Hilfe einer zweiten, in halber Baumhöhe vorgenommenen Durchmesserbestimmung eine befriedigende Schätzung der Schaftform erfolgen kann. Er ermittelt das Volumen daher als Funktion der Gesamthöhe und der Querflächen in $d_{1,3}$ und $d_{0,5}$ (vgl. SILVA 1976). PRESSLER (1865) hat erstmals die Messung eines zweiten Durchmessers zur Bestimmung des Volumens eingeführt (vgl. PRODAN 1965). Mit der Entwicklung des Spiegelrelaskops durch BITTERLICH (1958, 1959) wird die Messung eines zweiten Durchmessers als Grundlage für Schaftformuntersuchungen inzwischen weit ver-

---

[1] Vgl. die zusammenfassenden Darstellungen bei SILVA 1976, SPURR 1952, ASSMANN 1961, HOHENADL 1924, HRADETZKY 1981, JOKELA 1974, PETERS 1971, PRODAN 1965, SCHÖPFER 1966, 1967, 1974

breitet angewendet. Auf POLLANSCHÜTZ (1965) geht, gestützt auf die von SCHIFFEL durchgeführten Untersuchungen, der Vorschlag zurück, einen bei zwei Drittel der Baumhöhe gemessenen Durchmesser zwecks Schätzung des Volumens österreichischer Koniferen zu erheben.

Nach PRODAN (1965) wurde die älteste Gleichung zur Schätzung der Schaftform von HOJER (1903) entwickelt. Diese Gleichung wurde dann von JOHNSON (1918) modifiziert. Beide semilogarithmischen Modelle wenden einen Formquotienten als abhängige Variable an.
Beispiele für Arbeiten, die Ausbauchungsreihen bei der Bestimmung der mittleren Form von Stämmen anwenden, sind von ALTHERR (1953), HENGST (1959), OSUMI (1959, 1974), SCHÖPFER (1966, 1967, 1974), WENK und GUENTER (1970), LOMBA (1972), SILVA (1976) und PETERS (1971). OSUMI beispielsweise wendet ein Polynom dritten Grades zur Beschreibung der Form von Cryptomeria japonica an, wobei die echte Ausbauchungsreihe die abhängigen Variablen, das Volumen die unabhängige Variable bilden.
PRODAN (1965) bzw. ROW und GUTENBERG (1966) versuchen zu zeigen, daß die Stammform in mindestens drei Abschnitte geteilt werden sollte, um eine wirklichkeitsnahe Beschreibung ihrer Form zu ermöglichen. JOKELA (1974) untersucht entsprechend die Schaftform von Picea excelsea durch Aufteilung in drei Abschnitte. Der untere konkave Teil des Stammes kann danach mit einer hyperbolischen Funktion beschrieben werden, der mittlere konvexe Teil mit einer logarithmischen Funktion und die letzten fünf Meter mit einem Kegel. Bäume mit einer Gesamthöhe geringer als sieben Meter werden als "kegelartig" beschrieben.
MUNRO (zitiert nach KOZAK u.a. 1969) schlägt eine einfache parabolische Funktion zur Schätzung der Schaftform vor. Dies hat den Vorteil, daß die Methode der Summe der kleinsten Quadrate bei der Lösung angewandt werden kann (vgl. SILVA 1976).
PELLICO NETO (1979) beschreibt eine Methode für den Ausgleich der Schaftform von Araucaria angustifolia. Dabei ergeben sich die transformierten Reihen durch Addition und Subtraktion der - gegenüber der halben Höhe symmetrisch entfernten - Formquotienten. Diese neuen

Reihen können für die Summe der Formquotienten mit AS_y bzw. AD_y für die Differenz zwischen ihnen bezeichnet werden:

$$AS_y = \frac{d_{o,i}}{d_{o,1h}} + \frac{d_{o,j}}{d_{o,1h}} = A_{o,i} + A_{o,j}$$

$$AD_y = \frac{d_{o,i}}{d_{o,1h}} - \frac{d_{o,j}}{d_{o,1h}} = A_{o,i} - A_{o,j}$$

wobei

$AS_o = A_{o,o} + A_{1,o}$	$AD_o = A_{o,o} - A_{1,o}$
$AS_{o,2} = A_{o,1} + A_{o,9}$	$AD_{o,2} = A_{o,1} - A_{o,9}$
.	.
.	.
.	.
$AS_{1,o} = 2\ A_{o,5}$	$AD_{1,o} = A_{o,5} - A_{o,5} = 0$

Zur leichteren Integrierung der resultierenden Funktion wird die Variable y für die transformierte relative Höhenreihe eingeführt, wobei

$Y = 2x$ und infolgedessen wenn $x = o,5$ $y = 1,o$ ist. Die transformierte Schaftform wird dann durch eine Funktionsserie ausgeglichen (vgl. PELLICO NETO 1979).

Zur Darstellung der Schaftform von Fichte (Picea excelsea), Kiefer (Pinus sylvestris), Tanne (Abies alba) im Waldviertel (Österreich) sowie Pinus taeda (Südbrasilien) untersucht SILVA (1976) zwanzig aus der Literatur entnommene Modelle.

Nach HRADETZKY (1981) eignet sich die Spline-Funktion unter anderen Anwendungsmöglichkeiten auch zur Untersuchung der Schaftform einzelner Bäume. Diese Funktion ist ein Polynom dritten Grades mit folgender Form:

$$\varphi_k (X) = A_k (X - X_k)^3 + B_k (X-X_k)^2 + C_k (X-X_k) + D_k$$

wobei

K	die Werte 1, 2, usw. bis l
l	den Wert der Intervallgrenze
X_k	die Intervallgrenze
A_k, B_k, C_k, D_k	die Parameter

bedeuten.

SCHÖPFER (1966) wendet zur Beschreibung der Schaftform ein Polynom vierten Grades. PETERS (1971) und HOSOKAWA (1976) ein Polynom fünften Grades an. In diesen Funktionen sind das Verhältnis zwischen prozentualem Durchmesser und Durchmesser bei o,9 der Gesamthöhe die abhängige Variable, das Verhältnis zwischen prozentualer Höhe und Gesamthöhe die unabhängige Variable.

E r g e b n i s s e

Für die Untersuchung der Schaftform von Pinus elliottii wurden die Daten der Stammkubierung verwendet (vgl. Kapitel 3.3.3). Die untersuchten Regressionsgleichungen zur Beschreibung der Schaftform sind in Tabelle 22 dargestellt und wurden zum Teil der Arbeit von SILVA (1976) entnommen. Alle Gleichungen beschreiben die Entwicklung von relativen Durchmessern ($d_{i/d}$) in Abhängigkeit von der jeweiligen relativen Höhe ($h_{i/h}$). Die Verwendung von unechten Ausbauchungsreihen hat im Vergleich mit den echten Ausbauchungsreihen unter anderem den Vorzug, daß eine größere Zahl von Aufnahmepunkten am Schaft eine genauere Beschreibung der Schaftform ermöglicht. In der Tabelle 22 sind außerdem die Koeffizienten der Regressionen für Pinus elliottii sowie die statistischen Kennzahlen zur Gütebeurteilung angegeben.

Alle untersuchten Regressionsmodelle ermöglichen eine gute Beschreibung der Schaftform von Pinus elliottii. Mehr oder weniger problematisch bei allen Gleichungen sind aber Über- bzw. Unterschätzungen an der Basis bzw. an der Spitze der Bäume.

In der weiteren Untersuchung - Sortierung von einzelnen Bäumen bzw. von Beständen - wird die Regressionsgleichung Nummer 6 verwendet.

Tab. 22

Regressionsgleichungen zur Bestimmung der Schaftform von Pinus elliottii mit Koeffizienten und statistischen Kennzahlen

Nr. der Glg.	Formel der Regression	Autor	Koeffizienten b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	R^2	S_{yx}	F	DW
1	$d_i^2/d^2 = b_0 + b_1\, h_i/h + b_2\, h_i^2/h^2$	MUNRO (1968)	1,341262	-2,179274	0,812836	-	-	-	0,8919	0,1441	8609,59	1,1157
2	$\ln (d_i/d) = b_0 + b_1 \ln \{(h - h_i)/h\}$	ANONYM	0,111733	0,673023	-	-	-	-	0,9297	0,1643	27600,24	0,8528
3	$d_i^2/d^2 = b_0 + b_1 \{h_i/(h-1)\} + b_2 \{h_i^2/(h^2-1)\}$	KOZAK et al. (1969)	1,340019	-2,013006	0,805153	-	-	-	0,8910	0,1447	8533,37	1,1055
4	$d_i/d = b_0 + b_1 \{h_i/(h-1,3)\}$	MUNRO (1966)	1,173460	-0,930884	-	-	-	-	0,9256	0,0847	25992,17	0,7886
5	$\ln (d_i/d) = b_0 + b_1 \ln \{(h - h_i)/h\} + b_2 \ln^2 \{(h - h_i)/h\}$	SILVA und SIERRA (1975)	0,157048	0,789682	3,707385	-	-	-	0,9345	0,1585	14896,95	0,7284
6	$d_i/d = b_0 + b_1(h_i/h) + b_2(h_i/h)^2 + b_3(h_i/h)^3 + b_4(h_i/h)^4 + b_5(h_i/h)^5$	-	1,268899	-4,435297	19,383800	-40,180920	35,964690	-11,952720	0,9653	0,0579	11591,83	0,7055

Symbole: b_0, b_1, b_2 ...= Koeffizienten der Gleichung

d_i = Durchmesser in i Meter Höhe

h_i = Höhe in i Meter Höhe

S_{yx} = Standardresidualfehler

DW = Index nach DURBIN-WATSON

d = Durchmesser in 1,30 m Höhe

h = Höhe in Meter

R^2 = Bestimmtheitsmaß

F = F-Wert

Die Gleichungen 1, 3 und 5 haben eine im Vergleich mit der Veröffentlichung abgewandelte Form.

Zwar weist das einfachere Modell 5 ähnlich gute statistische Kennwerte auf, Modell 6 erbringt aber eine für Sortierungs- und Bewertungsprobleme bedeutsame, genauere Beschreibung der Stammform an der Basis des Stammes. Die Funktion lautet:

$$d_{i/d} = b_o+b_1(h_{i/h})+b_2(h_{i/h})^2+b_3(h_{i/h})^3+b_4(h_{i/h})^4+b_5(h_{i/h})^5$$

wobei

d_i	Durchmesser des Stammes in der Höhe i
d	Durchmesser in 1,30 m Höhe
h_i	Höhe i
h	Gesamthöhe
b_o, b_1, b_2...	Koeffizienten

bedeuten.

In Abbildung 12 ist die so ermittelte durchschnittliche Schaftkurve von Pinus elliottii dargestellt. Im Vergleich z.B. zur Schaftkurve von Araucaria angustifolia (SCHNEIDER 1984) ist diese Schaftkurve durch einen mehr kegelförmigen Verlauf im oberen Drittel charakterisiert.

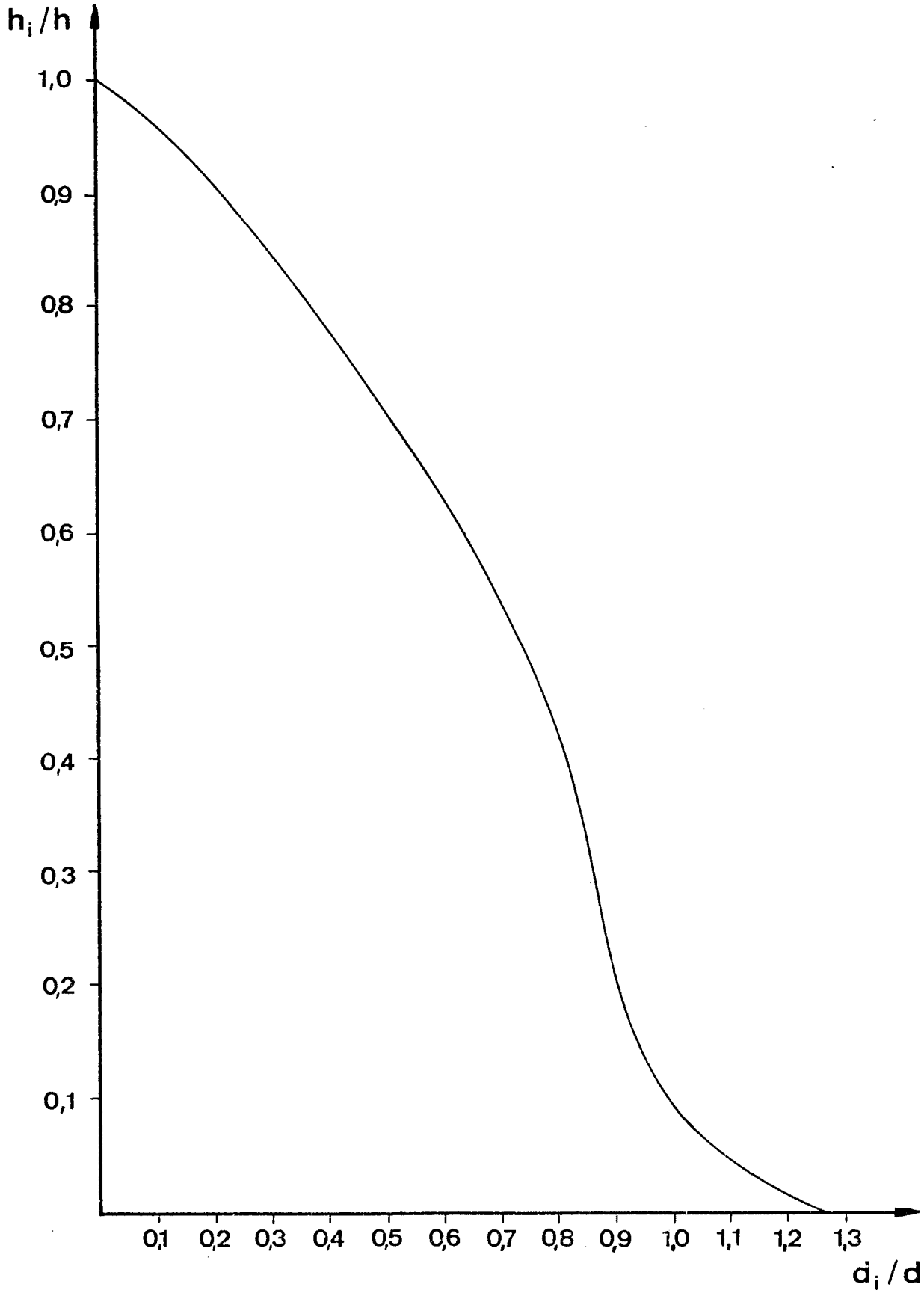


Abb. 12:

Die Schaftform von Pinus elliottii - Herleitung im Text erläutert

Um die Genauigkeit der Beschreibung der Schaftform als Grundlage für Sortentafeln zu verbessern, wurde anschließend eine Stratifizierung der Ausgangsdaten in drei Straten unterschiedlicher Durchmesserklassen vorgenommen und für diese Klassen getrennt Regressionsgleichungen des Modells 6 berechnet.
Die Koeffizienten dieser Regressionen sowie die zugehörenden statistischen Kennzahlen sind in Tabelle 23 angegeben. Dieses Verfahren führt aufgrund verringerter Streuung der Daten in den Straten zu einer weiteren Verbesserung der Beschreibung der Schaftform, insbesondere in den unteren Schaftbereichen.

4.10.2 Die Bestandessortentafel

Das Integrationsverfahren zur Volumenbestimmung

PETERS (1971) beschreibt am Beispiel eines Massentafelmodells für Araucaria araucana des Integrationsverfahrens, mit dem ausgehend von einer Schaftform - Regression fünften Grades das absolute oder relative Stammvolumen bestimmt werden kann. Die Schaftform wird durch folgendes Polynom fünften Grades beschrieben:

$$d_{i/d} = b_o + b_1(h_{i/h}) + b_2(h_{i/h})^2 + b_3(h_{i/h})^3 + b_4(h_{i/h})^4 + b_5(h_{i/h})^5;$$

Durch Multiplikation mit d entsteht

$$y = b_o \cdot d + \frac{b_1 \cdot d \cdot h_i}{h} + \frac{b_2 \cdot d \cdot h_i^2}{h^2} + \frac{b_3 \cdot d \cdot h_i^3}{h^3} + \frac{b_4 \cdot d \cdot h_i^4}{h^4} + \frac{b_5 \cdot d \cdot h_i^5}{h^5}$$

wobei

$$y = d_i$$

bedeutet.
Als neue Koeffizienten werden eingesetzt:

$$A_o = b_o \cdot d; \qquad A_3 = \frac{b_3 \cdot d}{h^3};$$

$$A_1 = \frac{b_1 \cdot d}{h}; \qquad A_4 = \frac{b_4 \cdot d}{h^4};$$

$$A_2 = \frac{b_2 \cdot d}{h^2}; \qquad A_5 = \frac{b_5 \cdot d}{h^5};$$

Tab. 23

Koeffizienten und statistische Kennzahlen der Regression Nr. 5 zur Bestimmung der Schaftform von Pinus elliottii (vgl. Tab. 22)

abhängige Variable	BHD Klasse	Koeffizienten						R^2	S_{yx}	F	DW
		b_o	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5				
d_i/d	8 - 18	1,296683	-4,584812	19,660690	-41,349880	38,512230	-13,461070	0,9670	0,0560	3393,23	0,7298
	18 - 28	1,270446	-4,608008	20,743760	-43,674550	39,795590	-13,490640	0,9647	0,0579	4708,26	0,7875
	> 28	1,238461	-4,024826	17,138200	-34,204540	28,457870	- 8,570800	0,9762	0,0492	5179,31	0,7842

Symbole: vgl. Tab. 22

Es ergibt sich folgende Gleichung der absoluten Schaftkurve:

$$y = A_o + A_1 h_i + A_2 h_i^2 + A_3 h_i^3 + A_4 h_i^4 + A_5 h_i^5;$$

Das absolute Volumen des Stammabschnittes von Ø (null) bis zur Höhe h_i bestimmt sich als Integral:

$$V = K \cdot \int_0^{h_i} y^2 \quad d_{h_i}$$

wobei

K	¶/4
h_i	Höhe i
y	obige Gleichung

bedeuten.

Es ergibt sich:

$$V = K \cdot \int_0^{h_i} (A_o + A_1 h_i + A_2 h_i^2 + A_3 h_i^3 + A_4 h_i^4 + A_5 h_i^5)^2 \, d_{h_i} \; ;$$

$$V = K \cdot \Big[(A_o^2 h_i + \frac{A_1^2}{3} h_i^3 + \frac{A_2^2}{5} h_i^5 + \frac{A_3^2}{7} h_i^7 + \frac{A_4^2}{9} h_i^9 + \frac{A_5^2}{11} h_i^{11} + A_o A_1 h_i^2 +$$

$$\frac{A_o A_2}{3} h_i^3 + \frac{A_o A_3}{2} h_i^4 + \frac{2A_o A_4}{5} h_i^5 + \frac{A_o A_5}{3} h_i^6 + \frac{A_1 A_2}{2} h_i^4 +$$

$$\frac{2A_1 A_3}{5} h_i^5 + \frac{A_1 A_4}{3} h_i^6 + \frac{2A_1 A_5}{7} h_i^7 + \frac{A_2 A_3}{3} h_i^6 + \frac{2A_2 A_4}{7} h_i^7 +$$

$$\frac{A_2 A_5}{4} h_i^8 + \frac{A_3 A_4}{4} h_i^8 + \frac{2A_3 A_5}{9} h_i^9 + \frac{A_4 A_5}{5} h_i^{10}) \Big]$$

Das Volumen des gesamten Stammes kann mit dieser Formel bestimmt werden, indem h statt h_i eingesetzt wird ($h_i = h$).
Die Bestimmung des Volumens von Stammabschnitten, wie es für die Sortierung notwendig ist, erfolgt durch Teilintegration, wobei zwei Fälle zu unterscheiden sind:

a) der Stammabschnitt beginnt an der Basis des Stammes und endet bei der Höhe h_1. Die Formel lautet:

$$V_t = K \cdot \int_0^{h_1} y^2 \, d_{h_1}$$

b) der Stammabschnitt beginnt in der Höhe h_1 und endet bei der Höhe h_2. Die Formel lautet:

$$V_t = K \cdot \left(\int_0^{h_2} y^2 \, d_{h_2} - \int_0^{h_1} y^2 \, d_{h_1} \right)$$

wobei

V_t	Volumen des Stammabschnitts
h_1, h_2	Höhen am Anfang bzw. Ende des Stammabschnitts (übrige Symbole wie oben)

bedeuten.

Die Sortimente

In der Sortentafel werden drei Sortimente unterschieden; diese wurden durch Absatzanalysen in neun Forstbetrieben in Südbrasilien ermittelt:

a) Sägeholz (SER): Holz mit einem Durchmesser mit Rinde von 18 cm und mehr,

b) Industrieholz (IND) für die Zellulose- und Spanplatten-industrie: Holz mit einem Durchmesser zwischen 8 und 18 cm,

c) Brenn-, Holzkohle- und Abfallholz (RES): Holz mit einem Durchmesser mit Rinde, der kleiner als 8 cm ist.

Die Ernteverluste (PER) wurden kalkuliert, indem einheitlich unterstellt wurde, daß bei der Fällung ein Stock von 15 cm Höhe im Wald verbleibt.

Für die praktische Anwendung im Forstbetrieb sind Sortentafeln zweckmäßig, die die Sortimente wahlweise in Baumholz mit oder ohne Rinde angeben. Messungen von Rindenstärken erfolgen im Zusammenhang mit der Stammkubierung (vgl. Kapitel 3.3.3). Von einer Reihe untersuchter Regressionsgleichungen erwies sich die Regression von PRODAN (1968) am geeignetsten, das Rindenprozent in Abhängigkeit vom Brusthöhendurchmesser zu beschreiben. Die Formel lautet:

$$P = d^2 / (- 10{,}9465 + 6{,}2205\ d + 0{,}0928\ d^2)$$

wobei

P Rindenprozent

d Brusthöhendurchmesser

bedeuten.

Die Regression hat ein Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,74 und einen Standardresidualfehler S_{yx} von 3,25.

In Abbildung 13 sind beispielhaft die Sortenentwicklung der Bestandesmittelstämme für den verbleibenden bzw. den ausscheidenden Bestand von Pinus elliottii der Höhenbonität 28 dargestellt.

Die Stammzahlverteilung auf Durchmesserstufen nach der Methode von PRODAN (1953)

Zur Konstruktion von Bestandessortentafeln ist über die Aussage der Ertragstafel hinausgehend die Kenntnis der Verteilung der Stammzahl bzw. des Vorrats auf Durchmesserstufen erforderlich.

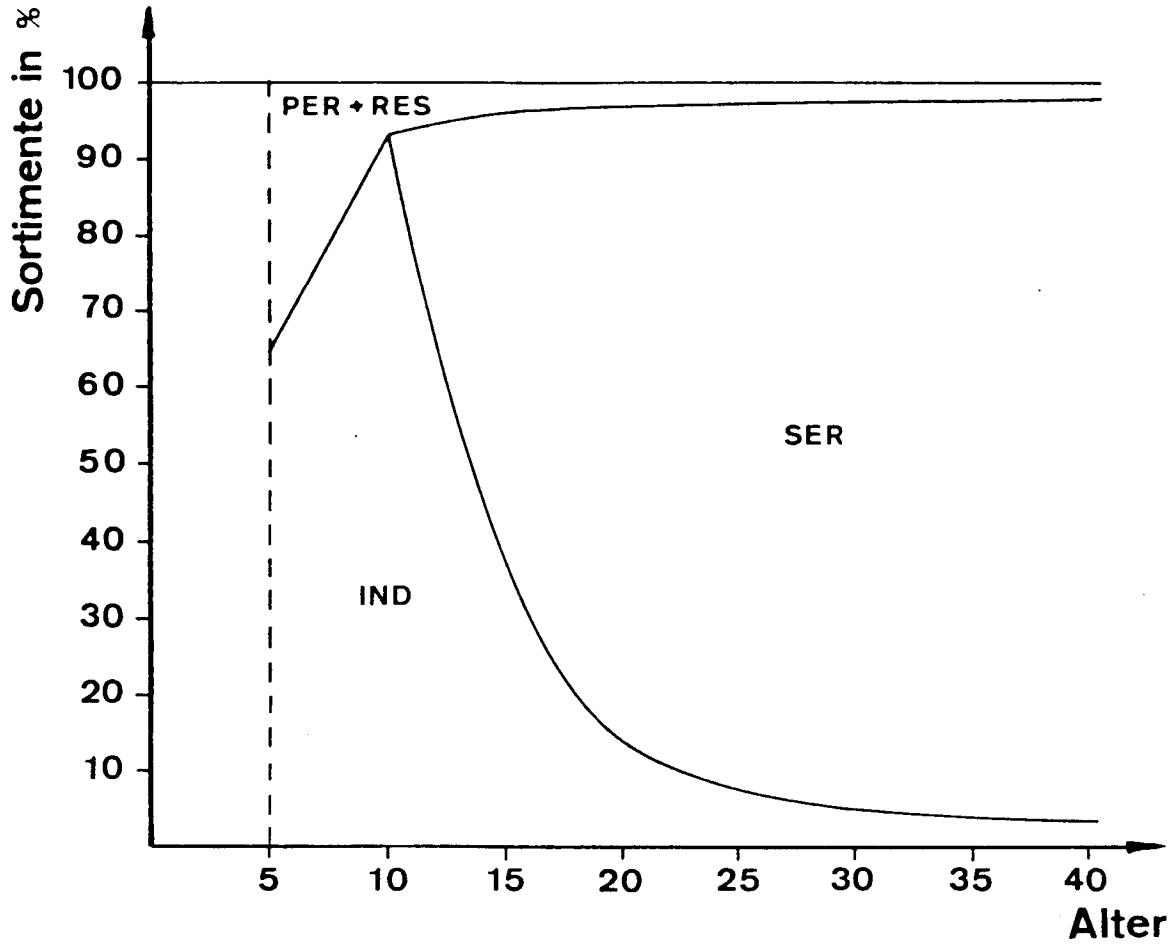
Auf PRODAN (1953) geht ein Verfahren zurück, mit dem ausgehend von dem Mitteldurchmesser und der zugehörenden Standardabweichung eines Bestandes bestimmten Alters und bestimmter Bonität die relative Verteilung der Stammzahlen bzw. des Vorrats auf Durchmesserstufen bestimmt werden kann.

Die Form der Häufigkeitsverteilung kann durch eine Reihe von Faktoren beeinflußt sein: dem Bestandesalter, der Bonität, der Flächengröße des Bestandes, der Art der Bestandesbegründung, der Bestandesbehandlung, der Baumart und vieles mehr. Für gleichaltrige Bestände mit Lichtbaumarten ist eine Verteilung mit mehr oder weniger stark ausgeprägter linksseitiger Asymmetrie charakteristisch (PRODAN 1953).

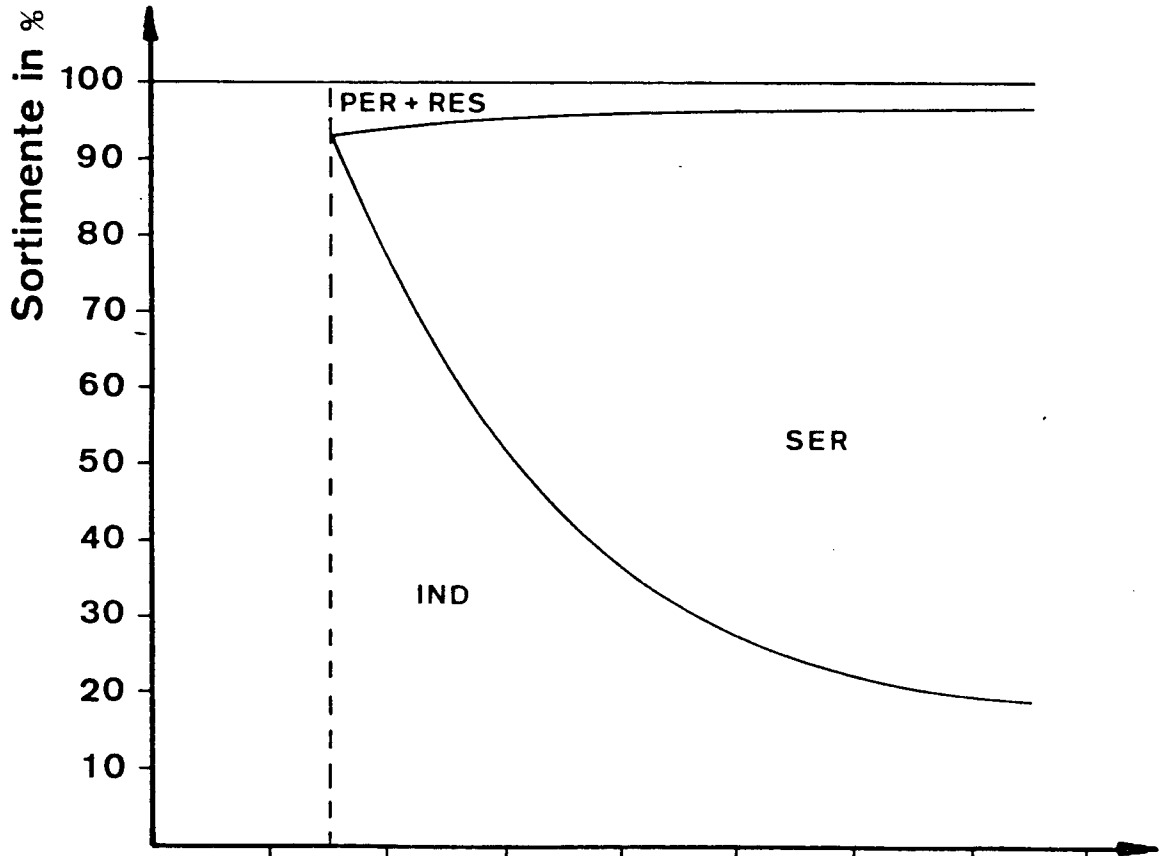
Abb. 13:

Sortimentsentwicklung des Mittelstammes des verbleibenden bzw. ausscheidenden Bestandes von Pinus elliottii in Abhängigkeit vom Alter (Höhenbonität 28) - Definitionen der Sortimente siehe Kap 4.10.2, S. 106

a) Verbleibender Bestand



b) Ausscheidender Bestand



Die Häufigkeitsverteilung kann beschrieben werden mit der Gleichung der GAUSS'schen Normalverteilungskurve:

$$h = \frac{1}{S\sqrt{2\cdot\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X-A}{S}\right)^2}$$

wobei

h	Verteilungsdichte in relativen Zahlen
x	Durchmesserwert
A	arithmetische Mittel der Durchmesserwerte
S	Standardabweichung des Durchmessers
e=2,7182	Basis des natürlichen Logarithmus

bedeuten.

Die Standardabweichung kann bestimmt werden durch folgende Gleichung:

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma n_i \ (d - A)^2}{N}}$$

wobei

N	Kollektivumfang
d	Durchmesserstufe
n_i	Stufenhäufigkeiten in den Stufen

bedeuten.

Die Maximalordinate (h_{max}) der Häufigkeitsverteilung kann aus der Gleichung der Normalverteilungskurve leicht berechnet werden:

$$h_{max} = \frac{b}{S \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}}$$

wobei

b	Stufenbreite

bedeutet.

PRODAN's Untersuchungen aus dem Jahr 1953 stützen sich auf Untersuchungsmaterial verschiedener Baumarten sowie verschiedener langjährig beobachteter Versuchsflächen. Die dabei benutzte A-Funktion von CHARLIER besteht aus mehreren Gliedern:

$$h = \varphi(X) + \beta_3 \varphi^{III}(X) + \beta_4 \varphi^{IV}(X) + \ldots.$$

Das erste Glied $\varphi(x)$ stellt eine symmetrische GAUSS'sche Verteilungskurve dar, die anderen Glieder berücksichtigen die Asymmetrie von der Normalverteilung. Vorteilhaft war der Umstand, daß für die Darstellung der Stammzahlverteilungsreihen nur die ersten zwei Glieder der CHARLIER'schen A-Reihe berücksichtigt werden müssen.

$$h = \varphi(X) + \beta_3 \varphi^{III}(X)$$

wobei

$\varphi(x)$ GAUSS'sche Normalkurve

$\varphi^{III}(x)$ 3. Ableitung von $\varphi(x)$ und

β_3 sogenannter CHARLIER'sche Asymmetriekoeffizient

bedeuten.

Dieser Koeffizient kann aus einer vorliegenden Verteilung berechnet werden nach der Formel:

$$\beta_3 = - \frac{M_3}{6 \cdot S^3}$$

wobei

M_3 sogenanntes Moment dritten Grades der Verteilung

bedeutet.

Mit dieser Methode hat PRODAN 1953 eine Reihe von Tabellen entwickelt, die die relative Häufigkeitsverteilung der Stammzahl bzw. des Volumens auf Durchmesserklassen wiedergeben.

Grundlagen für die Konstruktion der im Anfang wiedergegebenen Bestandessortentafeln (Anhang 13) sind das beschriebene Verfahren zur Bestimmung der Schaftform, das Integrationsverfahren zur Bestimmung der Sortimentsanteile am Mittelstamm der in der Ertragstafel nach Bonität und Alter unterschiedenen Bestände sowie das von PRODAN (1953) beschriebene Verfahren zur Bestimmung der Stammzahl- und Massenverteilung von Beständen auf Durchmesserklassen.

Der Bestandesmitteldurchmesser (d) wurde dabei durch eine lineare Funktion aus dem Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (dg)

bestimmt. Die Funktion lautet:

$$d = -0{,}0690 + 0{,}9754\ dg$$

Die Regression weist ein Bestimmtheitsmaß R^2 von o,99 und einen Standardresidualfehler S_{yx} von 0,3469 auf.

Die Standardabweichung (S) um den Mitteldurchmesser wurde den Probeflächen der Inventur, unterstützt durch die Daten eines 37jährigen Pinus elliottii-Bestandes (Estação Experimental de Silvicultura de Boca do Monte, Santa Maria), entnommen.

Der Punkt der maximalen Krümmung der Verteilungskurve (% h max) wurde mit folgender Gleichung bestimmt:

$$\%\ h\ max = \frac{b}{S\sqrt{2\pi}} \cdot 100$$

wobei

b Breite der Durchmesserstufen (hier 2 cm)

S Standardabweichung des Durchmessers

bedeuten.

Die Maximalordinate (% h max) der Normalkurve wurde mit folgender Regression als Funktion des Bestandesmitteldurchmessers bestimmt:

$$\%\ h\ max = 26{,}2470 - 0{,}2323\ d$$

Das Bestimmtheitsmaß dieser Regression R^2 ist 0,58, der Standardresidualfehler S_{yx} 1,9653.

Mit dem so ermittelten Wert % h max ist es möglich, die von PRODAN (1953) veröffentlichte Übersichten zur Herleitung der relativen Häufigkeiten der Massen auf Durchmesserstufen (u.U. mit Interpolation) anzuwenden.

Die Bestandessortentafeln wurden nach Bonitäten getrennt berechnet. Dem Aufbau der Ertragstafel entsprechend werden Angaben zur Sortimentsgliederung sowohl für den verbleibenden als auch für den ausscheidenden Bestand gemacht.

In einem ersten Rechenschritt wurde in 5-Jahres-Stufen, ausgehend von den Angaben der Ertragstafel, der Mitteldurchmesser und die Massenverteilung auf die Durchmesserstufen berechnet. Mit Hilfe der hypsometrischen Beziehung wurden sodann die Höhen für die jeweiligen Mittelstämme der Durchmesserklassen bzw. die Volumina, mit denen die Durchmesserklassen besetzt sind, errechnet. Die Schaftformbestimmung sowie die Sortierungsvorschriften (Definitionen siehe Seite 104)

ermöglichten sodann die Bestimmung der Sortimentsgliederung des verbleibenden bzw. ausscheidenden Bestandes. Zur Veranschaulichung dieses Rechenschrittes sind in Anhang 12 für die Bonität 28 beispielhaft die Sortimentsgliederung des 20jährigen Pinus-Bestandes (verbleibender Bestand) sowie die Sortimentsgliederung des ausscheidenen Bestandes der Durchforstungsperiode von Alter 20 bis Alter 25 angegeben. Diese Tabellen geben für ein bestimmtes Alter nach Durchmesserstufen gegliedert sowie in einer Summenzeile zusammengefaßt die Sortimentsgliederung eines Bestandes bestimmten Alters, der in seinem Aufbau der Ertragstafel entspricht, detailliert wieder.
Die Bestandessortentafeln, wie sie in Anhang 13 angegeben sind, wurden in einem zweiten Rechenschritt durch Zusammenfassung der jeweiligen Summenzeilen (Sortimentsgliederung des Bestandes in einem bestimmten Alter nach Sorten) aufgebaut. Sie geben die zeitliche Entwicklung der Sortimentsgliederung der Bestände getrennt nach ausscheidendem und verbleibendem Bestand an. Eingangsgrößen sind die Bonität und das Alter des Bestandes. Die Angaben des Mitteldurchmessers und der Mittelhöhe in der Bestandessortentafel sollen nochmals darauf hinweisen, daß diese Hilfsmittel streng genommen nur für Bestände gelten, deren Bestandesaufbau den Angaben der Ertragstafel entsprechen.

4.11 Betriebswirtschaftliche Grundlagen der Forsteinrichtung

4.11.1 Einführung

Nach SPEIDEL (1972) ist die Forsteinrichtung "... als mittelfristige wirtschaftliche Planung im Forstbetrieb ..." definiert. Neben mehr waldbaulichen, ertragskundlichen und/oder holzmeßkundlichen Inventur-, Kontroll- und Planungsaufgaben sind immer auch ökonomische Überlegungen im engeren Sinne erforderlich, um den Forstbetrieb dem Zielsystem entsprechend in die Zukunft zu"steuern". SPEIDEL (1972) stellt die vielfältigen betriebswirtschaftlichen Fragestellungen dar, die bei der Forsteinrichtung auftreten können, wie zum Beispiel

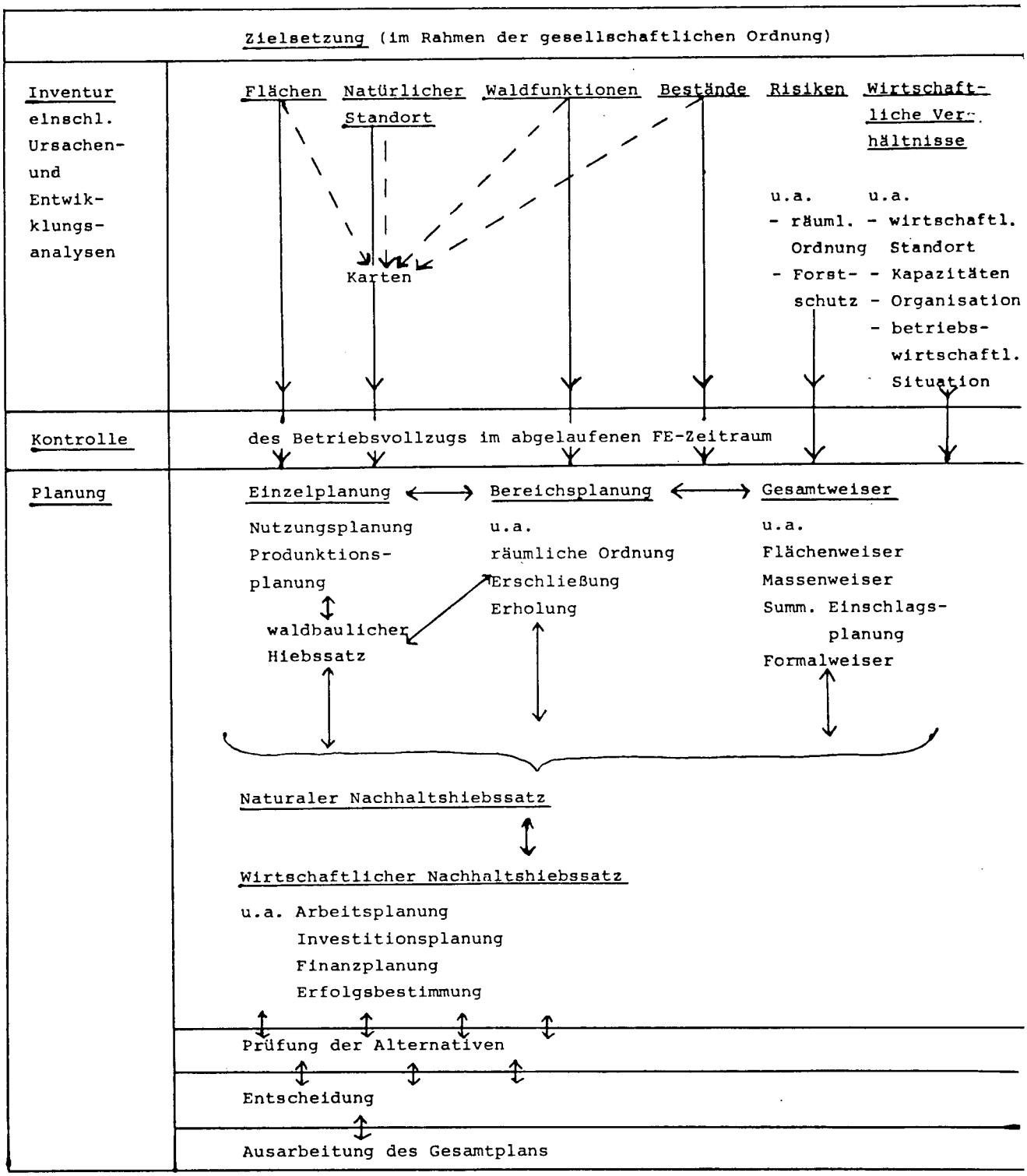
Bestimmung der Umtriebszeit, Hiebsreifeanalysen, Intensitätsüberlegungen, Investitionsplanung, Sicherung der mittelfristigen Liquidität, Ertragsentwicklung und vieles mehr. Die Abbildung 14 zeigt im Schema den Ablauf einer Forsteinrichtung und vereinfachend wesentliche Zusammenhänge zwischen waldbaulichen, ertragskundlichen, holzmeßkundlichen und betriebswirtschaftlichen Teilaufgaben der Forsteinrichtung.

Im folgenden werden aufbauend auf den ertragskundlichen Grundlagen betriebswirtschaftliche Entscheidungshilfen für die Forsteinrichtung in Forstbetrieben mit Pinus elliottii-Beständen vermittelt.

4.11.2 Erforderliche Informationen

Für betriebswirtschaftliche Fragestellungen im Rahmen der Forsteinrichtung sind naturale und ökonomische Informationen erforderlich. Die naturalen Informationen beschreiben die biologische Produktion von Einzelbäumen, Beständen und Betriebsklassen. Sie sind im einzelnen in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben.
Die ökonomischen Informationen beschreiben den Produktionsprozeß in Wertgrößen nach Einnahmen und Ausgaben, Ertrag und Aufwand sowie Kosten und Leistung (SPEIDEL 1984). Allen drei Betrachtungsweisen kommt in der Forsteinrichtung Bedeutung zu (SPEIDEL 1972).
Die Bestimmung der Umtriebszeit nach ökonomischen Kriterien sowie die Waldbewertung sind in wichtigen Teilen Bestandteil der Kosten- und Leistungsrechnung bzw. der Erfolgsrechnung. Für diese Arbeit wurden daher in neun Forstbetrieben Südbrasiliens Wirtschaftsdaten über die Erlöse und Kosten der forstlichen Produktion von Pinus elliottii erhoben. Dabei ist zu berücksichtigen, daß wegen der ungenügenden Qualität der Buchführungssysteme viele Informationen nur ungenau, zum Teil zu wenig detailliert vorliegen. Wegen der Dynamik der Volkswirtschaft Südbrasiliens (insbesondere die Geldentwertung, aber auch zum Beispiel Veränderungen der Sortierung u.a.) haben die erhobenen Daten streng genommen nur Gültigkeit für den Zeitraum ihrer Erhebung. Es wird aber davon ausgegangen, daß die absoluten Größen von Kosten und Erlösen zwar einem raschen Wandel unterliegen, die Wertrelationen aber über einen längeren Zeitraum erhalten bleiben.

Abb. 14 Ablauf der Forsteinrichtung*



* Nach OESTEN: Forsteinrichtung-Vorlesungsunterlagen, Forstwissenschaftliche Fakultät, Freiburg, 1983

SPEIDEL (1984) und MATTHIES (1966) empfehlen für Kostenanalysen folgende Gliederung der Gesamtkosten in Kostenarten bzw. Kostenstellen (vgl. HOSOKAWA 1976):

Kostenarten:

1. Arbeitskosten
   - Lohnkosten (einschließlich Lohnnebenkosten)
   - Gehaltskosten (einschließlich Gehaltsnebenkosten)
   - Unternehmerlohn
2. Abschreibung
3. Materialkosten
   - Materialkosten i.e.S.
   - Betriebsstoffkosten
   - Energiekosten
4. Fremdkosten
   - Arbeitsleistungen
   - Versicherungskosten
   - Honorare
   - sonstige Kosten
5. Zinskosten
6. Steuerkosten (Kosten der Allgemeinheit)
7. Risikokosten
   - Anlagewagnis
   - Beständewagnis
   - Gewährleistungswagnis
   - Absatzwagnis
   - Mehrkostenwagnis
   - Entwicklungswagnis

Kostenstellen:

1. Kulturkosten
   - Bodenvorbereitung
   - Pflanzmaterial
   - Pflanzung
   - Nachbesserung
   - Jungwuchspflege
2. Verwaltungskosten im Sinne der Waldwertrechnung[1)]
3. Holzerntekosten
   - Holzeinschlag
   - Entastung
   - Entrindung
   - Rücken
   - Lagern

[1)] Es ist seit den Anfängen der Waldwertrechnung üblich, in den "Verwaltungskosten im Sinne der Waldwertrechnung" alle Kosten des Forstbetriebes mit Ausnahme der Kultur- und Holzerntekosten zusammenzufassen. Hiervon ist der sehr viel engere Begriff der "Verwaltungskosten im Sinne der Kostenrechnung" zu unterscheiden (SPEIDEL 1967).

Die erhobenen Wirtschaftsdaten genügen den mit obiger Kostengliederung gestellten Anforderungen nicht (vgl. Tabelle 24). Die Werte sind in ORTN (Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional) vom Juni 1983 angegeben. Die Mittelwerte (letzte Spalte der Tabelle 24) sind in die nachfolgenden Kalkulationen eingegangen.

4.11.3 Die Bewertung des Waldbodens und der Bestände[1)]
Der interne Zinsfuß und der Bodenerwartungswert

Der interne (effektive) Zinsfuß ist das Ergebnis der Produktion und wird bestimmt aus dem Verhältnis von Ertrag (bzw. Erlösen) zu investiertem Kapital (bzw. aufgebrachten Kosten). Er ist ein Maßstab für die Rentabilität der forstlichen Produktion und kann bei einer Reihe von innerbetrieblichen Bewertungsaufgaben im Rahmen der Forsteinrichtung bzw. der laufenden Betriebsführung als Entscheidungshilfe dienen, wie zum Beispiel bei Intensitätsüberlegungen, im Zusammenhang mit Bodenkäufen u.ä.. Der interne Zinsfuß kann für einzelne Bestände oder für ganze Betriebsklassen berechnet werden.
Die Berechnung für einen einzelnen Bestand kann mit der "Statischen Grundgleichung" erfolgen[2)]. Nach dieser Gleichung wird ein wirtschaftliches Gleichgewicht unterstellt, wenn die mit Zinseszinsen berechneten Erträge (Erlöse) und die mit Zinseszinsen berechneten Aufwendungen (Kosten) im Zeitpunkt der Umtriebszeit gleich groß sind, wenn also gilt:

$$A_u + D_a \cdot 1{,}0p^{u-a} + D_b \cdot 1{,}0p^{u-b} + \ldots = c \cdot 1{,}0p^{u} + (B+V)(1{,}0p^{u}-1)$$

wobei

A_u erntekostenfreier Abtriebserlös

D_a, D_b ... erntekostenfreie Durchforstungserlöse im Alter a, b ...

c Kulturkosten je Hektar

---

1) Die Darstellung der theoretischen Grundlagen erfolgt in Anlehnung an SPEIDEL (1966, 1967).

2) Die "Statische Grundgleichung" kann durch einfache Umformung aus der FAUSTMANN'schen Formel abgeleitet werden.

Tab. 24 Kosten und Erlöse von neun Forstbetrieben Südbrasiliens (in ORTN vom Juni 1980)

Ökonomische Informationen	Forstbetriebe									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ø
1. Kosten										
1.1 Verwaltungskosten im Sinne der Waldwertrechnung (pro ha und Jahr)		8,65	5,13		8,72			6,08		7,14
1.2 Kulturkosten (pro ha)	27,74		39,70	21,55	24,93	18,22	26,17	22,96	13,81	24,39
1.3 Holzerntekosten (pro m^3)	0,32			0,30			0,36	0,30		0,32
2. Erlöse für Holz von *Pinus elliottii* (pro m^3)										
2.1 Zopfstärke 4-8 cm	0,17	0,08		0,12		0,07	0,14	0,07	0,07	0,10
2.2 Zopfstärke 8-18 cm	0,70	0,53		0,62		0,22	0,21	0,59	0,46	0,49
2.3 Zopfstärke 18 cm	2,45	2,20				1,66	1,96	2,02	1,81	2,02
3. Bodenwerte (pro ha)										
3.1 Schlechte Bodenqualität	22,00									22,00
3.2 Sehr gute Bodenqualität	180,00									180,00

Tab. 25 Interner Zinsfuß für Pinus elliottii-Bestände unterschiedlicher Bonität

Bonität	Wert der Erträge im Alter u	Wert der Aufwendungen im Alter u	Differenz	Zinsfuß Pi
22	1194,9591	1194,2211	0,7380	5,08
24	1370,1992	1371,5518	-1,3526	5,11
26	1742,9205	1743,9943	-1,0739	5,50
28	2118,0256	2117,4545	0,5711	5,76
30	2708,0954	2708,3265	-0,2311	6,19
32	3140,0990	3143,0063	-2,9073	6,35
34	3910,7827	3916,2943	-5,5116	6,73

V Verwaltungskostenkapital je Hektar

v Verwaltungskosten je Jahr und Hektar

$$V = \frac{v}{0{,}0p}$$

B Bodenwert je Hektar

b Bodenrente je Jahr und Hektar

$$B = \frac{b}{0{,}0p}$$

p Zinsfuß

u Umtriebszeit in Jahren

bedeuten.

Der Lösungsweg für diese Gleichung ist ausführlich bei SPEIDEL (1967) beschrieben. Sämtliche Größen der Gleichung mit Ausnahme von p werden konstant gehalten, durch Iteration kann p graphisch oder rechnerisch näherungsweise bestimmt werden.

Bei den Modellberechnungen des internen Zinsfußes für Pinus elliottii-Bestände wurde von einheitlicher Bestockung jeweils gleicher Bonität ausgegangen. Als Erlöse und Kosten wurden die in Kapitel 4.11.2 mitgeteilten Wirtschaftsdaten von neun Forstbetrieben verwendet. Als Umtriebszeit wurden zunächst 40 Jahre unterstellt. Für B wurden Bodenverkehrswerte nach den Angaben der Forstbetriebe eingesetzt, wobei der Bonität 22 der Verkehrswert des am schlechtesten klassifizierten Standorts (22 ORTN) und der Bonität 34 der Verkehrswert des am besten klassifierten Standorts (180 ORTN) zugeordnet wurden. Die Bodenwerte der übrigen Bonitäten wurden mittels folgender linearer Funktion geschätzt:

$$B = -\ 267{,}6667 + 13{,}1667\ IS$$

wobei

IS Index der Höhenbonität

bedeutet.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen sind in Tabelle 25 angegeben. Der interne Zinsfuß von Pinus elliottii-Beständen variiert bei der genannten Erlös- und Kostensituation von 5,08 % bei der schlechtesten Bonität bis 6,73 % bei der besten Bonität. Eine Verkürzung der Umtriebszeit führt erwartungsgemäß zu einer deutlichen Erhöhung der internen Verzinsungen. In Tabelle 27 sind die internen Zinsfüße für Pinus elliottii-Bestände in Abhängigkeit von der Umtriebszeit und der Bonität angegeben. Wird

die Umtriebszeit auf 20 Jahre festgelegt, beträgt der interne Zinsfuß für die Bonität 22 beispielsweise 6,67 %, für die Bonität 34 9,85 %.

Der "Bodenertragswert" (synonym Bodenerwartungswert) wird nach der FAUSTMANN'schen Formel bestimmt. Er ist ein Maßstab für die Ertragsfähigkeit des Bodens. Da weitere Preisbestimmungsgründe neben der Ertragsfähigkeit Einfluß auf den Bodenverkehrswert haben können, ist häufig zu beobachten, daß zwischen den beiden Wertarten nur ein geringer oder gar kein Zusammenhang besteht (SPEIDEL 1967, PETRI 1971). Die Formel des Bodenertragswertes[1] lautet:

$$B = \frac{A_u + \Sigma D_x \cdot 1{,}0p^{u-x} + \ldots - c \cdot 1{,}0p^u - V(1{,}0p^u - 1)}{1{,}0p^u - 1}$$

(Symbole siehe oben)

Die Begründung für diese Formel und die Abhängigkeiten zwischen dem Bodenertragswert und der Umtriebszeit, den Kosten und Erlösen der forstlichen Produktion, der Bonität sowie dem kalkulatorischen Zinsfuß sind allgemeingültig bei SPEIDEL (1967) dargestellt.

In die Berechnung des Bodenertragswertes sind die gleichen Daten einzusetzen wie bei der Berechnung des internen Zinsfußes mit dem Unterschied, daß p als feste Größe als kalkulatorischer Zinsfuß in die Gleichung eingeht und B gesucht wird.

Wird in die Formel des Bodenertragswertes der interne Zinsfuß eingesetzt, ergibt sich ein B in Höhe der hier verwendeten Bodenverkehrswerte. Werden höhere kalkulatorische Zinsfüße als der interne Zinsfuß gefordert, liegen die ermittelten Bodenertragswerte unter den hier verwendeten Bodenverkehrswerten, werden geringere Zinsfüße als der interne Zinsfuß eingesetzt, steigen die Bodenertragswerte über die hier verwendeten Bodenverkehrswerte.

Die Berechnungsmethoden - Methode des internen Zinsfußes oder die Bestimmung des Bodenertragswertes - unterscheiden sich hinsichtlich der Annahmen, mit welchem Zinsfuß die Erträge wieder verzinslich angelegt werden können. Beide Methoden haben ihre Berechtigung als betriebliche Entscheidungshilfe und sollten je nach Bewertungszweck und Bewertungsobjekt angewendet werden.

---

[1] Von KÖNIG erstmals 1813 entwickelt, unabhängig davon von FAUSTMANN 1849 in der Literatur vorgestellt.

Die Bestandesbewertung

Die Bestandesbewertung erfolgt "klassischerweise" mit der Berechnung als Abtriebswert:

$$A_m = \sum_{x=1}^{x=n} m_x \, (p_x - w_x)$$

als Kostenwert:

$$HK_m = (B+V) \; (1{,}0p^m - 1) + c \cdot 1{,}0p^m + \ldots - (D_a \cdot 1{,}0p^{m-a} + \ldots)$$

oder als Erwartungswerte:

$$HE_m = \frac{A_u + D_a \cdot 1{,}0p^{u-a} + \ldots - (B+V) \; (1{,}0p^{u-m} - 1)}{1{,}0p^{u-m}}$$

wobei

m	Bestandesalter zum Bewertungszeitpunkt
m_x	Masse der Sorte x
p_x	Preis der Sorte x
w_x	Werbungskosten der Sorte x

(übrige Symbole wie oben)

bedeuten.

SPEIDEL (1967) führt den Nachweis, daß alle drei Bewertungsarten bei Unterstellung des internen Zinsfußes zu gleichen Ergebnissen führen, daß also die"klassischen" Formeln bei Verwendung des internen Zinsfußes dieselbe Wertentwicklung eines Bestandes beschreiben.

Die Ergebnisse der eigenen Modellrechnungen sind in Tabelle 26 wiedergegeben, wobei eine Umtriebszeit von 40 Jahren unterstellt wurde.- Die Verwaltungskosten wurden bei allen Bonitäten gleich groß gewählt, die Kulturkosten einheitlich mit 24,39 ORTN je Hektar angesetzt; die Bodenwerte (als Bodenverkehrswerte) sind in der Tabelle 26 nach Bonitäten differenziert angegeben. Abbildung 15 zeigt die Wertkurve für die Bonität 28. Die Wertentwicklung im Alter von 5 bis 15 Jahren entspricht einem konkaven Verlauf, beginnend mit dem Alter 15 wird sie bis zum Alter von 25 Jahren konvex, danach zeigt die Kurve einen starken Anstieg. Dieser Kurvenverlauf erklärt sich aus dem Verlauf

Tab. 26 Bestandeserwartungswerte von Pinus elliottii-Beständen nach Bonitäten (bei u=40 Jahre)

Bonität	Bodenwert in ORTN	Int. Zinsfuß	Alter in Jahren 5	10	15	20	25	30	35	40
22	22.00	5.08	77.1	144.1	149.0	179.2	230.3	300.4	404.5	546.1
24	48.33	5.11	84.3	152.5	181.8	210.7	266.0	346.3	466.8	633.4
26	74.67	5.50	94.5	161.2	182.2	220.3	279.2	376.6	520.2	720.3
28	101.00	5.76	105.0	171.0	202.5	236.5	301.8	414.3	582.6	819.6
30	127.33	6.19	117.9	185.1	205.2	233.3	304.6	432.9	626.8	905.3
32	153.67	6.35	128.8	190.8	218.7	243.1	322.3	464.4	683.4	998.8
34	180.00	6.73	143.3	203.3	212.1	234.0	319.8	479.9	729.0	1092.3

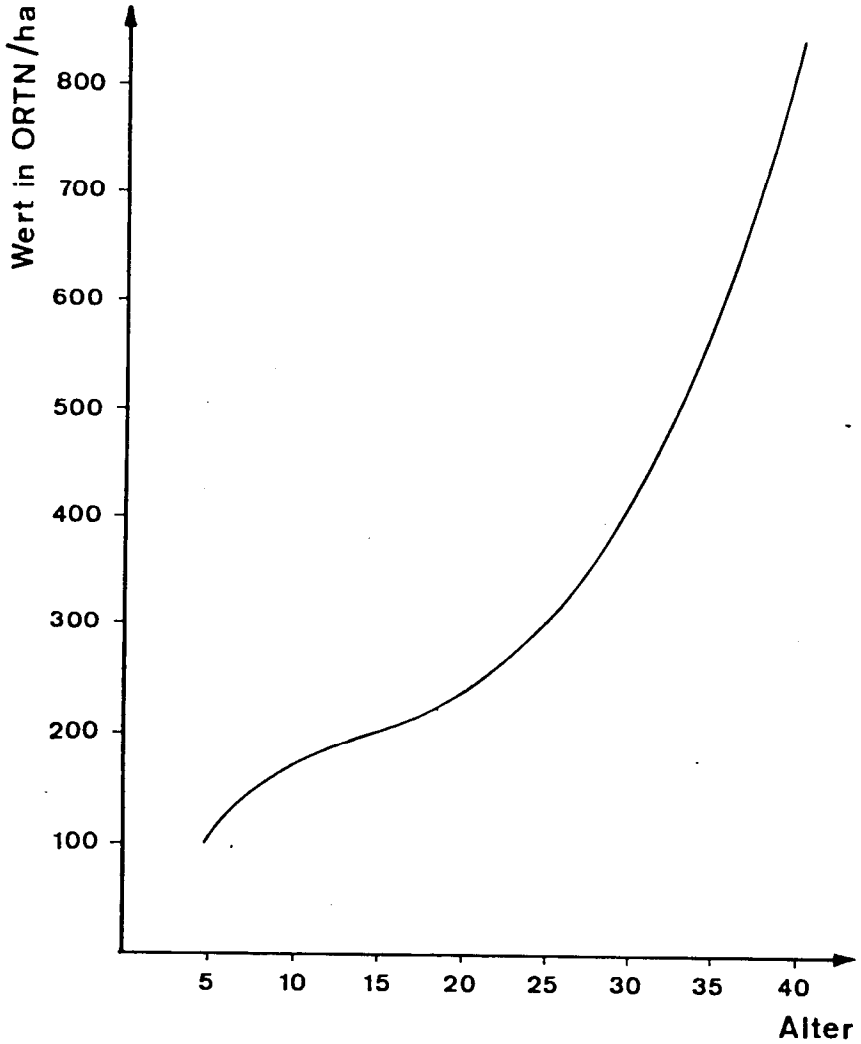


Abb. 15 Wertentwicklung eines Pinus elliottii-Bestandes (Bonität 28, Umtriebszeit u=40 Jahre)

des Bestandeswachstums, aus der Bewertung des Vorrats in Form von Sortimentserlösen, aus den Durchforstungen nach Art, Stärke und Turnus sowie aus der gewählten Umtriebszeit.

Näherungsverfahren zur Bestandesbewertung

Bei der Anwendung der "klassischen" Formeln treten in der Praxis häufig Probleme der Informationsbeschaffung auf - insbesondere die Wahl des internen Zinsfußes erweist sich oft als schwierig. Weitverbreitet werden daher in der Praxis Näherungsverfahren zur Bestandesbewertung angewendet, insbesondere die "BLUME'sche Formel" und die "Heeresformel"[1].

Die Näherungsverfahren verwenden in der Regel als Daten des Bewertungsobjektes den Abtriebswert im Alter u und die Kulturkosten, während die Wertentwicklung zwischen diesen beiden Werten mittels Alterswertfaktoren beschrieben wird. Diese Alterswertfaktoren werden an definierten Normbeständen mit Hilfe der "klassischen"Formeln gewonnen.

Die "BLUME'sche Formel" lautet:

$$H_i = \left[(A_u - c) \cdot f_i + c\right] \cdot B_o$$

wobei

H_i Bestandeswert im Alter i

A_u Abtriebswert im Alter u

c Kulturkosten

f_i Alterswertfaktor im Alter i und

B_o Bestockungsgrad

bedeuten.

Der Alterswertfaktor f_i ist definiert als

$$f_i = \frac{HE_m - c}{A_u - c}$$ und kann

Werte zwischen 0 und 1 annehmen.

---

[1] Die "BLUME'sche Formel" ist beispielsweise in den Waldwertermittlungsrichtlinien 1977 (WaldR 77) der Bundesrepublik Deutschland enthalten, die Anwendung der "Heeresformel" wird von SAGL (1976) vorgeschlagen.

Die "Heeresformel" lautet:

$$H_i = A_u \cdot f_i \cdot B_o \quad \text{(Symbole wie oben)},$$

wobei

$$f_i = \frac{HE_m}{A_u}$$ ist und ebenfalls Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann.

Die "Heeresformel" hat eine einfachere Form als die "BLUME'sche Formel" - in der Praxis kann ihre Anwendung tatsächlich aber dann komplizierter und ungenauer sein, wenn von den Normbeständen stark abweichende Bewertungstatbestände vorliegen und umfangreiche, unsichere Korrekturen erforderlich sind[1].

Im folgenden werden Anwendungsmöglichkeiten am Beispiel der "Heeresformel" diskutiert. Die Heeresformel findet deshalb Anwendung, weil die Kulturkosten von Pinus elliottii-Beständen an den Gesamtkosten und im Vergleich mit den Erlösen sehr gering sind und es tolerierbar scheint, sie "normiert" in die Bewertung eingehen zu lassen.

In Tabelle 27 sind Alterswertfaktoren getrennt nach Bonitäten und für unterschiedliche Umtriebszeiten angegeben, sie wurden mit den klassischen Formeln in folgender Weise ermittelt:

$$f_i = \frac{HE_i}{A_u}$$

Diese können bei praktischen Bewertungsproblemen in Pinus elliottii-Beständen näherungsweise direkt mit folgender Formel angewendet werden:

$$H_i = A_u \cdot f_i \cdot B_o \quad \text{(Symbole wie oben)}.$$

Wie bereits dargestellt, enthalten die Alterswertfaktoren implizit Grunddaten von "Normbeständen" wie Erlöse und Kosten der Produktion (insbesondere Kultur- und Verwaltungskosten), Bodenwerte, Bestandesbehandlung usw.. Die in den hier mitgeteilten Alterswertfaktoren enthaltenen Grunddaten entstammen der Ertragstafel, der Bestandessortentafel und der Erlös- und Kostensituation von neun brasilianischen Forstbetrieben, wie sie mit dieser Arbeit entwickelt wurden.

In den Fällen, in denen die wirkliche Umtriebszeit (u_w) niedriger als die unterstellte Umtriebszeit ist, wird in der Literatur als

---

[1] Dies ist der Grund, warum in der WaldR 77 die BLUME'sche Formel und nicht die Heeresformel (wie noch in der FORSTR 59 vorgesehen) enthalten ist.

Tab. 27 : Alterswertfaktoren für Pinus elliottii-Bestände für unterschiedliche Umtriebszeit und verschiedene Bonitäten

Umtriebszeit 20 Jahre

Bonität	Bodenwert	Intern. Zinsfuß	Alter 5	10	15	20	25	30	35	40
22	22.00	6.67	.3286	.6468	.7538	1.0000				
24	48.33	7.08	.2833	.5521	.7494	1.0000				
26	74.67	7.98	.2639	.5051	.6949	1.0000				
28	101.00	8.46	.2507	.4722	.6894	1.0000				
30	127.33	9.27	.2400	.4536	.6666	1.0000				
32	153.67	9.44	.2390	.4381	.6647	1.0000				
34	180.00	9.85	.2444	.4399	.6502	1.0000				

Umtriebszeit 25 Jahre

Bonität	Bodenwert	Intern. Zinsfuß	5	10	15	20	25	30	35	40
22	22.00	7.16	.2129	.4263	.5141	.7014	1.0000			
24	48.33	7.18	.1968	.3849	.5256	.7059	1.0000			
26	74.67	7.68	.1922	.3631	.4891	.6911	1.0000			
28	101.00	7.92	.1891	.3467	.4879	.6826	1.0000			
30	127.33	8.36	.1919	.3448	.4727	.6651	1.0000			
32	153.67	8.55	.1887	.3275	.4651	.6552	1.0000			
34	180.00	8.91	.1939	.3276	.4463	.6396	1.0000			

Umtriebszeit 30 Jahre

Bonität	Bodenwert	Intern. Zinsfuß	5	10	15	20	25	30	35	40
22	22.00	6.18	.1912	.3706	.4167	.5370	.7304	1.0000		
24	48.33	6.51	.1635	.3121	.4087	.5252	.7182	1.0000		
26	74.67	6.90	.1614	.2944	.3742	.5028	.6966	1.0000		
28	101.00	7.11	.1599	.2809	.3726	.4912	.6870	1.0000		
30	127.33	7.57	.1602	.2749	.3520	.4642	.6674	1.0000		
32	153.67	7.70	.1602	.2627	.3471	.4539	.6610	1.0000		
34	180.00	8.07	.1634	.2595	.3243	.4300	.6431	1.0000		

Umtriebszeit 35 Jahre

Bonität	Bodenwert	Intern. Zinsfuß	5	10	15	20	25	30	35	40
22	22.00	5.65	.1601	.3051	.3296	.4112	.5449	.7282	1.0000	
24	48.33	5.69	.1493	.2761	.3426	.4154	.5428	.7269	1.0000	
26	74.67	6.18	.1422	.2505	.3007	.3838	.5092	.7081	1.0000	
28	101.00	6.39	.1410	.2381	.2981	.3701	.4944	.6978	1.0000	
30	127.33	6.84	.1417	.2323	.2769	.3400	.4664	.6794	1.0000	
32	153.67	6.97	.1418	.2205	.2712	.3280	.4559	.6712	1.0000	
34	180.00	7.34	.1445	.2163	.2472	.3006	.4300	.6542	1.0000	

Umtriebszeit 40 Jahre

Bonität	Bodenwert	Intern. Zinsfuß	5	10	15	20	25	30	35	40
22	22.00	5.00	.1411	.2639	.2728	.3282	.4226	.5501	.7407	1.0000
24	48.33	5.11	.1331	.2407	.2870	.3327	.4200	.5467	.7370	1.0000
26	74.67	5.50	.1312	.2230	.2530	.3059	.3876	.5229	.7221	1.0000
28	101.00	5.76	.1282	.2087	.2470	.2806	.3682	.5055	.7109	1.0000
30	127.33	6.19	.1302	.2044	.2267	.2577	.3364	.4781	.6924	1.0000
32	153.67	6.35	.1289	.1911	.2190	.2434	.3227	.4649	.6842	1.0000
34	180.00	6.73	.1312	.1862	.1942	.2142	.2927	.4394	.6675	1.0000

Korrekturfaktor $1/f_{uw}$ vorgeschlagen. Die Formel zur Bestandeswertbestimmung lautet dann:

$$H_i = A_u \cdot f_i \cdot \frac{1}{f_{uw}} \cdot B_o$$

Die Genauigkeit dieses Korrekturfaktors $1/f_{uw}$ wurde am Beispiel der Bonität 28 überprüft, in dem der "wirkliche" Alterswertfaktor mit dem korrigierten Alterswertfaktor verglichen wurde (vgl. Tabelle 28). Bei dieser wie in allen anderen gerechneten Umtriebszeiten wurde festgestellt, daß sich der Fehler der Korrektur umgekehrt proportional zur Abweichung zwischen den Umtriebszeiten verhält und daß der relative Fehler der Korrektur um so größer ist, je jünger die Bestände sind. Für die praktische Anwendung von Alterswertfaktorverfahren kann gefolgert werden, daß die Korrektur mit $1/f_{uw}$ bei Abweichungen von nicht mehr als 5 Jahren zwischen der wirklichen Umtriebszeit und der unterstellten Umtriebszeit durchaus möglich ist, während Korrekturen bei größeren Abweichungen jedoch zu großen Fehlern führen können. Es erscheint daher zweckmäßig bei der Veröffentlichung von Alterswertfaktoren verschiedene Bonitäten und verschiedene Umtriebszeiten als Eingangsgrößen vorzusehen.

4.11.4 Die Umtriebszeit

Einführung

Mit Umtriebszeit bezeichnet SPEIDEL (1984) die in Jahren bemessene planmäßige Produktionsdauer einer Holzart, einer Holzartengruppe oder eines Bestandestyps innerhalb der Betriebsklasse. Sie ist ein aus dem Zielsystem des Forstbetriebes abgeleitetes langfristiges Ziel. Die Bestimmung der optimalen Umtriebszeit ist Aufgabe der Forsteinrichtung, denn die Wahl der Umtriebszeit wirkt sich mittel- und langfristig auf nahezu alle Bereiche eines Forstbetriebes aus. Sie beeinflußt die Höhe und Wertigkeit des Vorrates, des Zuwachses sowie der Nutzungen. Dabei bestehen Zusammenhänge zwischen Arbeits- und Kapitalintensität ebenso wie zur Höhe des Risikos der Produktion, zu den Leistungen des Betriebes für die Volkswirtschaft und zur Rentabilität[1].

---

[1] Ausführlich bei SPEIDEL 1984, vgl. auch HUBER 1965.

Tab. 28 Vergleich des tatsächlichen Alterswertfaktors fi mit dem korrigierten Alterswertfaktor fi $\cdot \frac{1}{f_{uw}}$ am Beispiel der Bonität 28

Alter	Umtriebszeit in Jahren									
	40	35			30			25		
	$f_{t(40)}$	$f_{t(35)}$	f_K	Diff.	$f_{t(30)}$	f_K	Diff.	$f_{t(25)}$	f_K	Diff.
5	0,1282	0,1410	0,1803	0,0393 (21,8)	0,1599	0,2536	0,0937 (36,9)	0,1891	0,3482	0,1591 (45,7)
10	0,2087	0,2381	0,2936	0,0555 (18,9)	0,2809	0,4129	0,1320 (31,9)	0,3467	0,5668	0,2201 (38,8)
15	0,2470	0,2981	0,3474	0,0493 (14,2)	0,3786	0,4886	0,1160 (23,7)	0,4879	0,6708	0,1829 (27,3)
20	0,2886	0,3701	0,4059	0,0358 (8,8)	0,4912	0,5709	0,0797 (13,9)	0,6826	0,7838	0,1012 (12,9)
25	0,3682	0,4944	0,5179	0,0235 (4,5)	0,6870	0,7284	0,0414 (5,7)	1,0000	1,0000	0
30	0,5055	0,6978	0,7110	0,0132 (1,8)	1,0000	1,0000	0			
35	0,7109	1,0000	1,0000	0						
40	1,0000									
Diff.		-	-	0,2166	-	-	0,4628	-	-	0,6633

$f_{t(a)}$: tatsächlicher Alterswertfaktor, wie es sich für die Umtriebszeit a ergibt

f_K : Korrigierter Alterswertfaktor; Korrektur mit folgender Formel $f_K = f_{t(40)} \cdot \frac{1}{f_{uw}}$

Diff. : Differenz zwischen $f_{t(a)}$ und f_K absolut und in %

Diff. : Summe der absoluten Differenzen

Die Umtriebszeit ist ein aus dem Zielsystem des Forstbetriebes abzuleitendes Ziel. Für die Bestimmung der Umtriebszeit im Rahmen der Forsteinrichtung schlägt SPEIDEL (1984) folgendes pragmatisches Vorgehen vor:

Zunächst soll mit Modellkalkulationen rechnerisch die dem Zielsystem des Forstbetriebes angemessene Umtriebszeit ermittelt werden. Die rechnerischen Ergebnisse dienen als Entscheidungshilfen. In einem gutächtlichen Entscheidungsprozeß sind sodann die Auswirkungen der rechnerisch ermittelten Umtriebszeiten auf die wichtigsten Bereiche des Forstbetriebes zu prüfen. Als Prüfungskriterien schlägt SPEIDEL (1984) vor (ähnlich HUBER 1965):

1. Auswirkungen auf den DGZ_u
2. Sortenstruktur (Stammholz/Schichtholz; Stärke- und Güteklassen)
3. Auswirkungen auf die Holzwirtschaft
4. Altersklassenentwicklung und Produktionsrisiko
5. Voraussichtliche Änderungen des Durchschnittspreises und des Gesamtumsatzes
6. Auswirkungen auf die Kosten der Holzernte (Stück-Masse-Gesetz) Bestandesbegründung, Jungbestandspflege, Forstschutz usw.
7. Arbeitsintensität (Stunden pro Hektar), Mechanisierungsmöglichkeiten und Arbeitsproduktivität
8. Ertrag, Aufwand und Reinertrag
9. Kapitalintensität und Rentabilität
10. Liquidität des Betriebes

In die Entscheidung für eine Umtriebszeit sollen bei diesem pragmatischen Vorgehen möglichst alle Gesichtspunkte (Teilziele), die sich aus dem Zielsystem des Forstbetriebes ergeben, angemessen berücksichtigt werden.

Modellkalkulationen

SPEIDEL (1984) unterscheidet in systematischer Weise verschiedene Arten von technisch-biologischen, ökonomischen und sozial-ökonomischen Umtriebszeiten, die je nach Zielsystem des Forstbetriebes Gültigkeit haben, und stellt ihre rechnerische Bestimmung mittels Modellkalkulation vor (vgl. Tabelle 29).

Tab. 29 Wichtige Arten der Umtriebszeit (nach SPEIDEL 1984)

Arten	Definitionen	Formel
physische Umtriebszeit	bestimmt sich nach der "natürlichen" Reife des Bestandes (z.B. Fähigkeit zur Naturverjüngung, Verkernung des Holzes usw.)	
technische Umtriebszeit	Umtriebszeit, bei der eine bestimmte Sortenzusammensetzung erreicht wird	
Umtriebszeit des höchsten Massenertrags	entspricht dem Alter der Kulmination des durchschnittlichen Gesamtmassenzuwachses (maximale Erzeugung an Holzmasse)	$GWL_u/u \rightarrow max$
Umtriebszeit des höchsten Waldreinertrags	Produktionsdauer, bei der die maximale Differenz zwischen Ertrag und Aufwand je Jahr und ha erreicht wird (Zinskosten für Bestandeskapital werden nicht berücksichtigt)	$\frac{Au + \Sigma D - (c + u \cdot v)}{u} \rightarrow max$
Umtriebszeit des höchsten Bodenreinertrags	Produktionsdauer, bei der die Verzinsung des Bodenkapitals am höchsten ist. Das Bestandeskapital wird als Kostenfaktor in Form von Zinskosten berücksichtigt	$\frac{Au + \Sigma D - (c + u \cdot v) - 0{,}0p \cdot \Sigma Hm}{u} \rightarrow max$
Umtriebszeit der höchsten Rentabilität	Produktionsdauer, bei der die interne Verzinsung von Boden- und Bestandeskapital am höchsten ist	$\frac{Au + \Sigma D - (c + u \cdot v)}{u(B + Hm)} \cdot 100 \rightarrow max$
Umtriebszeit des höchsten Bruttoertrags	Produktionsdauer mit dem höchsten Umsatz (Produkt aus Festmetermenge und durchschnittlichem Erlös je ha)	$\frac{\Sigma Au^* + \Sigma D^*}{u} \rightarrow max$
Umtriebszeit des maximalen Ertrags an Markt- und Infrastrukturleistungen	Bruttoertrag und Infrastrukturleistungen werden maximiert.	$\frac{\Sigma S + Au^* + \Sigma D^*}{u} \rightarrow max$
Umtriebszeit der höchsten Wertschöpfung	Produktionsdauer mit dem höchsten Beitrag zum Bruttosozialprodukt der Gesellschaft	$\Sigma S + Au^* + \Sigma D^* - (Am + Af + Aa) \rightarrow max$
Umtriebszeit der höchsten Flächenproduktivität	Optimierung der Wertschöpfung je ha Betriebsfläche	$\frac{\Sigma S + Au^* + \Sigma D^* - LV}{u} \rightarrow max$
Umtriebszeit der höchsten Arbeitsproduktivität	Produktionsdauer mit der höchsten Wertschöpfung je geleistete Arbeitsstunde	$\frac{\Sigma S + Au^* + \Sigma D^* - LV}{Tu \rightarrow max}$

Symbole:

Au = Abtriebsertrag im Alter u
c = Kulturkosten je ha
v = Verwaltungskosten je Jahr und Hektar
Hm = mittlerer Bestandeswert der Betriebsklasse
Au^* = Bruttoerlös für die Abtriebsmasse im Alter u
ΣD^* = Bruttoerlös für die jährliche Durchforstungsmenge
LV = Vorleistungen (Am+Af+Aa)
ΣD = Summe der Durchforstungserträge
u = Umtriebszeit
B = Bodenwert
p = Zinsfuß
Am = Materialaufwand
Af = Fremdkosten
Aa = Abschreibungen
Tu = Gesamtarbeitszeit
ΣS = Summe der Infrastrukturleistungen

In der vorliegenden Arbeit wurden die Umtriebszeiten des höchsten Bruttoertrags, des höchsten Waldreinertrags und des höchsten Bodenreinertrags im Rahmen von Normalwaldmodellen berechnet. Diese drei Arten von Umtriebszeiten sind in der Literatur am häufigsten angewendet worden, sie können in jedem brasilianischen Forstbetrieb rechnerisch ermittelt werden und bei der praktischen Festlegung der Umtriebszeit im Forstbetrieb unter Umständen als Entscheidungshilfe dienen.

Die Ergebnisse der Bestimmung der Umtriebszeit des höchsten Bruttoertrags sind nach Bonitätsklassen getrennt in Tabelle 30, die der Umtriebszeit des höchsten Waldreinertrags in Tabelle 31 wiedergegeben. Im Anhang 14 sind die Umtriebszeiten des maximalen Bodenreinertrags angegeben, ebenfalls getrennt nach Bonitätsklassen und zusätzlich nach gefordertem Zinsfuß. Tabelle 32 stellt eine gekürzte Zusammenfassung der umfangreichen Tabellen des Anhangs 14 dar. Die Umtriebszeit des maximalen Bodenreinertrags wird wiederum getrennt nach Bonitäten angegeben, wobei jedoch die geforderten Zinsfüße in der Nähe des internen Zinsfußes liegen.

Die Umtriebszeit des höchsten Waldreinertrags ist in allen Bonitätsklassen geringfügig höher als die Umtriebszeit des höchsten Bodenreinertrags. Die Umtriebszeit des höchsten Bruttoertrags liegt zwischen diesen beiden Umtriebszeiten. Die Unterschiede sind jedoch sehr gering - stets weniger als 3 Jahre. Die ermittelten Umtriebszeiten liegen zwischen 20 bis 25 Jahren - zum Beispiel bei der Bonitätsklasse 28 ergeben sich:

Umtriebszeit des höchsten Waldreinertrags	~25 Jahre
Umtriebszeit des höchsten Bruttoertrags	~24 Jahre
Umtriebszeit des höchsten Bodenreinertrags (bei internem Zinsfuß von p_i = 5,76 % und einem Bodenwert von 101 ORTN)	~22 Jahre .

Auf den besseren Standorten sinken bei allen drei Zielen erwartungsgemäß die maximalen Umtriebszeiten (vgl. die Tabellen 30, 31, 32). Wird bei der Zielsetzung des höchsten Bodenreinertrags der geforderte Zinsfuß erhöht, sinken erwartungsgemäß die optimalen Umtriebszeiten.

Tab. 30 Bestimmung der Umtriebszeit des höchsten Bruttoertrags

Die Umtriebszeit des höchsten Bruttoertrags ist jeweils besonders gekennzeichnet.

Boni-tät	Umtriebszeit in Jahren 5	10	15	20	25	30	35	40
22	2.4	8.9	16.5	18.8	22.4	20.7	20.4	19.6
24	2.7	10.1	20.1	23.5	26.9	26.3	24.0	22.6
26	4.2	14.7	23.7	30.0	32.3	30.9	28.9	26.2
28	4.7	16.7	30.1	36.3	37.6	35.5	32.9	30.2
30	5.4	22.6	38.6	45.4	43.7	41.2	37.9	34.4
32	6.1	25.4	45.7	51.1	49.4	45.8	41.9	38.1
34	6.9	33.3	54.5	58.3	55.7	51.4	46.8	42.5

Tab. 31 Bestimmung der Umtriebszeit des höchsten Waldreinertrags

Die Umtriebszeit des höchsten Waldreinertrags ist jeweils besonders gekennzeichnet.

Boni-tät	Umtriebszeit in Jahren 5	10	15	20	25	30	35	40
22	-9.6	-.7	7.7	10.4	14.3	12.8	12.6	11.8
24	-9.3	.5	11.4	15.1	18.8	18.3	16.2	14.9
26	-7.9	5.1	14.9	21.6	24.2	22.9	21.0	18.5
28	-7.3	7.2	21.3	28.0	29.5	27.5	25.0	22.4
30	-6.7	13.0	29.8	37.0	35.6	33.3	30.0	26.6
32	-5.9	15.8	36.9	42.8	41.3	37.8	34.0	30.4
34	-5.1	23.7	45.7	49.9	47.5	43.5	39.0	34.8

Tab. 32 Bestimmung der Umtriebszeit des höchsten Bodenreinertrags

Die Umtriebszeit mit dem höchsten Bodenreinertrag ist jeweils besonders gekennzeichnet.

Boni-tät	Bodenwert in ORTN	Interner Zinsfuß	Rechen-Zinsfuß	Umtriebszeit in Jahren							
				5	10	15	20	25	30	35	40
22	22,00	5,08	5,0	-11,5	-4,6	2,2	3,2	7,0	5,3	4,4	2,9
			6,0	-11,9	-5,3	1,1	1,8	5,5	3,9	2,8	1,1
24	48,33	5,11	5,0	-11,4	-3,7	5,4	7,5	10,4	9,3	6,4	4,3
			6,0	-11,8	-4,6	4,3	6,0	8,7	7,4	4,4	2,2
26	74,67	5,50	5,0	-10,2	0,4	8,5	13,5	15,6	13,8	11,0	7,5
			6,0	-10,7	-0,5	7,2	11,9	13,9	12,0	8,9	5,3
28	101,00	5,76	5,0	- 9,9	1,9	14,4	19,4	20,1	17,4	14,1	10,6
			6,0	-10,4	0,8	13,0	17,7	18,3	15,4	11,9	8,2
30	127,33	6,19	6,0	-10,2	5,9	20,8	25,9	23,9	21,0	16,9	12,6
			7,0	-10,8	4,8	19,2	24,1	22,0	18,9	14,7	10,3
32	153,67	6,35	6,0	- 9,8	8,1	27,3	31,3	29,0	24,7	20,2	15,8
			7,0	-10,5	6,8	25,7	29,4	27,0	22,5	17,9	13,3
34	180,00	6,73	6,0	-9,4	15,1	35,3	37,7	35,1	30,8	25,6	20,7
			7,0	-10,2	13,7	33,6	35,7	33,0	28,6	23,4	18,4

Bemerkenswert erscheint die geringe Umtriebszeit bei Steigerung des geforderten Zinsfußes.
Diese Umtriebszeiten stimmen in etwa mit Angaben anderer Autoren überein. ROW (1963) beispielsweise entwickelte ein Programm zur Bestimmung des Kapitalrückflusses forstlicher Investitionen; als Grundlage dienten die Einnahmen und die jährlichen Kosten, während der Zinsfuß simuliert wurde. Für SOUTHERN PINE wurde ein Kapitalrückfluß von 6,5 % bei einer Umtriebszeit von 25 Jahren ermittelt. Dieses Ergebnis stimmt in etwa mit demjenigen für Pinus elliottii des Bundeswaldes überein, denn für die Höhenbonitätskurve 26 wurde ein interner Zinsfuß von 5,50 % im Alter 25 ermittelt. Bei den besseren Standorten ergaben sich höhere Zinsfüße und geringere Umtriebszeiten. FISHWICK (1976) erwähnt eine Mindestumtriebszeit von 25 Jahren für Pinus, allerdings ohne den Standort oder die Berechnungsgrundlage zu nennen. BURGER u.a. (1980) geben eine Umtriebszeit von 20 bis 25 Jahren für Pinus an, in Ausnahmefällen erscheinen ihnen 30 Jahre angebracht.

Auswirkungen veränderter Sortierung und veränderter Sortenpreise auf die Umtriebszeit

Aus mehreren Gründen kann angenommen werden, daß Kiefernsägeholz in Zukunft überproportionale Preissteigerungen erfahren wird und daß Holz mit einer Stärke größer 18 cm - bislang in einer Sorte als Sägeholz sortiert - in Zukunft, wegen der großen Wertunterschiede einer differenzierten Nachfrage entsprechend, differenziert in mehrere Stärkesorten sortiert werden wird. Überproportionale Preissteigerungen werden wegen ständiger Verknappung des Holzangebotes bei steigender Nachfrage erwartet[1)], Veränderungen der Sortierungsgewohnheiten wegen der laufenden Verbesserung der Verarbeitungstechnologie und wegen der zunehmenden Spezialisierung in der Holzindustrie.
In einer Sensitivitätsanalyse wurde daher untersucht, welche Auswirkungen deutliche Preissteigerungen für Sägeholz (Holz stärker 18 cm)

---

1) Ständiger Flächenrückgang der Urwälder im Bundesstaat (derzeit noch 5,6 % der Staatsfläche, wobei hierin Reservate, Naturparke und unproduktive Waldflächen enthalten sind) sowie Vorratsabbau in den Wäldern durch ungeregelte Nutzungen.

unter Berücksichtigung der derzeitigen Produktionskosten auf die Umtriebszeit des höchsten Waldreinertrags haben. Es wurde das 1,5fache bzw. 2fache des gegenwärtigen Preises für Kiefernsägeholz unterstellt. Das 1,5fache des gegenwärtigen Preises kann bereits heute in einigen unter Holzknappheit leidenden Regionen des Bundesstaates lokal beobachtet werden. Das 2fache des gegenwärtigen Preises entspricht in etwa dem Preis, der derzeit für Araukarienholz bezahlt wird.
Die Ergebnisse dieser Modellrechnungen sind in Tabelle 33 dargestellt. Die Umtriebszeit des höchsten Waldreinertrags ist in den Tabellen durch eine Linie verdeutlicht. Bei derzeitigen Sägeholzpreisen und derzeitigen Produktionskosten kulminiert der Waldreinertrag je nach Bonität im Alter von 20 bis 27 Jahren, bei Preissteigerungen um das 1,5fache erfolgt die Kulmination im Alter 22 bis 33 Jahre und bei Preissteigerungen um das 2fache im Alter von 23 bis 34 Jahre. Auf sehr schlechten Standorten (Bonität 22 und 24) führen Preissteigerungen zu deutlicher Verlängerung der Umtriebszeit. Auf besseren Standorten sind die Änderungen der Umtriebszeit bemwerkenswert gering.

Auswirkungen der Umtriebszeit auf die Sortenstruktur des Einschlags

Die Umtriebszeit hat einen maßgeblichen Einfluß auf die Lieferung von Sachgütern durch den Forstbetrieb. Bei Forstbetrieben mit sachgüterorientiertem Zielsystem sind daher bei der Umtriebszeitenbestimmung die Auswirkungen auf die Erbringung von Sachgütern, zum Beispiel die Sortenstruktur des Einschlags, eingehend zu prüfen.
Beispielhaft sollen die Auswirkungen der Umtriebszeit auf den Durchmesser des Grundflächenmittelstammes bzw. die Verteilung der Stämme des Endnutzungsbestandes auf die Durchmesserklassen dargestellt werden. Diese Größen werden als Indikatoren für die Sortenstruktur des Einschlags aufgefaßt.
In Tabelle 34[1)] wird die Durchmesserentwicklung des Grundflächenmittelstammes je Bonitätsklasse in Abhängigkeit von der Umtriebszeit dargestellt. Bei einer Umtriebszeit von 25 Jahren liegt der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes bei Beständen der Bonität 22, 24 und 26 unter 30 cm mit Rinde. In Beständen der Bonität 22 und 24 muß die Umtriebs-

---

[1)] Siehe Seite 136

Tab. 33 Waldreinertrag je ha bei Veränderung der Sägeholzpreise

Die Linien in den Tabellen verdeutlichen die Umtriebszeiten des höchsten Waldreinertrags in Abhängigkeit von der Bonität und den Sägeholzpreisen.

a) Waldreinertrag je ha bei derzeitigen Sägeholzpreisen

Bonität	Umtriebszeit in Jahren 5	10	15	20	25	30	35	40
22	-9.6	-.7	7.7	10.4	14.3	12.8	12.6	11.8
24	-9.3	.5	11.4	15.1	18.8	18.3	16.2	14.9
26	-7.9	5.1	14.9	21.0	24.2	22.9	21.0	18.5
28	-7.3	7.2	21.3	28.0	29.5	27.5	25.0	22.4
30	-6.7	13.0	29.8	37.0	35.6	33.3	30.0	26.6
32	-5.9	15.8	36.9	42.8	41.3	37.8	34.0	30.4
34	-5.1	23.7	45.7	49.9	47.5	43.5	39.0	34.8

b) Waldreinertrag je ha mit dem 1,5fachen der derzeitigen Sägeholzpreise

Bonität	Umtriebszeit in Jahren 5	10	15	20	25	30	35	40
22	-9.5	.5	12.0	16.4	17.0	21.0	21.1	18.6
24	-9.2	1.8	17.5	23.6	29.9	29.7	26.6	24.8
26	-7.6	8.1	22.2	33.2	38.0	36.5	33.9	30.2
28	-7.0	10.4	31.8	42.9	45.9	43.3	39.9	36.1
30	-6.3	18.7	44.7	56.8	55.2	52.0	47.4	42.4
32	-5.5	22.1	55.2	65.2	63.6	58.7	53.3	47.9
34	-4.7	33.7	68.4	75.9	72.9	67.2	60.7	54.5

c) Waldreinertrag je ha mit dem 2fachen der derzeitigen Sägeholzpreise

Bonität	Umtriebszeit in Jahren 5	10	15	20	25	30	35	40
22	-9.5	1.7	16.4	22.3	27.8	29.2	29.6	26.4
24	-9.1	3.1	23.5	32.0	41.0	41.0	37.0	34.8
26	-7.3	11.0	29.4	44.8	51.8	50.0	46.7	41.9
28	-6.6	13.7	42.3	57.8	62.3	59.1	54.7	49.8
30	-5.9	24.4	59.5	76.5	74.7	70.8	64.7	58.2
32	-5.1	28.4	73.5	87.7	85.9	79.6	72.5	65.5
34	-4.2	43.6	91.2	101.9	98.2	90.5	82.4	74.2

zeit auf über 40 Jahre erhöht werden, damit ein Durchmesser des Grundflächenmittelstammes von mehr als 30 cm erreicht wird. - Anhang 12 zeigt am Beispiel der Bonität 28 und einer Umtriebszeit von 20 Jahren die relative Verteilung des Volumens des Endnutzungsbestandes auf Durchmesserstufen. Die Durchmesser reichen von 12 cm bis 42 cm, der Grundflächenmittelstamm hat einen Brusthöhendurchmesser von 26,7 cm.-43,9 % der Endnutzungsmasse setzt sich aus Stämmen mit einem Brusthöhendurchmesser von mehr als 26 cm mit Rinde und 71,6 % der Endnutzungsmasse aus Stämmen mit einem Brusthöhendurchmesser von mehr als 18 cm mit Rinde zusammen.
Mit diesem Beispiel einer Analyse der Sortenstruktur des Endnutzungsbestandes in Abhängigkeit von der Umtriebszeit soll aufgezeigt werden, in welcher Weise die Ertragstafeln bzw. die Bestandessortentafeln bei der Bestimmung von technisch orientierten Umtriebszeiten verwendet werden können. Dabei ist zu beachten, daß die Umtriebszeit nur eine der Einflußgrößen auf die Sortenstruktur des Einschlags ist. Von sehr großer Bedeutung ist vor allem das in dieser Arbeit nicht behandelte Problem der am Betriebsziel orientierten, optimalen Durchforstungsstrategie

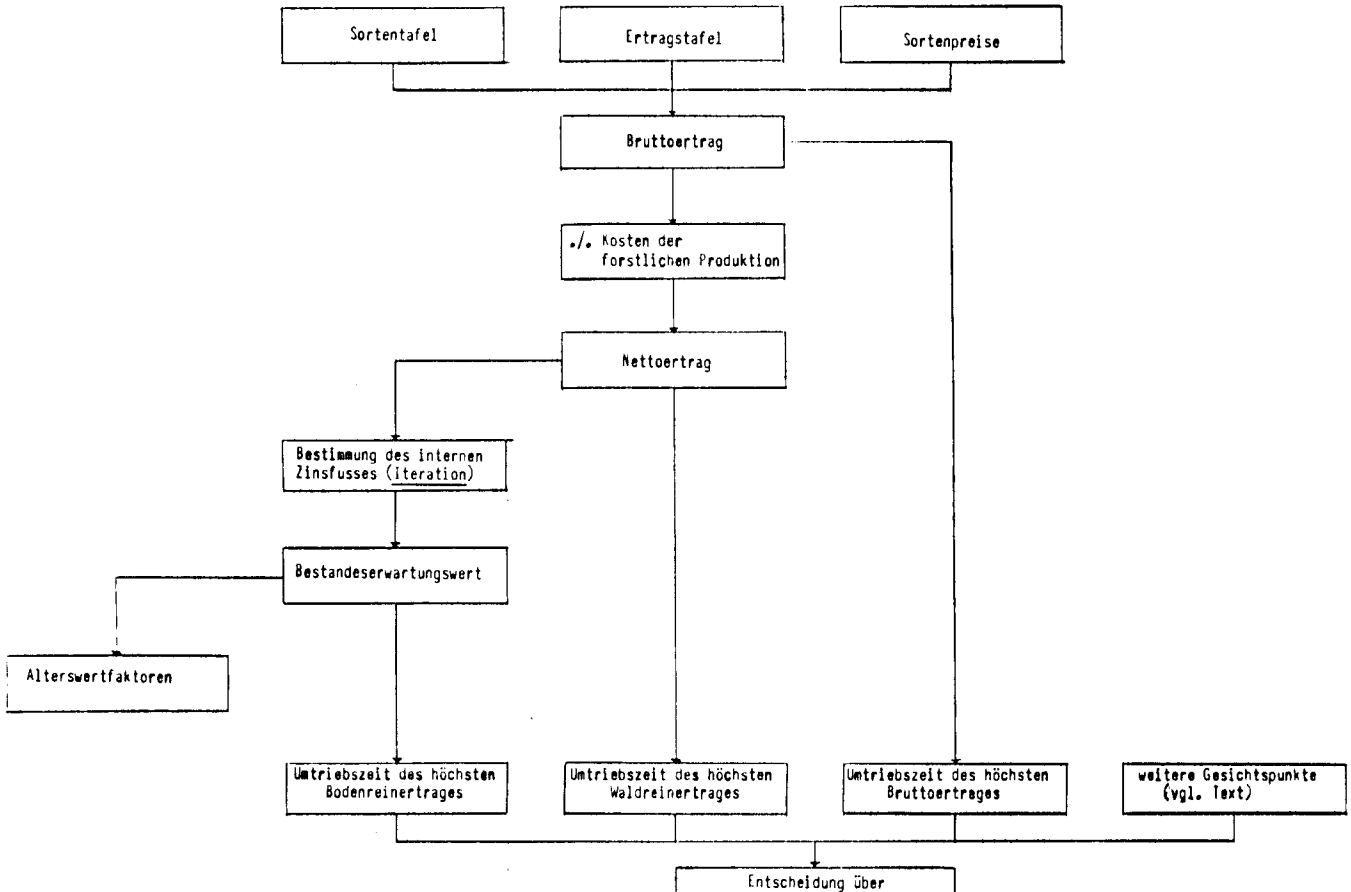
Praktische Bestimmung der Umtriebszeit eines konkreten Betriebes

In Abbildung 16 ist das in dieser Arbeit gewählte Vorgehen nochmals dargestellt - mit den Ergebnissen und den vorgestellten Methoden sollen Entscheidungshilfen für die Umtriebszeitenbestimmung in einem konkreten Betrieb gegeben werden.
Die Umtriebszeit des höchsten Waldreinertrags, des höchsten Bodenreinertrags und des höchsten Bruttoertrages orientieren sich an möglichen monetären Oberzielen des Forstbetriebes; während die Umtriebszeit des höchsten Waldreinertrags bzw. Bodenreinertrags zur Gruppe der betriebswirtschaftlichen Umtriebszeiten im engeren Sinne zu zählen sind, kann die Umtriebszeit des höchsten Bruttoertrags bereits zur Gruppe der sozialökonomischen Umtriebszeiten gerechnet werden. Diese Umtriebszeiten

Tab. 34 Durchmesser des Grundflächenmittelstammes des Enduntersuchungsbestandes in Abhängigkeit von der Umtriebszeit und der Bonität

Umtriebs-zeit	Höhenbonität						
	22	24	26	28	30	32	34
20	20,5	22,4	24,5	26,7	29,0	31,4	33,8
25	22,7	25,1	27,5	30,1	32,7	35,5	38,5
30	24,3	26,9	29,6	32,4	35,4	38,5	41,7
35	25,4	28,2	31,0	34,0	37,2	40,5	43,9
40	26,1	29,0	31,9	35,1	38,3	41,8	45,3

Abb. 16 Eigenes Vorgehen bei der Bestimmung der optimalen Umtriebszeit



sind für die praktische Bestimmung in einem Forstbetrieb nur dann von Belang, wenn diese übergeordneten Ziele tatsächlich Bestandteil des Zielsystems des Forstbetriebes sind.

Bei der praktischen Bestimmung der Umtriebszeit ist in jedem Forstbetrieb von neuem vom Zielsystem auszugehen. Die vorgestellten Modellkalkulationen können lediglich Entscheidungshilfen sein. Stets sind in dem Entscheidungsprozeß die Auswirkungen der Umtriebszeit auf sämtliche Zielelemente kritisch zu überprüfen. Die von SPEIDEL (1984, siehe oben Seite 125) vorgeschlagene Liste von Prüfungskriterien muß je nach Forstbetrieb unter Umständen erweitert (zum Beispiel um die Auswirkungen auf die Infrastrukturleistungen) oder modifiziert werden. In jedem Fall ist eine Gewichtung der Prüfungskriterien vorzunehmen, damit die verschiedenen Gesichtspunkte in einem gutächtlichen Entscheidungsprozeß angemessen berücksichtigt werden können[1].

---

[1] Die Prüfungskriterien sind identisch mit Elementen des Zielsystems eines Forstbetriebes. Das praktische Vorgehen bei der Bestimmung der Zielkombination in sachlicher und personaler Hinsicht ist eingehend bei SPEIDEL (1984) erläutert.

5 Kritische Würdigung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

1. Die Forsteinrichtung in südbrasilianischen Forstbetrieben steht erst am Anfang. Sehr viele Forstbetriebe, die meist den Charakter eines extremen Aufbaubetriebes haben, verfügen noch nicht über ein Forsteinrichtungswerk. Holzmeßkundliche, ertragskundliche und betriebswirtschaftliche Grundlagen fehlen für diese Aufgabe weitgehend.

   In der vorliegenden Arbeit wird daher versucht, Methoden zur Verfügung zu stellen, mit denen die Forstbetriebe die für eine Forsteinrichtung unerlässlichen Grundlagen - vor allem Massentafeln, Ertragstafeln, Sortentafeln - näherungsweise bei der Ersteinrichtung selber erarbeiten können.

   Die Methoden sollten dabei folgenden Anforderungen genügen:

   - Die Methoden sollen für die Forsteinrichter bzw. die Forstbetriebe "anwendbar" sein. Es wurde versucht, dieser Forderung durch einen modularen Aufbau des EDV-Programms, ausführliche Beschreibung der Anforderungen an die Inventur und eine kritische Würdigung der Ergebnisse, insbesondere der Grenzen der Aussagefähigkeit (siehe unten) zu genügen. Die EDV-Programme werden in Zukunft den Forstbetrieben (einschließlich Beratung) an der Bundesuniversität von Santa Maria zur Verfügung stehen.
   - Die Methoden sollen hinreichend genau die derzeitigen Verhältnisse der Bestände und Betriebsklassen beschreiben, damit Aufgaben der Einzelplanung (zum Beispiel Durchforstungsansätze aufgrund von Schätzungen des laufenden Zuwachses), der Bereichsplanung (zum Beispiel Intensitätsüberlegungen unter Beachtung der großen Bonitätsunterschiede) sowie der Gesamtplanung (insbesondere Hiebssatzherleitung unter Berücksichtigung von Gesamtweisern) besser als bislang gelöst werden können.
   - Die Methoden und Ergebnisse sollen schließlich so dargestellt werden, daß die Zukunftsaufgaben von Wissenschaft und Praxis in Südbrasilien, so wie sie der Verfasser sieht, erkennbar werden.

2. Die angewandten Methoden können als biometrisch - holzmeßkundliche Auswertung von Inventur-, Stammkubierungs- und Stammanalysedaten charakterisiert werden. Wegen des begrenzten Datenmaterials - es standen in größerem Umfang nur Daten für Bestände bis zum Alter 23 zur Verfügung (vgl. Kapitel 3.3) - sind die Ergebnisse (unabhängig von der Methode) selbstverständlich immer auch nur von "begrenzter" Aussagekraft. Die in der vorliegenden Arbeit mitgeteilten Ergebnisse sollen helfen, Planungsentscheidungen im Bundeswald "Passo Fundo" für die nächsten fünf bis zehn Jahre besser treffen zu können als bislang. Die mitgeteilten Ergebnisse haben also vorläufigen Charakter und sind in der Zukunft bei Vorliegen umfangreicherer Daten kritisch zu überprüfen bzw. gegebenenfalls zu verbessern. Neuberechnungen werden durch den modularen Aufbau des EDV-Programms erleichtert.

3. Der vorläufige Charakter der Ergebnisse soll am Beispiel der Ertragstafeln verdeutlicht werden. Diese stellen lediglich ein Modell des gegenwärtig tatsächlichen Zustandes der Bestände bzw. ein Prognosemodell für das wahrscheinliche künftige Wachstum dieser Bestände dar.
   Die Ertragstafeln enthalten nicht Vorstellungen über die Zweckmäßigkeit bestimmter Pflanzverbände, über die optimale Durchforstungsstrategie, über nach Standortsgüter differenzierte Bestandesbehandlungen oder andere "Sollvorstellungen". Zu diesen Fragestellungen müssen andere wissenschaftliche Methoden angewendet werden (siehe unten). In der Ertragstafel enthaltene Prognosen, die sich auf wenige empirische Daten stützen mußten, sind in der Zukunft kritisch zu überprüfen; so z.B. der flächenbezogene Grundflächenzuwachs ab Alter 30 in den besseren Bonitäten, und damit zusammenhängend der laufende Zuwachs an Gesamtmasse ab Alter 30, sowie die Entwicklung von Oberhöhe zu Mittelhöhe in den besten Bonitäten 32 und 34.

4. Die Bestandessortentafel ist auf der Ertragtafel aufgebaut und daher in gleicher Weise als vorläufig anzusehen, Von besonderer

Bedeutung erscheint der Hinweis, daß eine sehr starke Abhänigkeit der Sortenergebnisse von Pinus elliottii-Betriebsklassen von der jeweils gewählten Bestandesbehandlung erwartet wird. Die Sortentafeln spiegeln also lediglich die derzeitige und in Zukunft wahrscheinliche Struktur der Bestände des Bundeswaldes "Passo Fundo" wieder, "Sollvorstellungen" sind in ihnen nicht enthalten.

5. Die Kalkulation der Umtriebszeiten mußte sich auf die vorläufigen Ertrags- und Bestandessortentafeln einerseits sowie auf wenige verfügbare Wirtschaftsdaten der Forstbetriebe andererseits stützen. Interessante Hinweise für diese bedeutungsvolle Planungsentscheidung konnten insbesondere den Sensitivitätsanalysen entnommen werden.
   Den Forstbetrieben wird unter Berücksichtigung verschiedener Gründe - insbesondere Risikoverteilung, Infrastrukturleistungen des Waldes, geringe Kenntnisse der zukünftigen Absatzbedingungen der Betriebe, vorläufiger Charakter der Ertragstafel (Entwicklung des laufenden Zuwachses) und anderes - empfohlen, dem Prinzip der Vorsicht folgend zunächst die Obergrenze der in dieser Arbeit genannten Umtriebszeiten anzustreben.

6. Folgende Zukunftsaufgaben der Forstbetriebe bzw. der forstlichen Forschung werden als vordringlich angesehen:
   - Die praktische Forsteinrichtung in südbrasilianischen Forstbetrieben ist energisch voranzutreiben, damit die Bewirtschaftung dieser Aufbaubetriebe planvoll an den Vorstellungen der Nachhaltigkeit orientiert werden kann. Die hier vorgestellten Methoden sind nach der Auffassung des Verfassers für diese Aufgaben als Hilfen geeignet.
   - Gleichzeitig ist die ertragskundliche und waldbauliche Forschung in Südbrasilien wesentlich zu verstärken. Es werden dringend Untersuchungen zum Beispiel zur Frage der Durchforstungsstrategie, zum Pflanzverband, zum Pflanzverfahren, zur Sortenwahl usw. benötigt. Hierzu sollten sobald als möglich wissenschaftlich betreute Versuchsflächen angelegt werden. Die in der Arbeit vorgestellten Untersuchungsmethoden können dies in keinem Fall ersetzen.

- Für entsprechende Forschungsarbeiten, für betriebswirtschaftliche Untersuchungen sowie für die Betriebsführung ist eine Präzisierung der Ziele des Forstbetriebes notwendig (Zieldurchmesser, Sortimente, Bedeutung der Infrastrukturaufgaben usw.).
- Schließlich sollten die Forstbetriebe umgehend aussagefähige Buchführungssysteme aufbauen.

6 Zusammenfassung

In den Forstbetrieben Südbrasiliens wurden bislang kaum Forsteinrichtungen durchgeführt. Da ertragskundliche und betriebswirtschaftliche Grundlagen für die Forsteinrichtung sowie methodisch beispielhafte Planungswerke weitgehend fehlen, müssen von den Forsteinrichtern in aller Regel sämtliche holzmeßkundlichen, ertragskundlichen und betriebswirtschaftlichen Unterlagen mit der Ersteinrichtung erhoben werden.

Mit der vorliegenden Arbeit wird versucht, am Beispiel des Bundeswaldes "Passo Fundo" (FLONA), Rio Grande do Sul, Brasilien für die Baumart Pinus elliottii entsprechende Grundlagen zu erarbeiten. Die dabei angewandten biometrisch-statistischen und betriebswirtschaftlichen Methoden sollen in der Forsteinrichtungspraxis anwendbar und den südbrasilianischen Verhältnissen angemessen sein. Die Dissertation ist dabei ein Ausschnitt einer umfassenderen Arbeit. Neben den hier dargestellten Methoden, deren Zweckmäßigkeit mit Ergebnissen am Beispiel von Pinus elliottii-Beständen veranschaulicht werden, enthält das Forsteinrichtungswerk (SCHNEIDER 1984) darüberhinaus entsprechende ertragskundliche und betriebswirtschaftliche Unterlagen für die Baumart Araucaria angustifolia, Ergebnisse von Strukturanalysen in Urwaldflächen sowie ein komplettes Planungswerk (Ergebnisse von Inventur, Kontrolle und Planung) des Bundeswaldes.

Zunächst wird in dieser Arbeit das Untersuchungsobjekt, der Bundeswald "Passo Fundo", mit seiner geschichtlichen Entstehung, den Betriebszielen sowie seinem natürlichen, wirtschaftlichen und sozialen Standort vorgestellt.

Im dritten Kapitel werden ausführlich die Methoden beschrieben, die bei der Inventur des Bundeswaldes (Flächenbestimmung, Standortskartierung, Inventur der Bestände), bei der Datenerhebung für ertragskundliche Auswertungen (Stammkubierung, Stammanalyse) sowie bei der Datenverarbeitung (EDV, statistische Modelle der Regressionsrechnung) angewendet wurden.

Im vierten Kapitel werden die Ergebnisse der Arbeit dargestellt und unter Berücksichtigung der wesentlichen Literatur diskutiert. Es wurden folgende ertragskundliche Grundlagen zur Forsteinrichtung in Pinus elliottii-Beständen erstellt (Abbildung 3, Seite 31):

- Die Massentafeln mit und ohne Rinde wurden durch Auswertung der Stammkubierungsdaten mittels einer von SCHUMACHER und HALL veröffentlichten Regressionsgleichung berechnet (Anhang 6 und 7).
- Die Daten der Stammkubierung dienten weiter zur Herleitung von unechten Formzahlen (Anhang 8) mittels einer von POLLANSCHÜTZ entwickelten Regression.
- Die Entwicklung von Bestandeshöhenkurven (Tabelle 7, Seite 47) war für die Auswertung der Forstinventur erforderlich.
- Die Beschreibung des altersabhängigen Höhenwachstums mit dem BACKMAN'schen Gesetz erbrachte unbefriedigende Ergebnisse (Abbildung 6, Seite 57). Das BACKMAN'sche Gesetz wurde daher lediglich zur Schätzung einer im Alter unbestimmten theoretischen Endhöhe verwendet, die als Asymptote in entsprechende Regressionsmodelle eingeht. Die Höhenbonitierung erfolgte dann mit der KORSUN'schen Regression. Um die Leitkurve wurden für das Bezugsalter 30 Höhenbonitätskurven im Abstand von 2 Metern Oberhöhendifferenz konstruiert. Es ergaben sich 7 Oberhöhenbonitäten von h_{30} = 22 Meter bis h_{30} = 34 Meter (Tabelle 12, Seite 66 und Abbildung 7, Seite 66).
- Für die Erstellung von Ertragstafeln war zunächst eine Vorstellung über die Stammzahlhaltung erforderlich. Angesichts des verfügbaren Datenmaterials wurde die von HART-BECKING vorgeschlagene Methode des "prozentischen Standraumfaktors S%" angewandt (Abbildung 10, Seite 72).

Die Masse des ausscheidenden Bestandes wurde mit der Methode von MAGIN ermittelt (Tabelle 16, Seite 80). Die weiteren für die Konstruktion der Ertragstafel erforderlichen Regressionen zur Bestimmung der Oberhöhe, der Mittelhöhe, des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes, der Formzahl, der Masse des ausscheidenden bzw. verbleibenden Bestandes sowie der Gesamtwuchsleistung sind in Tabelle 17 (Seite 85) sowie Tabelle 18 (Seite 86) enthalten, die Ertragstafeln befinden sich im Anhang 9.

- Die Entwicklung von Bestandessortentafeln gliedert sich in folgende Untersuchungsschritte: Grundlage für die Sortierung bildet die Herleitung der Stammform, sie wurde mit einem Polynom 5. Grades beschrieben, wobei die relativen Durchmesser (d_i/d) die abhängigen und die relativen Höhen (h_i/h) die unabhängigen Variablen bilden. Die Masse der Sorten wurden mit einem Integrationsverfahren ermittelt. Damit ist die Konstruktion von Sortentafeln für Einzelbäume möglich. Für die Erstellung der Bestandessortentafeln (Anhang 12 und 13) ist außerdem die Kenntnis der Verteilung des Vorrats des verbleibenden bzw. ausscheidenden Bestandes auf Durchmesserstufen erforderlich, wozu die von PRODAN vorgeschlagene A-Funktion von CHARLIER Anwendung fand.

Folgende betriebswirtschaftliche Grundlagen der Forsteinrichtung wurden erstellt:

- Kosten und Erlöse der forstlichen Produktion wurden in neun südbrasilianischen Forstbetrieben mit Pinus elliottii-Beständen erhoben.
- Die mit der "Statischen Grundgleichung" ermittelten internen Zinsfüße schwanken je nach Bonität und einer unterstellten Umtriebszeit von 40 Jahren zwischen 5,08 % und 6,73 % (Tabelle 25, Seite 117).

- Die Bestandesbewertung erfolgte mit der "klassischen" Formel des Bestandeserwartungswertes (Tabelle 26, Seite 121) sowie näherungsweise mit dem Alterswertfaktorverfahren nach der sogenannten "Heeresformel" (Tabelle 27, Seite 124). Die Korrekturmöglichkeiten im Alterswertfaktorverfahren bei Vorliegen abweichender Umtriebszeiten des Bewertungsobjektes wurden geprüft, es wird empfohlen Alterswertfaktoren für Pinus elliottii-Bestände nur nach Bonitäten und verschiedenen Umtriebszeiten differenziert zu veröffentlichen und Korrekturen nur bei Abweichung der Umtriebszeit bis zu 5 Jahren zuzulassen.
- Das pragmatische Vorgehen bei der Herleitung der optimalen Umtriebszeit in einem Forstbetrieb wird im Anhalt an SPEIDEL (1984) beschrieben. Berechnet wurden die Umtriebszeiten des höchsten Waldreinertrags, des höchsten Bruttoertrags und des höchsten Bodenreinertrags im Rahmen von Normalwaldmodellen (Tabellen 30, 31, 32 auf den Seiten 130, 131). In einer Sensitivitätsanalyse wurde die Abhängigkeit der Umtriebszeit des höchsten Waldreinertrags von den Erlösen untersucht (Tabelle 33, Seite 134). Das methodische Vorgehen bei der Bestimmung von technisch orientierten Umtriebszeiten wurde beispielhaft vorgestellt (Tabelle 34, Seite 136).

Die Untersuchung im Ganzen belegt, daß noch viele wissenschaftliche und administrative Voraussetzungen für eine ökologisch und ökonomisch rationale Entwicklung der südbrasilianischen Forstbetriebe fehlen. Es ist die Aufgabe der Forsteinrichtung, zu einer harmonischen und sinnvollen Entwicklung der brasilianischen Forstbetriebe und der brasilianischen Gesellschaft beizutragen.

7 Resumo

O presente trabalho foi desenvolvido com base em dados originados da Floresta Nacional de Passo Fundo, localizada em Mato Castelhano, à 23 Km da sede do Município de Passo Fundo, na BR-285, sentido Lagoa Vermelha, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.Situa-se geograficamente entre as coordenadas geográficas de 28° de latitude sul e 52° de longitude oeste.

As Florestas Nacionais de acordo com o artigo 5° da Lei 4771, constituem-se propriedade da União, sendo administradas pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF).

A pesquisa foi desenvolvida com *Pinus elliottii*, e versa sobre os critérios de avaliação do crescimento, produção florestal e análise de sensibilidade econômica, para fins de prognosticar a idade ótima de retorno do investimento, considerando-se a atual situação do mercado madereiro.

Na parte inicial do trabalho, faz-se uma descrição detalhada das bases naturais ecológicas e econômicas da região de localização da Flona. E, na segunda, apresenta-se as metodologias básicas utilizadas em: mapeamentos, inventário florestal, cubagem, análise de tronco e critérios estatísticos para a tomada de decisões em análise de regressão.

Neste trabalho, além de uma vasta revisão bibliográfica, encontram-se os resultados e discussões dos assuntos investigados, que compreendem:

- Uma caracterização e desenvolvimento das metodologias usadas nos levantamentos de dados, com vista a consecução deste trabalho, para fins de confecção de plano de ordenamento.
- Investigações na área de crescimento, com o fim de definir uma metodologia eficiente para estimativas de volume individual, forma de tronco,fator de forma, relação hipsométrica, prognose, sítio, tabela de produção e sortimento.
- Análise das bases econômicas mínimas necessárias para assegurar um aproveitamento racional dos povoamentos, através da otimização da rotação e sua racionalização.

No ramo de crescimento, foi elaborado tabelas locais de volume com e sem casca, apresentadas nos anexos (Anhang) 6 e 7, respectivamente; tabela de fator de forma, apresenta no anexo (Anhang) 8; tabelas de produção; e tabelas de sortimentos para o povoamento.

As tabelas de produção foram obtidas através de um programa escrito em

em liguagem Fortran IV, que necessita previamente das funções definidas para a altura dominante, altura média, diâmetro médio de área basal, fator de foram, número de árvores por hectare e fator K-Magin, afim de determinar o volume remanescente, desbaste e produção total do povoamento. As tabelas de produção são apresentadas no anexo (Anhang) 9.

As tabelas de sortimentos foram construidas com base em funções de forma de tronco, representadas por um polinômio do quinto grau,que utiliza como variável dependente os diâmetros relativos (d_i/d) e variável independente as alturas relativas (h_i/h). O volume dos sortimentos foram obtidos por processo de integração das funções de foram de tronco. Visando um aumento da precisão das estimativas dos sortimentos foi implementado o cálculo dos sortimentos através de funções de forma de tronco estratificadas por classe de diâmetro, definidas por pesquisa do mercado brasileiro, que possibilitou a definição de três tipos de sortimentos: madeira para serraria, como toda a madeira com diâmetro maior ou igual a 18 cm com casca; madeira para a indústria de celulose e ou aglomerado, como toda a madeira com diâmetro entre 8 à 18 cm com casca; madeira para lenha, como sendo toda a madeira com diâmetro menor que 8 cm com casca. Estas tabelas de sortimentos são apresentadas no anexo (Anhang) 13.

O programa ESOWA (Programa para tabela de produção, sortimento e análise econômica) escrito em linguagem Fortran IV, compõe-se de quatro partes:

- Na primeira parte realiza os cálculos para obtenção das tabelas de produção.
- Na segunda parte confecciona as tabelas de sortimentos para árvore individual e povoamento.
- Na terceira parte calcula a taxa de juro interna, valor esperado do povoamento e rotações por índice de sítio.
- Na quarta parte calcula o desenvolvimento do valor do fator idade por índice de sítio.

Para a definição da rotação foram estudados os modelos de renda líquida da floresta, renda líquida do terreno e renda bruta. O valor esperado do povoamento foi calculado através da fórmula de OETZEL, sendo apresentado na Tabela 6; a taxa de juro interna através da fórmula de FAUSTMANN, que variou de 5,08% à 6,73%, diretamente proporcional a qualidade do sítio, conforme mostra a Tabela 25; e o valor do fator idade pela razão entre o valor esperado do povoamento e o valor do povoamento na idade de corte

final, apresentado na Tabela 27.

Para estes métodos de rotação estudados foi encontrado valores que variaram de 20 à 27 anos, resultando uma diferença de grandeza de rotação de 3 anos entre estes métodos. Os resultados dos cálculos das rotações, são apresentados nas Tabelas 30, 31 e 32, para renda bruta, renda líquida da floresta e renda líquida do terreno, respectivamente.

O processo simulatório da rotação, para a hipótese de que o preço da madeira para serraria fosse 1,5 vezes o preço atual, resultou numa rotação de renda líquida da floresta de 22 à 33 anos, inversamente proporcional a qualidade do sítio, conforme mostra a Tabela 33.

Neste mesmo sentido, ainda, analisou-se o desenvolvimento do diâmetro médio de área basal em relação a rotação, com o objetivo de verificar as possibilidades de racionalização da mesma, através da meta técnica e econômica da empresa, conforme pode ser observado na Tabela 34.

Devido as dificuldades encontradas no desenvolvimento do trabalho,com respeito a disponibilidade de informações, recomenda-se para o futuro direcionar e intensificar as pesquisas nas áreas de: contabilidade de custos; crescimento e produção dos povoamentos;ciência do trabalho, com vista a racionalização de operações técnicas; extensão concreta do mercado, com o objetivo de definição dos sortimentos futuros e preços dos mesmos; influências futuras na racionalização da rotação; planejamento da produção, direcionada ao manejo com base em plano de ordenamento. Com isto, pensa-se que no futuro poder-se-á efetuar um manejo florestal seguro, sincronizado com o desenvolvimento de uma política econômica florestal harmômica e estável.

LITERATURVERZEICHNIS

ABETZ, P. 1960: Die Genauigkeit der Radialzuwachs- und Jahrringbreitenmessung mit der Eklund'schen Jahrringmeßmaschine an Stammscheiben und Bohrspänen. AFJZ, 131.Jg., H.4., S. 74 - 80.

1974: Changes in Silviculture. In: Thinning in the forestry of the Future. International Conference at ELMIA 1973. Royal College of Forestry, No. 69.

1975: Entscheidungshilfen für die Durchforstung von Fichtenbeständen. Merkblätter der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. H. 13.

1976: Beiträge zum Baumwachstum - Der h/d-Wert. FHW, 31.Jg., H.19.

ALTHERR, E. 1953: Genaue Sortimentierung und Bewertung von Nadelholzbeständen mit Hilfe "echter" Ausbauchungsreihen. FwCbl, 72.Jg., S. 197 - 209.

ANDRAE, F.H. 1978: Ecologia Florestal. Imprensa Universitária - UFSM, Santa Maria.

ASSMANN, E. 1961: Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft, München.

; FRANZ, F. 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafeln für Bayern. München.

1968: Zur "Theorie der Grundflächenhaltung". FwCbl, 87.Jg., S. 321 - 330.

1970: The principles of forest yield study. Pergamon Press, New York.

BECHTER, W. 1977: Das Wachstum der Fichte im Wuchsgebiet Baar-Wutach. Selbstverlag der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Stuttgart.

BENNET, F.A.; McGEE, C.E.; CLUTTER, J.L. 1959: Yield of oldfield slash pine, plantations. US Department of Agriculture. Soetheastern Forest Experiment Station. Station Paper No. 107.

BITTERLICH, W. 1958: Das neue Relaskop. Allgemeine Forstzeitung, H. 23/24, S. 1 - 16, Wien.

1959: Presslers Richthöhe in neuem Licht. Allgemeine Forstzeitung, H. 5/6, S. 1 - 8, Wien.

; MARSCHALL, J.; STERBA, H. 1974: Holzmeßlehre. Institut für Forstliche Ertragslehre der Hochschule für Bodenkultur, Wien.

BRADLEY, R.T. 1969: Thinning proctice in Great Britain. In: IUFRO Meeting. Thinning and Mechanization. Royal College of Forestry, Stockholm, S. 28 - 38.

BRENA, D.A. 1979: Comparação dos métodos de inventários florestais sucessivos em relação a amostragem com repetição parcial, aplicados em uma população estratificada. UFPr., Curitiba (Tese M.Sc.)

BURGER, D. 1976: Ordenamento Florestal I. 2ª ed. Setor de Ciêcias Agrárias da UFPr.,Curitiba.

CARPENTIER, P. 1973: Thinning Programme. In: Beiträge zur Forsteinrichtung - IUFRO, Österreich, S. 52 - 60.

CARRARO, C.C.; GAMERMANN, N.; EICK, N.C.; BORTOLUZZI, C.A.; JOST, H. und PINTO, J.F. 1974: Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências-UFRGS.

CHAGAS CAMPOS, J.C. 1970: Estudo sobre Índice de Sítio e Tabelas de Volume e Produção para Pinus elliottii Engelm. no Estado de São Paulo, Brasil. Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA, Turrialba.

CLUTTER, J.L. 1963: Compatible grouth and models for loblolly pine. Forest Science, 9 (3), S. 355 - 371.

CUNIA, T. 1963: Weighted Least Squares method and construction of volume tables. Forest Science S. 180 - 191.

1973: Dummy variables and some of their uses in regression analysis. In: IUFRO, Subject Group S4. 02, Nancy. Proceedings. Colege of Environmental Science and Forest (1), Syracuse, S. 1 - 146.

CURTIS, R.O. 1967: Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-Fir. Forest Science, 13 (4) S. 365 - 375.

DALFELT, A. 1976: Manejo de Áreas Silvestris. CATIE, Turrialba.

DAVIS, K.P. 1966: Forest Management: regulation and voluation. New York, McGraw Hill.

de HOOGH, R.J. 1981: Site-Nutrition - Growth relationships of Araucaria angustifolia (Bert.) O.Ktze. in Southern Brazil. Diss. d. Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg.

; DIETRICH, B.A.; AHRENS, S. 1978: Classificação de sítio, tabelas de volume e de produção para povoamentos de Araucaria angustifolia. Brasil Florestal, 9 (36) S. 58 - 82.

DRESS, P.E. 1959: Statistical and mathematic application in the construction and ajustment of standard cubic-foot volume tables. School of Forestry, Pensylvania Sta. University, Pensylvania (Tese M. Sc.)

FISHWICK, R.W. 1975: Uso do Percentual de Espaçamento Relativo de HART-BECKING para o controle dos Desbastes. Prodepef, Brasília.

1976: Resultâdos preliminares das parcelas experimentais de desbastes basedos no parâmetro área basal com Araucaria angustifolia e Pinus elliottii no Sul do Brasil. Prodepef, Curitiba/Brasil.

1977: Determinação de curvas de índice de sítio para Pinus elliottii. Prodepef, Brasília.

FRANZ, F. 1967: Ertragsniveauschätzverfahren für die Fichte anhand einmalig erhobener Bestandesgrößen. FwCbl, 86.Jg., S. 98 - 125.

1971: Grundlagen und Verfahren standortsbezogener Leistungsschätzung. Forschungsberichte der Forstlichen Forschungsanstalt, Nr. 2, München.

FRAYER, W.E. 1971: Assumptions of regression. In: Colorado State University. Colege of Forestry and Natural Resources Department of Forest and Wood Sciences. Proceedings: Regression methods in forest research. Forest Collins, S. 29 - 35.

FREESE, F. 1964: Linear regression method for forest research. U.S.For.Ser. Paper FPL - 17.

FURNIVAL, G.M. 1961: An index for comparing equations used in constructin volumes tables. Forest Science, 7 (4), S. 337 - 341.

GEORGOPULUS, A.; ASTERIS, K. 1967: Über die Genauigkeit der Messung des Durchmesserzuwachses durch Bohrspanentnahmen. In: XIV IUFRO-Kongreß, S. 189 - 198.

GROSENBAUCH, L.R. 1966: Tree form: Definition, Interpolation, Extrapolation. For. Chron., 42 (4), S. 444 - 475.

HEINSDIJK, D.; SOARES, R.D. 1962: Plantações de coníferas no Brasil, Estudos preliminares sobre volumes e rendimentos de Araucaria angustifolia, Cryptomeria japonica, Cunnighamia lanceolata e Pinus elliottii. M.A. Div. de Silv, Bol. 5.

1965: O diâmetro dos troncos e o estrato superior das florestas tropicais. FAO, Rio de Janeiro.

HENGST, E. 1959: Die Schaftform der Weymouthskiefer. Wiss. Zeitschr. der Technischen Hochschule Dresden, 8 (4), S. 921 - 925.

HOFFMANN, R.; BERGER, R. 1973: Determinação da idade ótima de corte de povoamentos de Eucalyptus. Série Técnica, 24, USP, São Paulo.

HOHENADL, W. 1924: Der Aufbau der Baumschäfte. FwCbl, 46.Jg., S. 496 - 509.

HONER, T.G. 1965: A new cubic-foot volume function. For. Chron., 41, S. 476 - 493.

HOSOKAWA, R.T. 1976: Betriebswirtschaftliche Kriterien zur Wahl der Umtriebszeit von Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. in Brasilien. Diss.d. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

1980: Contribuição para definir a sucessão de cortes dos povoamentos objetivando a pressistência de rendas nas empresas florestais. UFPr, Curitiba/Brasil.

HRADETZKY, J. 1972: Modell eines integrierten Ertragstafel-Systems in Modular Form. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, H. 45, Abteilung Biometrie Nr. 11.

1981: Spline-Funktionen und ihre Anwendung in der forstlichen Forschung. FwCbl, 100.Jg., S. 45 - 59.

HUECK, K. 1972: As Florestas da América do Sul. Ed. Poligno S.A., São Paulo.

HUMMEL, F.C. 1958: Metodos de prognosticar la producion obtemble de los claras en Gran Bretana. Unasylva, 12 (2), S. 67 - 71.

HUSCH, B. 1963: Forest mensuration and statistics. Ronald Press, New York.

IBDF - FUPEF 1978: Determinação da produção volumétrica dos plantios de Eucalyptus e Pinus nos Estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso. UFPr, Curitiba/Brasil.

JOHNSTON, D.R.; GRAYSON, A.J.; BRADLEY, R.T. 1977: Planeamento Florestal. Fund. Calouste Gulbenkian, Lisboa.

JOKELA, P.R. 1974: Die Schaftformfunktion der Fichte und die Bestimmung der Sortimentsanteile am stehenden Stamm. Diss. d. ETH, Zürich.

KLEIN, R.M. 1960: O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. Sellowia, 12 (12), S. 17 - 48.

KOZAK, A.; MUNRO, D.D.; SMITH, J.H.G. 1969: Taper Functions and their Applications in Forest Inventory. For. Chron., 45 (4), S. 278 - 283.

LEMOS, R.C.; AZOLIN, M.A.D.; ABRAO, P.V.R.; SANTOS, M.C.L.; CARVALHO, A.P. 1967: Levantamento de Reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul - Primeira Etapa: Planalto Riograndense. Pesq. agropec. bras., 2, S. 71 - 209.

AZOLIN, M.A.D.; ABRAO, P.V.R.; SANTOS, M.C.L. 1973: Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado Rio Grande do Sul. Recife, Ministério da Agricultura - Departamento Nacional de Pesquisas Agropecuárias - Divisão de Pesquisa Pedológica (Boletim Técnico nº 30).

LINDMAN, C.A.M.; FERRI, M.G. 1906: A vegetação no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Typografia da "Livraria Universal" de Echenique Irmãos & Cia.

LOETSCH, F.; HALLER, K.E. 1973: Forest Inventory. 2.Aufl., BLV Verlagsgesellschaft München, Basel,

; ZÖHRER, F.; HALLER, K.E. 1975: Forest Inventory, Vol. II, BLV Verlagsgesellschaft München, Bern, Wien.

LOMBA, P. 1972: Schaftformuntersuchung bei der Baumart Abies Pindrow. Diplomarbeit d. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

MACHADO, S. do A. 1978: Studies in Growth and Yield estimation for Pinus taeda L. - Plantations in the State of Paraná - Brasil. University of Washington, Washington (Tese de Dr.).

MAGIN, R. 1963: Standortgerechte Ertragsermittlung als Teil der Forsteinrichtung. Allg. Forstzeitung, H. 8, Wien.

1964: Standortgerechte Ertragsermittlung als Teil der Forsteinrichtung. Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns, H. 34, S. 305 - 314.

1971: Die Herleitung von Ertragstafeln beliebiger Durchforstungsmodelle mit Hilfe der K-Wertformel. 15. IUFRO-Kongreß, Gainesville.

MARSCHALL, J.; STERBA, J. 1975: Die Erstellung der neuen Kiefernertragstafel Litschau. Allg. . Forstzeitung, H. 11, S. 1 - 2, Wien.

1975: Hilfstafeln für die Forsteinrichtung. Österreichischer Agrarverlag.

MATTHIES, F. 1966: Die Kostenträgerrechnung als Teilgebiet der forstlichen Kostenrechnung. Aus dem Walde - Mitteilungen aus der Niedersächsischen Landesforstverwaltung, H. 9, Hannover.

MEYER, H. 1941: A correction for a systematic errors occuring in the aplication of the logaritmic volume equation. Pensylvania For. School Res. Paper 7.

MONTEIRO ALVES, A.A. 1982: Técnicas de Produção Florestal: Fundamentos, Tipificaçao e métodos. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa.

MORENO, J.A. 1961: Clima do Rio Grande do Sul. Secretaria da Agricultura - RS, Porto Alegre.

MOTA, F.S.; BEIRSDORF, M.I.C., GARCEZ, J.R.B. 1971: Zoneamento Agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina - Normais Agroclimáticas. Ministério da Agricultura, Vol.I, Circular Nº 50, Pelotas.

NAESLUND, M. 1940: Funktionen und Tabellen zur Kubierung stehender Bäume: Kiefer, Fichte und Birke in Nordschweden. Medd-Stat. Skogsforskn. Inst., 32, S. 87 - 142.

NAGEL, D. 1968: Untersuchungen über die Form und Formentwicklung des Fichtenschafter. Diss. d. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

OSUMI, S. 1959: Studies on the stem form of the forest trees on the relative stem from. Journ. of the Japanese For. Soc., 41 (12), S. 471 - 478.

1974: General notion of relative volume of stem and its growth. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt (105), S. 47 - 70.

PAULA NETO, F. de 1975: Construction of standard volume table for Eucalyptus saligna in the Iron Region of Brazil. Purdue University, Lafayette (Tese Ph. D.).

1977: Tabela volumétrica com e sem casa para Eucalyptus saligna. R. Árvore, 1 (1), S. 31 - 53.

PELLICO NETO S. 1979: Die Forstinventuren in Brasilien: Neue Entwicklungen und ihre Beiträge für eine geregelte Forstwirtschaft. Diss. d. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

PETERS, R. 1971: Konstruktion eines Massentafelmodells - dargestellt am Beispiel der Baumart Araucaria araucana (Moh.) C. Koch. Diss. d. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

PETIT, P.M. 1969: Resultados preliminares de unos estudios sobre la regeneración natural espontanea en el bosque "El Caimital". Rev. For. Venez., 12 (18), S. 9 - 21.

PETRI, G. 1971: Der land- und forstwirtschaftliche Bodenmarkt in Baden-Württemberg. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Bd. 37, Stuttgart.

PITA, A.P.; MADRIGAL, A. 1947: Modelos mathematiques essayes pour le preparation des tables de production de Pinus sylvestris dans e Espagne. In: Growth methods for tree and stand simulation. Inst. F. Skogsproduktion, Res. Notes - Nr. 30, S. 288 - 308, Stockholm.

POLLANSCHÜTZ, J. 1965: A new method of determining stemformfactor of stading trees. Advisory Group of Forest statistician the IUFRO, Sec. 25, Stockholm.

PRODAN, M. 1953: Die Verteilung des Vorrates gleichaltriger Hochwaldbestände auf Durchmesserstufen. AFJZ, 124.Jg., H.4, S. 93 - 106.

1961: Messung der Waldbestände. J.D. Sauerländers Verlag, Frankfurt a.M.

1965: Holzmeßlehre. J.D. Sauerländers Verlag, Frankfurt a.M.

1968: Forest Biometrics. Pergamon Press, New York.

RAWAT, A.S.; FRANZ, F. 1973: Detailed Non-Linear Asymptotic Regression Studies on Tree and Stand Growth with Particular Reference to Forest Yield. IUFRO Sec. 4.01, Nancy.

REINEKE, L.H. 1933: Perfecting a stand-density index for even-aged forests. J.Agr.Res. 46 (7), S. 627 - 638.

REISSMANN, C.B. 1981: Nährelementversorgung und Wuchsleistung von Kiefernbeständen in Südbrasilien. Diss. d. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

REITZ, P.R.; KLEIN, R.M. 1966: Flora Ilustrada Catarinense Araucariâceas. Herbário Barbosa Rodrigues.

RICHARDS, F.J. 1959: A flexible growth function for emperical use. Journ. of Experimental Botany, 10 (29), S. 290 - 300.

ROCHA, J.S.M.; CARNEIRO, C.M.R. 1975: Mosaicos Aerofotogramétricos. Imp. Universitária, Santa Maria.

ROW, C. 1963: Determining Forest Investment Rates - of - Return by Electronic Computer. U.S. Forest Ser. Research Paper SO-6.

;GUTTENBERG, S. 1966: Determining weight-volume relationship for Saw Logs. For. Prod. Journ., 16 (5), S. 39 - 47.

SABOROWSKI, J. von; SLOBODA, B; JUNGE, A. 1981: Darstellung von Schaftformen durch kubische Spline-Interpolation und Reduktion der Stützstellenzahl. FA, 52.Jg., H. 4, S. 127 - 130.

SACHS, L. 1969: Statistische Auswertungsmethoden. Springer, Heidelberg.

SAGL, W. 1976: Alterswertfaktoren für die Waldbewertung. Kommissionsverlag: Österreichischer Agrarverlag, Wien.

SALAZAR, R.S. 1972: Tabelas de volume para las espécies comerciais de la selva mesofítica del norte de Surinam. B.I.F.L.A.I.C.,(47/55).

SCHIFFEL, A. 1899: Form und Inhalt der Fichte. Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen, H. 24, Wien.

1905: Form und Inhalt der Fichte. Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen, H. 31, Wien.

SCHMIDT, A. 1967: Der rechnerische Ausgleich von Bestandeshöhenkurven. Institut für Ertragskunde der Forstlichen Versuchsanstalt, S. 370 - 381.

1977: Dinâmica de un Bosque virgem de Araucaria Lenga. Bosque, 2 (1), S. 3 - 11, Chile.

SCHNEIDER, P.R.; HOSOKAWA, R.T. 1978: Estudo de equações volumétricas para tabelas de volume com e sem casca para Acácia negra (Acacia mearnsii de Wild). In: Congresso Florestal Brasileiro, 3, Silvicultura, 14, S. 90 - 95.

; SILVA, J.A. da 1980: Índice de Sítio para Acácia negra, Acacia mearnsii de Wild. Rev. Brasil Florestal, 36, S. 58 - 82, Brasília.

1978: Modelos de eguações e tabelas para avaliar o peso de casca de Acacia negra, Acacia mearnsii de Wild. Curitiba/Brasil (Tese de M.Se.)

1984: Plano de Ordenamento para a Floresta Nacional de Passo Fundo - RS. Departamento de Ciências Florestais, Santa Maria (Manuskript)

SCHÖPFER, W. 1966: Automatisierung der Massen, Sorten und Wertberechnung stehender Waldbestände. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Bd. 21.

1967: Sortenrechenschieber für durchschnittliche Formverhältnisse. AFJZ, 138.Jg., S. 1 - 13.

1974: Neue Wege der Rundholzvermessung im Wald und im Werk. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, 14 (63).

SCHÖNAU, A.P.G. 1973 - 1974: Metric site index curves for Black Wattle. Reprint from the Wattle Research Institute Report. África do Sul.

SILVA, J.A.A. 1977: Análise de equações volumétricas para construção de tabelas de volume comercial para Eucalyptus spp. segundo a espécie, região e método de regeneração. UFV, Viçosa. (Tese de M. Sc.).

SILVA, J.A. 1976: Schaftkurvenuntersuchungen an Fichte (Picea abies) Tanne (Abies alba), Rotkiefer (Pinus silvestris) und Pechkiefer (Pinus taeda). Diss. d. Universität für Bodenkultur, Wien.

; SCHNEIDER, P.R. 1981: Estimativa indireta do fator forma artificial para o Pinus taeda L. Brasil Florestal, 11 (48), S. 25 - 32.

SIOSTRZONEK, E. 1958: Radialzuwachs und Flächenzuwachs. Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt, (s.n.), S. 237 - 253.

SMITH, J.H.G.; KER, J.W.; CSIMAZIA, J. 1961: Economics of reflorestation of Douglas Fir Western Hamlock and Wester Red Cedar in Vancouver Forest District. Vancouver.

SPEIDEL, G. 1966: Economia Florestal. Imprensa da Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

1967: Forstliche Betriebswirtschaftslehre. Paul Parey Verlag, Hamburg und Berlin.

1972: Planung im Forstbetrieb. Paul Parey Verlag, Hamburg und Berlin.

1984: Forstliche Betriebswirtschaftslehre. 2. Aufl. Paul Parey Verlag, Hamburg und Berlin.

SPURR, S.H. 1952: Forest Inventory. The Ronald Press Company, New York.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.M. 1960: Principles and procedures of statistics. New York, McGraw-Hill.

STERBA, H. 1975: Ertragskundliche Hypothesen über den Standart. Hochschule für Bodenkultur, Wien. (Tese Livre Docente)

1978: Fichtentafeln für den Sauwald und das oberösterreichische Schliegebiet. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 95 (2), S. 95 - 122, Wien.

; MARSCHALL, J.; SILVA, J.A. da 1976: Einheitshohenkurven aus und für Stichproben-inventuren. Allgemeine Forstzeitung, H. 11, S. 1 - 2, Wien.

STRAND, L. 1964: Numerical constructions of site index curves. Forest Science, 10, S. 410 - 414.

SUDESUL 1978: Superintendência do Desenvolvimento da Região Sul. A Vegetação atual da Região Sul. (Série Planejamento e Estudos Regionais, 2), Porto Alegre.

TAMADDONI-JAHROMI, S.; MEHDIZADEH, P. 1976: Site Index Curves for the Asalem Beech Forest in the Caspian Region of Iran. XVI. IUFRO World Congress, Oslo.

THOMASIUS, H. von 1965: Kritik der Wachstumsfunktion von G. Backman. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität, H. 4, S. 1019 - 1031, Dresden.

TILLMANNS, H.J. 1976: Oberservaciones sobre el incremento volumétrico de Pinus caribeae en Costa Rica. Revista Forestal Venezoelana, 26, S. 107 - 122.

VAN LAAR, A. 1973: Needle-biomass, Growth and Growth distribution of Pinus radiata in South Africa, in relation to pruning and Thinning. Forschungsberichte der Forstlichen Forschungsanstalt Nr. 19, München.

WENK, G.; GÜNTHER, O. 1970: Ergebnisse von Untersuchungen über unechte Formzahlen, die Genauigkeit von Kubierungsformeln und Konstruktion einer Schaftkurvengleichung. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität, 19 (4), S. 1059 - 1067, Dresden.

YAMANE, T. 1974: Estadística. Harba, México.

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN (im Text)

CATIE	Centro Agronômico Tropical de Investigação e Ensino
FLONA	Floresta Nacional
FUPEF	Fundação de Pesquisas Florestais
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IICA	Instituto Interamericano de Ciências Agrárias
INP	Instituto Nacional do Pinho
ORTN	Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional
RS	Estado do Rio Grande do Sul
UFPr	Universidade Federal do Paraná
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
USP	Universidade de São Paulo

Ertragskundliche, holzmeßkundliche und betriebswirtschaftliche Symbole sind jeweils im Text erläutert.

ABKÜRZUNGEN IM LITERATURVERZEICHNIS

AFZ	Allgemeine Forstzeitschrift
AFJZ	Allgemeine Forst- und Jagdzeitung
FHW	Forst- und Holzwirt
FwCbl	Forstwissenschaftliches Centralblatt

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Seite

1. Lage des Bundeswaldes "Passo Fundo" im Bundesstaat Rio Grande do Sul und Klimaräume des Bundesstaates nach der Systematik von KÖPPEN 7

2. Flußdiagramm des EDV-Programms SMALI zur Volumenbestimmung von Einzelbäumen (SILVA 1976) 24

3. Ablauf von Inventur und Inventurauswertung im Rahmen der Forsteinrichtung 30

4. Durchschnittliche Höhenwachstumskurve zweier Kiefern von "Estação Esperimental de Silvicultura de Boca do Monte", Santa Maria - RS 56

5. Durchschnittliche Höhenzuwachskurve zweier Kiefern von "Estação Esperimental de Silvicultura de Boca do Monte", Santa Maria - RS 56

6. Höhenwachstum der zwei untersuchten Pinus-Bäume (KURVE A) und Wachstumsverlauf nach dem BACKMAN'schen Gesetz (KURVE B) im Wahrscheinlichkeitsnetz 57

7. Höhenwachstumskurve der verschiedenen Bonitäten vom Pinus elliottii (Oberhöhenbonitäten im Alter 30) 65

8. Beziehung zwischen Alter und "prozentischem Standraumfaktor" (S%) in südafrikanischen Kiefernbeständen (VAN LAAR 1973) 70

9. Beziehung zwischen Alter und "prozentischem Standraumfaktor" (S%) für Picea abies in Deutschland (VAN LAAR 1973) 70

10. Stammzahlhaltung für Pinus elliottii und die Zusammenhänge zur Altersentwicklung und zur Entwicklung der Bestandesoberhöhe am Beispiel der durchschnittlichen Bonitätsverhältnisse in "Passo Fundo" (ermittelt nach der Methode von HART-BECKING) 72

11. Entwicklung des durchschnittlichen Gesamtzuwachses (dGZ) und des laufenden jährlichen Zuwachses (lGZ) für die Höhenbonitätsklasse 28 von Pinus elliottii 87

12. Die Schaftform von Pinus elliottii 102

Seite

13. Sortimentsentwicklung des Mittelstammes des verbleibenden bzw. ausscheidenden Bestandes von Pinus elliottii in Abhängigkeit vom Alter (Höhenbonität 28) 108

14. Ablauf der Forsteinrichtung 114

15. Wertentwicklung eines Pinus elliottii-Bestandes (Bonität 28, Umtriebszeit 40 Jahre) 121

16. Eigenes Vorgehen bei der Bestimmung der optimalen Umtriebszeit 136

VERZEICHNIS DER TABELLEN

		Seite
1.	Klimadaten der Region	8
2.	Volumenregressionen zur Erstellung der Massentafel von Pinus elliottii	39
3.	Koeffizienten der Volumenregressionen für Pinus elliottii (Baumholz mit Rinde) und statistische Kennzahlen zur Gütebeurteilung der Regressionen	40
4.	Koeffizienten der Volumenregressionen für Pinus elliottii (Baumholz ohne Rinde) und statistische Kennzahlen zur Gütebeurteilung der Regressionen	41
5.	Regressionsmodelle zur Bestimmung der unechten Formzahl	44
6.	Koeffizienten und Statistische Kennzahlen der Regressionen zur Bestimmung der unechten Formzahl von Pinus elliottii	45
7.	Regressionsmodelle zur Bestimmung der Bestandeshöhenkurve	47
8.	Koeffizienten der Regressionen und Statistische Kennzahlen zur Bestimmung der Bestandeshöhenkurve von Pinus elliottii	48
9.	Mittleres Höhenwachstum und mittlerer Höhenzuwachs von zwei Pinus elliottii-Bäumen der "Estação Esperimental de Silvicultura de Boca do Monte, Santa Maria - RS"	55
10.	Regressionen zur Bestimmung von standortsabhängigen Altershöhenkurven von Pinus elliottii	62
11.	Statistische Kennzahlen zur Regressionsgleichung von RICHARDS für die Ableitung von Altershöhenkurven von Pinus elliottii im Durchschnitt aller Standortseinheiten	65
12.	Altershöhenkurven von Pinus elliottii für verschiedene Höhenbonitäten (Oberhöhenbonitäten im Alter 30)	66
13.	Regressionsgleichungen zur Bestimmung der Stammzahlentwicklung von Beständen und Statistische Kennzahlen (weitere Erläuterungen im Text)	75
14.	Prozentfehler der Gesamtwuchsleistung (GWL) in Funktion des Fehlers bei der Einschätzung der Durchforstungsmassen (mDf %) und in Funktion vom Vornutzungsprozent. Die gebrochene Linie zeigt die 10 % Fehlergrenze für die Gesamtwuchsleistung	77

Seite

15. Wert des Regulativs "C" nach Baumarten 78

16. Der Faktor "k" und das Regulativ "C" nach der Methode von MAGIN für Pinus elliottii (durchschnittliche Standortsverhältnisse von "Passo Fundo") 80

17. Rechenschritte bei der Konstruktion der Ertragstafel von Pinus elliottii 85

18. Die wichtigsten Regressionsmodelle zur Konstruktion der Ertragstafel von Pinus elliottii mit den Koeffizienten und Statistischen Kennzahlen zur Gütebeurteilung der Regressionen 86

19. Regressionsgleichungen zur Bestimmung der Gesamtwuchsleistung sowie Koeffizienten und Statistische Kennzahlen zur Gütebeurteilung der Regressionen für Pinus elliottii (Oberhöhenbonität h_{30} = 28) 91

20. Koeffizienten und Statistische Kennzahlen der Regressionen nach BACKMAN zur Bestimmung der Gesamtwuchsleistung von Pinus elliottii nach Höhenbonitäten 92

21. Ergebnisse der Vorratsinventur im Nationalwald "Passo Fundo" 95

22. Regressionsgleichungen zur Bestimmung der Schaftform von Pinus elliottii mit Koeffizienten und Statistische Kennzahlen 100

23. Koeffizienten und Statistische Kennzahlen der Regression Nr. 5 zur Bestimmung der Schaftform von Pinus elliottii (vgl. Tabelle 22) 104

24. Kosten und Erlöse von neun Forstbetrieben Südbrasiliens (in ORTN vom Juni 1980) 117

25. Interner Zinsfuß für Pinus elliottii-Bestände unterschiedlicher Bonität 117

26. Bestandeserwartungswerte von Pinus elliottii-Beständen nach Bonität (bei u = 40 Jahre) 121

27. Alterswertfaktoren für Pinus elliottii-Bestände für unterschiedliche Umtriebszeit und verschiedene Bonitäten 124

28. Alterswertfaktorenkorrektur 126

29. Wichtige Arten der Umtriebszeit (nach SPEIDEL 1984) 128

30. Bestimmung der Umtriebszeit des höchsten Bruttoertrags 130

31. Bestimmung der Umtriebszeit des höchsten Waldreinertrags 130

Seite

32. Bestimmung der Umtriebszeit des höchsten Bodenreinertrags 131

33. Waldreinertrag je Hektar bei Veränderung der Sägeholzpreise 134

34. Durchmesser des Grundflächenmittelstammes des Endnutzungsbestandes in Abhängigkeit von der Umtriebszeit und der Bonität 136

ANHANG

1. Aufnahmeformular für die forstliche Standortskartierung

2. Aufnahmeformular für die Forstinventur in den Stichprobenflächen

3. Aufnahmeformular für die Stammkubierung von Probebäumen

4. Aufnahmeformular für die Stammanalyse
   4.1 Aufnahme der Probebäume
   4.2 Aufnahme der einzelnen Stammscheiben

5. Angewandte EDV-Programme

6. Massentafel für Pinus elliottii (Baumholz mit Rinde)

7. Massentafel für Pinus elliottii (Baumholz ohne Rinde)

8. Unechte Formzahl von Pinus elliottii in Abhängigkeit von Höhe und Durchmesser in 1,3 Metern Höhe

9. Ertragstafeln von Pinus elliottii

10. Ergebnisse der Forstinventur (Stichprobenanalyse) am Beispiel der Abteilung 64

11. Formeln für die Auswertung der Inventur

12. Bestandessortentafel für 20-jährige Pinus elliottii-Bestände der Bonität 28 - gegliedert nach Durchmesserklassen

13. Bestandessortentafeln für Pinus elliottii

14. Bestimmung der Umtriebszeit des maximalen Bodenreinertrags für Pinus elliottii

Anhang 1: Aufnahmeformular für die forstliche Standortskartierung

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS

FICHA DE LEVANTAMENTO DE HABITATS FLORESTAIS

TALHÃO Nº _____
LINHA Nº _____
PTO. SONDAGEM Nº _____
DATA _____
RESPONSÁVEL _____

PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

RELEVO

ALTITUDE ☐☐☐☐☐
EXPOSIÇÃO ☐☐☐☐☐
INCLINAÇÃO ☐☐☐☐☐

MANTA – SOLO

	ESPESSURA	DESCRIÇÃO
L		
F		
H		

	TEXTURA	ESTRUTURA	COR	OBSERVAÇÕES

TIPO DE HUMUS ☐ MULL ☐ MODER ☐ MOR
ENRAIZAMENTO NA MANTA ☐ NULO ☐ BAIXO ☐ MÉDIO ☐ ALTO
TIPO DE SOLO _____
PROFUNDIDADE DO SOLO ☐ PEDRAS ☐ RASO ☐ MÉDIO ☐ PROFUNDO
GRAU DE HIDROMORFIA ☐ NULO ☐ BAIXO ☐ MÉDIO ☐ ALTO

OBSERVAÇÕES GERAIS

VEGETAÇÃO

ESTRATO ARBÓREO	ABUND (%)	H (m)	DAP. (cm)	AVALIAÇÃO SILVICULTURAL

ESTRATO ARBUSTIVO	H (m)	SP INDIC.	OBSERVAÇÕES GERAIS

ESTRATO HERBÁCEO	SP INDIC.	OBSERVAÇÕES GERAIS

SINAIS TÍPICOS

Anhang 2

Aufnahmeformular für die Forstinventur in den Stichprobenflächen

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS

MEDIÇÕES DE CAP/DAP E h POR PARCELA

PROJETO	TALHÃO	PARC.	MEDIÇÃO Nº	Nº DE FICHAS	FICHA Nº	DATA DE MED.	EQUIPE	IDADE	TIPO PARC.	SITIO

N	CAP DAP	h	COD	N	CAP DAP	h	COD	N	CAP DAP	h	COD	N	CAP DAP	h	COD	N	CAP DAP	h	COD	N	CAP DAP	h	COD	F I M
1				2				3				4				5				6				
1,7				8				9				1,0				1,1				1,2				
1,5				1,4				1,5				1,6				1,7				1,8				
1,9				2,0				2,1				2,2				2,3				2,4				
2,5				2,6				2,7				2,8				2,9				3,0				
3,1				3,2				3,3				3,4				3,5				3,6				
3,7				3,8				3,9				4,0				4,1				4,2				
4,3				4,4				4,5				4,6				4,7				4,8				
4,9				5,0				5,1				5,2				5,3				5,4				
5,5				5,6				5,7				5,8				5,9				6,0				
6,1				6,2				6,3				6,4				6,5				6,6				
6,7				6,8				6,9				7,0				7,1				7,2				
7,3				7,4				7,5				7,6				7,7				7,8				
7,9				8,0				8,1				8,2				8,3				8,4				
8,5				8,6				8,7				8,8				8,9				9,0				
9,1				9,2				9,3				9,4				9,5				9,6				
9,7				9,8				9,9				10,0				10,1				10,2				
10,3				10,4				10,5				10,6				10,7				10,8				
10,9				11,0				11,1				11,2				11,3				11,4				
11,5				11,6				11,7				11,8				11,9				12,0				

Anhang 3

Aufnahmeformular für die Stammkubierung von Probebäumen

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS

ÁRVORES CUBADAS

Código do Projeto	Talhão Nº	Parcela Nº	Idade	Árvore Nº	Sítio	Espécie	Data Med.	Equipe Nº	Alt. Total	Alt. Aprov.	Alt. 1º Galho vivo

ALTURA(m)	0.1	0.3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3
MED. C/C																							
MED. S/C																							
ESP. CAS.																							

Código do Projeto	Talhão Nº	Parcela Nº	Idade	Árvore Nº	Sítio	Espécie	Data Med.	Equipe Nº	Alt. Total	Alt. Aprov.	Alt. 1º Galho vivo

ALTURA(m)	0.1	0.3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3
MED. C/C																							
MED. S/C																							
ESP. CAS.																							

Código do Projeto	Talhão Nº	Parcela Nº	Idade	Árvore Nº	Sítio	Espécie	Data Med.	Equipe Nº	Alt. Total	Alt. Aprov.	Alt. 1º Galho vivo

ALTURA(m)	0.1	0.3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3
MED. C/C																							
MED. S/C																							
ESP. CAS.																							

Código do Projeto	Talhão Nº	Parcela Nº	Idade	Árvore Nº	Sítio	Espécie	Data Med.	Equipe Nº	Alt. Total	Alt. Aprov.	Alt. 1º Galho vivo

ALTURA(m)	0.1	0.3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3
MED. C/C																							

Anhang 4

Aufnahmeformulare für die Stammanalyse

4.1 Aufnahme von Probebäumen

UFSM
DCF
Santa Maria
- RS -

ANÁLISE DE TRONCO (Identificação das fatias)

PROJETO DE PESQUISA _____

Código do Proj.	Talhão Nº	Parcela Nº	Árvore Nº	Espécie	Data Med	Tipo de Árv.	Altura Total	Altura (Galho Vivo)	Sítio	Nº Fatias	Máximo Nº de Anel

FATIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
ALTURA																							
FATIA	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
ALTURA																							

4.2 Aufnahme der einzelnen Stammscheiben

UFSM
DCF
Santa Maria
- RS -

ANÁLISE DE TRONCO (medição).

PROJETO DE PESQUISA _____

Código do Proj	Talhão Nº	Parcela Nº	Árvore Nº	Ficha Nº	Nº de Fichas	Data Medição	Sítio	OBS.

Fatia Nº	R	Casca	Anel 1	Anel 2	Anel 3	Anel 4	Anel 5	Anel 6	Anel 7	Anel 8	Anel 9	Anel 10	Anel 11	Anel 12	Anel 13	Anel 14	Anel 15	Anel 16	Anel 17	Anel 18	Anel 19	Anel 20	Anel 21
	1																						
	2																						
	3																						
	4																						
	1																						
	2																						
	3																						
	4																						
	1																						
	2																						
	3																						
	4																						
	1																						
	2																						
	3																						
	4																						
	1																						
	2																						
	3																						
	4																						

Anhang 5: Angewandte EDV-Rechenprogramme

Nr.	Programm-name	Unterpro-gramm	Autor bzw. Herkunft	Kurze Charakteristik des Programms
1.	ANAPAR		SCHNEIDER	Für jede Stichprobe werden folgende Parameter berechnet: arithmetischer Mitteldurchmesser; Durchmesser des Grundflächenmittelstammes; mittlerer Durchmesser der vorherrschenden Bäume; arithmetische Mittelhöhe;Oberhöhe; Grundfläche je Hektar; durchschnittlicher Grundflächenzuwachs je Hektar; Vorrat mit Rinde; Vorrat ohne Rinde; Vorrat in Ster; Prozentsatz lebender bzw. toter Bäume; Stammzahl je Hektar; Standardabweichung des Durchmessers
2.	ANATRO		SCHNEIDER	Dient der Auswertung von Stammanalysedaten; es werden berechnet: BHD, Höhe, Grundfläche, Masse des Stammes, die entsprechenden durchschnittlichen und laufenden Zuwüchse sowie die unechte Formzahl
3.	SMALI	FORM SMAL u.a.	SILVA, J.A.	Das Programm dient der Auswertung von Daten von Probebäumen für die Volumenbestimmung; es werden berechnet: die echte und die unechte Formzahl, das Volumen nach SMALIAN, PRESSLER und HOHENADL, die Formquotienten, die Durchmesser und Höhen nach HOHENADL sowie der HOHENADL'sche Quotient
4.	REGRESSION		SPSS[x]	
4.1	Volume		SPSS	Berechnet die Koeffizienten und die statistischen Kennzahlen von vierzehn Volumenregressionen (vgl. Tab. 3 und 4)
4.2	Fator forma		SPSS	Berechnet die Koeffizienten und die statistischen Kennzahlen von elf Regressionen zur Bestimmung der Formzahl (vgl. Tab. 5 und 6)
4.3	Diâmetro relativo		SPSS	Berechnet die Koeffizienten und die statistischen Kennzahlen der Regressionsgleichungen, die die relativen Durchmesser ($d_{0,3h}$ und $d_{0,5h}$) aufgrund des BHD und der Höhe in jeweils unterschiedlichen arithmetischen und logarithmischen Fassungen ermittelt
4.4	Relação hipsométrica		SPSS	Berechnet die Koeffizienten und die statistischen Kennzahlen von vierzehn Regressionsgleichungen zur Ermittlung von Bestandeshöhenkurven (vgl. Tab. 7 und 8)
4.5	Sîtio		SPSS	Berechnet die Koeffizienten und die statistischen Kennzahlen der Regressionsgleichungen für die Bonitierung (vgl. Tab. 10)
4.6	Número de árvores/ha		SPSS	Berechnet die Koeffizienten und die statistischen Kennzahlen der Regressionsgleichung zur Ermittlung der Stammzahl je Hektar (vgl. Tab.18)
4.7	Diâmetro (dg)		SPSS	Berechnet die Koeffizienten und die statistischen Kennzahlen der Regressionsgleichungen zur Ermittlung des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes (vgl. Tab.18)
4.8	Altura (hm)		SPSS	Berechnet die Koeffizienten und die statistischen Kennzahlen der Regressionsgleichungen zur Ermittlung der mittleren Höhe (vgl. Tab.18)
4.9	Fator K-Magin		SPSS	Berechnet die Regression für den MAGIN'schen Korrekturfaktor K
4.10	Forma de tronco		SPSS	Berechnet die Koeffizienten und die statistischen Kennzahlen der Regressionsgleichungen zur Ermittlung der Schaftform (vgl. Tab.18)
4.11	Produçao		SPSS	Berechnet die Koeffizienten und die statistischen Kennzahlen linearer Regressionen zur Ermittlung der Gesamtwuchsleistung
4.12	Produçao		BMPD[xx]	Berechnet die Koeffizienten und die statistischen Kennzahlen nicht-linearer Regressionen zur Ermittlung der Gesamtwuchsleistung
5.	TAB		SCHNEIDER	Berechnet Massentafeln und Formzahlen
6.	RICHARDS		STERBA, H.	Berechnet die Koeffizienten und die statistischen Kennzahlen der RICHARDS'schen Funktion bei gegebenem Asymptote-Wert

Nr.	Programm-name	Unterpro-gramm	Autor bzw. Herkunft	Kurze Charakteristik des Programms
7.	CORE		SCHNEIDER	Das Programm prüft die Voraussetzungen für Regressionen:
		HOV	SCHNEIDER	Homogenität
		NOR	SCHNEIDER	Normalität
		IND	SCHNEIDER	Unabhängigkeit
8.	ESOWA		SCHNEIDER	Im Hauptprogramm wird die Massentafel berechnet, mittels Unterprogrammen werden die Sorten, die Umtriebszeit und Alterswertfaktoren bestimmt. Das Programm enthält folgende zusätzlichen Unterprogramme:
		FORT	SCHNEIDER	Berechnet Sortierung für Einzelbäume oder für den verbleibenden Bestand sowie die Durchforstung je nach Durchmesserklasse
		PRODAN	SCHNEIDER	Ermittelt die relative Verteilung der Sorten je nach Durchmesserklasse sowohl für den ausscheidenden als auch für den verbleibenden Bestand
		REGRE	SCHNEIDER	Berechnet die Koeffizienten von linearen Regressionsgleichungen
		MAGIN	SCHNEIDER	Berechnet den MAGIN'schen Korrekturfaktor K und das Regulativ C
		COMP	SCHNEIDER	Berechnet die Länge von Abschnitten bzw. Sorten von Einzelbäumen
		VOL	SCHNEIDER	Berechnet die prozentuale Masse der Sorten von Einzelstämmen und/oder des ausscheidenden/verbleibenden Bestandes
		HEV	SCHNEIDER	Berechnet den Wert von Einzelbäumen und/oder des verbleibenden und ausscheidenden Bestandes, den internen Zinsfuß und den Wert des Alterswertfaktors
		SORT	SCHNEIDER	Druckt die Sortierungsergebnisse von Einzelstämmen und/oder des verbleibenden und ausscheidenden Bestandes aus
		MARES	SCHNEIDER	Bestimmt die Umtriebszeit des höchsten Bodenreinertrages
		MAREF	SCHNEIDER	Bestimmt die Umtriebszeit des höchsten Waldreinertrages
		MABRO	SCHNEIDER	Ermittelt die Umtriebszeit des höchsten Bruttoertrages
		RESULT	SCHNEIDER	Druckt die durch MARES, MAREF und MABRO ermittelten Umtriebszeiten, den Wert des Bestandes sowie den Alterswertfaktor aus.

x SPSS (Statistical Package of the Social Science) vgl. BEUTEL u.a. (1983)

xx BMPD (Biomedical Computer Programms)

Anhang 6: Massentafel für Pinus elliottii (Baumholz mit Rinde)

$d_{1,3}$ in cm	Höhe in m 5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27
5	0.0052	0.0076	0.0101	0.0127	0.0153	0.0180	0.0207	0.0235	0.0263	0.0291	0.0320	0.0349
6	0.0073	0.0107	0.0142	0.0178	0.0216	0.0253	0.0292	0.0331	0.0370	0.0410	0.0451	0.0492
7	0.0098	0.0143	0.0190	0.0239	0.0288	0.0339	0.0390	0.0442	0.0495	0.0548	0.0603	0.0657
8	0.0126	0.0184	0.0244	0.0307	0.0370	0.0435	0.0501	0.0568	0.0636	0.0705	0.0775	0.0845
9	0.0157	0.0230	0.0305	0.0383	0.0462	0.0543	0.0626	0.0709	0.0794	0.0880	0.0967	0.1054
10	0.0192	0.0280	0.0372	0.0467	0.0563	0.0662	0.0763	0.0865	0.0968	0.1073	0.1179	0.1286
11	0.0229	0.0335	0.0445	0.0558	0.0674	0.0792	0.0912	0.1034	0.1158	0.1283	0.1410	0.1538
12	0.0270	0.0395	0.0524	0.0657	0.0794	0.0933	0.1075	0.1218	0.1364	0.1512	0.1661	0.1811
13	0.0314	0.0459	0.0609	0.0764	0.0923	0.1085	0.1249	0.1416	0.1586	0.1757	0.1931	0.2106
14	0.0361	0.0527	0.0700	0.0879	0.1061	0.1247	0.1436	0.1628	0.1823	0.2020	0.2219	0.2421
15	0.0411	0.0601	0.0797	0.1000	0.1208	0.1420	0.1635	0.1854	0.2075	0.2300	0.2527	0.2756
16	0.0464	0.0678	0.0900	0.1129	0.1364	0.1603	0.1846	0.2093	0.2343	0.2597	0.2853	0.3112
17	0.0520	0.0760	0.1009	0.1266	0.1528	0.1796	0.2069	0.2346	0.2626	0.2910	0.3198	0.3488
18	0.0579	0.0845	0.1124	0.1409	0.1702	0.2000	0.2304	0.2612	0.2924	0.3241	0.3561	0.3884
19	0.0641	0.0937	0.1244	0.1560	0.1884	0.2214	0.2550	0.2892	0.3238	0.3598	0.3942	0.4300
20	0.0706	0.1032	0.1370	0.1718	0.2075	0.2439	0.2809	0.3185	0.3565	0.3951	0.4341	0.4735
21	0.0773	0.1131	0.1502	0.1883	0.2274	0.2673	0.3079	0.3491	0.3908	0.4331	0.4758	0.5190
22	0.0844	0.1234	0.1639	0.2056	0.2482	0.2918	0.3360	0.3810	0.4266	0.4727	0.5193	0.5665
23	0.0918	0.1342	0.1782	0.2235	0.2699	0.3172	0.3653	0.4142	0.4637	0.5139	0.5646	0.6159
24	0.0994	0.1454	0.1930	0.2421	0.2924	0.3436	0.3958	0.4487	0.5024	0.5567	0.6117	0.6672
25	0.1074	0.1570	0.2085	0.2614	0.3157	0.3711	0.4274	0.4845	0.5425	0.6012	0.6605	0.7204
26	0.1156	0.1690	0.2244	0.2815	0.3399	0.3995	0.4601	0.5216	0.5840	0.6472	0.7111	0.7756
27	0.1241	0.1814	0.2409	0.3022	0.3649	0.4289	0.4939	0.5600	0.6270	0.6948	0.7634	0.8327
28	0.1329	0.1943	0.2580	0.3236	0.3907	0.4592	0.5289	0.5997	0.6714	0.7440	0.8174	0.8916
29	0.1419	0.2075	0.2756	0.3456	0.4174	0.4905	0.5650	0.6406	0.7172	0.7948	0.8732	0.9525
30	0.1513	0.2212	0.2937	0.3684	0.4449	0.5228	0.6022	0.6828	0.7644	0.8471	0.9307	1.0152
31	0.1609	0.2352	0.3124	0.3918	0.4732	0.5561	0.6405	0.7262	0.8130	0.9010	0.9899	1.0797
32	0.1708	0.2497	0.3316	0.4160	0.5023	0.5903	0.6799	0.7709	0.8631	0.9564	1.0508	1.1462
33	0.1810	0.2646	0.3514	0.4407	0.5322	0.6255	0.7204	0.8168	0.9145	1.0134	1.1134	1.2145
34	0.1914	0.2799	0.3717	0.4662	0.5629	0.6616	0.7620	0.8640	0.9673	1.0719	1.1777	1.2846
35	0.2022	0.2956	0.3925	0.4923	0.5945	0.6987	0.8047	0.9124	1.0215	1.1320	1.2437	1.3566
36	0.2132	0.3117	0.4139	0.5191	0.6268	0.7367	0.8485	0.9621	1.0771	1.1936	1.3114	1.4304
37	0.2244	0.3281	0.4358	0.5466	0.6600	0.7757	0.8934	1.0129	1.1341	1.2567	1.3808	1.5061
38	0.2360	0.3450	0.4582	0.5747	0.6939	0.8156	0.9394	1.0650	1.1924	1.3214	1.4518	1.5836
39	0.2478	0.3623	0.4811	0.6035	0.7287	0.8564	0.9864	1.1184	1.2521	1.3876	1.5245	1.6629
40	0.2599	0.3800	0.5046	0.6329	0.7642	0.8982	1.0345	1.1729	1.3132	1.4552	1.5989	1.7440
41	0.2722	0.3980	0.5286	0.6630	0.8006	0.9409	1.0837	1.2287	1.3756	1.5244	1.6749	1.8269
42	0.2849	0.4165	0.5531	0.6937	0.8377	0.9845	1.1339	1.2856	1.4394	1.5951	1.7525	1.9116
43	0.2978	0.4353	0.5781	0.7251	0.8756	1.0291	1.1853	1.3438	1.5046	1.6673	1.8318	1.9981
44	0.3109	0.4546	0.6037	0.7571	0.9143	1.0746	1.2376	1.4032	1.5710	1.7410	1.9128	2.0864
45	0.3243	0.4742	0.6297	0.7898	0.9538	1.1210	1.2911	1.4638	1.6389	1.8161	1.9954	2.1765

Anmerkung: Umrandet sind die Werte, die sich direkt aus der Messung der Probebäume ergeben; außerhalb der Umrandung stehende Werte wurden mittels Regressionen bestimmt.

Anhang 7: Massentafel für Pinus elliottii (Baumholz ohne Rinde)

$d_{1,3}$ in cm	Höhe in m 5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27
5	0.0031	0.0047	0.0064	0.0083	0.0102	0.0122	0.0143	0.0164	0.0186	0.0208	0.0231	0.0255
6	0.0044	0.0067	0.0092	0.0118	0.0146	0.0174	0.0204	0.0234	0.0266	0.0298	0.0330	0.0364
7	0.0060	0.0091	0.0124	0.0160	0.0197	0.0236	0.0276	0.0317	0.0359	0.0402	0.0446	0.0492
8	0.0077	0.0118	0.0162	0.0208	0.0256	0.0306	0.0358	0.0411	0.0466	0.0522	0.0580	0.0638
9	0.0098	0.0149	0.0203	0.0261	0.0322	0.0385	0.0451	0.0518	0.0587	0.0657	0.0730	0.0803
10	0.0120	0.0183	0.0250	0.0321	0.0396	0.0473	0.0554	0.0636	0.0721	0.0808	0.0897	0.0987
11	0.0144	0.0220	0.0301	0.0387	0.0477	0.0570	0.0667	0.0767	0.0869	0.0973	0.1080	0.1189
12	0.0171	0.0261	0.0357	0.0459	0.0565	0.0676	0.0791	0.0909	0.1030	0.1154	0.1281	0.1410
13	0.0200	0.0305	0.0417	0.0537	0.0661	0.0791	0.0925	0.1063	0.1204	0.1349	0.1498	0.1649
14	0.0231	0.0352	0.0483	0.0620	0.0764	0.0914	0.1069	0.1228	0.1392	0.1560	0.1731	0.1906
15	0.0265	0.0403	0.0552	0.0710	0.0875	0.1046	0.1223	0.1406	0.1593	0.1785	0.1981	0.2181
16	0.0300	0.0458	0.0627	0.0805	0.0992	0.1187	0.1388	0.1595	0.1807	0.2025	0.2248	0.2475
17	0.0338	0.0515	0.0705	0.0907	0.1117	0.1336	0.1562	0.1796	0.2035	0.2280	0.2531	0.2786
18	0.0378	0.0576	0.0789	0.1014	0.1249	0.1494	0.1747	0.2008	0.2276	0.2550	0.2830	0.3116
19	0.0420	0.0640	0.0877	0.1127	0.1389	0.1661	0.1942	0.2232	0.2529	0.2834	0.3145	0.3463
20	0.0465	0.0708	0.0969	0.1246	0.1535	0.1836	0.2147	0.2467	0.2796	0.3133	0.3477	0.3828
21	0.0511	0.0779	0.1066	0.1370	0.1689	0.2020	0.2362	0.2714	0.3076	0.3447	0.3825	0.4212
22	0.0560	0.0853	0.1168	0.1501	0.1850	0.2212	0.2587	0.2973	0.3369	0.3775	0.4190	0.4613
23	0.0611	0.0930	0.1274	0.1637	0.2018	0.2413	0.2822	0.3243	0.3675	0.4118	0.4570	0.5032
24	0.0664	0.1011	0.1384	0.1779	0.2193	0.2622	0.3066	0.3524	0.3994	0.4475	0.4967	0.5468
25	0.0719	0.1095	0.1500	0.1927	0.2375	0.2840	0.3321	0.3817	0.4326	0.4847	0.5379	0.5923
26	0.0776	0.1182	0.1619	0.2081	0.2564	0.3067	0.3586	0.4121	0.4670	0.5233	0.5808	0.6395
27	0.0836	0.1273	0.1743	0.2240	0.2760	0.3301	0.3861	0.4437	0.5028	0.5634	0.6253	0.6884
28	0.0897	0.1367	0.1872	0.2405	0.2964	0.3545	0.4145	0.4764	0.5399	0.6049	0.6714	0.7392
29	0.0961	0.1464	0.2004	0.2576	0.3174	0.3796	0.4440	0.5102	0.5782	0.6479	0.7190	0.7917
30	0.1027	0.1564	0.2142	0.2753	0.3392	0.4057	0.4744	0.5452	0.6178	0.6923	0.7683	0.8459
31	0.1095	0.1668	0.2284	0.2935	0.3617	0.4325	0.5058	0.5813	0.6587	0.7381	0.8192	0.9019
32	0.1165	0.1775	0.2430	0.3123	0.3848	0.4602	0.5382	0.6185	0.7009	0.7854	0.8717	0.9597
33	0.1237	0.1885	0.2581	0.3317	0.4087	0.4888	0.5716	0.6568	0.7444	0.8341	0.9257	1.0192
34	0.1312	0.1998	0.2736	0.3516	0.4333	0.5181	0.6059	0.6963	0.7891	0.8842	0.9814	1.0805
35	0.1388	0.2115	0.2895	0.3721	0.4585	0.5484	0.6413	0.7369	0.8352	0.9358	1.0386	1.1435
36	0.1467	0.2234	0.3059	0.3932	0.4845	0.5794	0.6776	0.7787	0.8825	0.9888	1.0974	1.2083
37	0.1548	0.2357	0.3223	0.4148	0.5111	0.6113	0.7149	0.8215	0.9310	1.0432	1.1578	1.2746
38	0.1631	0.2483	0.3400	0.4370	0.5385	0.6440	0.7531	0.8655	0.9809	1.0990	1.2198	1.3430
39	0.1716	0.2613	0.3577	0.4598	0.5666	0.6776	0.7924	0.9106	1.0320	1.1563	1.2833	1.4130
40	0.1803	0.2745	0.3759	0.4831	0.5953	0.7120	0.8326	0.9568	1.0843	1.2150	1.3485	1.4847
41	0.1892	0.2881	0.3945	0.5070	0.6248	0.7472	0.8738	1.0041	1.1380	1.2751	1.4152	1.5581
42	0.1983	0.3020	0.4135	0.5315	0.6549	0.7832	0.9159	1.0526	1.1929	1.3366	1.4834	1.6333
43	0.2076	0.3162	0.4330	0.5565	0.6857	0.8201	0.9590	1.1021	1.2490	1.3995	1.5533	1.7102
44	0.2172	0.3308	0.4529	0.5821	0.7173	0.8578	1.0031	1.1528	1.3065	1.4639	1.6247	1.7888
45	0.2269	0.3456	0.4733	0.6082	0.7495	0.8963	1.0482	1.2046	1.3652	1.5296	1.6977	1.8692

Anmerkung: Umrandet sind die Werte, die sich direkt aus der Messung der Probebäume ergeben; außerhalb der Umrandung stehende Werte wurden mittels Regressionen bestimmt

Anhang 8: Unechte Formzahl von Pinus elliottii in Abhängigkeit von Höhe und Durchmesser in 1,30 Meter Höhe

1,3 in cm	Höhe in m 5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27
5	0.4823	0.4971	0.5109	0.5240	0.5365	0.5486	0.5603	0.5716	0.5827	0.5936	0.6042	0.6146
6	0.4786	0.4922	0.5048	0.5168	0.5283	0.5394	0.5501	0.5606	0.5707	0.5807	0.5904	0.6000
7	0.4758	0.4884	0.5001	0.5113	0.5220	0.5323	0.5422	0.5519	0.5614	0.5706	0.5797	0.5886
8	0.4735	0.4853	0.4964	0.5068	0.5169	0.5265	0.5359	0.5450	0.5539	0.5625	0.5711	0.5794
9	0.4716	0.4828	0.4932	0.5031	0.5126	0.5218	0.5306	0.5392	0.5476	0.5558	0.5639	0.5716
10	0.4700	0.4807	0.4905	0.5000	0.5090	0.5177	0.5262	0.5344	0.5423	0.5502	0.5578	0.5653
11	0.4687	0.4789	0.4884	0.4974	0.5060	0.5143	0.5223	0.5302	0.5378	0.5453	0.5526	0.5598
12	0.4675	0.4773	0.4864	0.4950	0.5033	0.5113	0.5190	0.5265	0.5339	0.5410	0.5480	0.5549
13	0.4665	0.4759	0.4847	0.4930	0.5009	0.5086	0.5161	0.5233	0.5304	0.5372	0.5440	0.5506
14	0.4656	0.4747	0.4831	0.4912	0.4989	0.5063	0.5134	0.5204	0.5272	0.5339	0.5404	0.5468
15	0.4648	0.4736	0.4818	0.4895	0.4970	0.5041	0.5111	0.5179	0.5244	0.5309	0.5372	0.5434
16	0.4641	0.4726	0.4805	0.4881	0.4953	0.5022	0.5090	0.5155	0.5219	0.5282	0.5343	0.5403
17	0.4634	0.4717	0.4794	0.4867	0.4937	0.5005	0.5070	0.5134	0.5196	0.5257	0.5316	0.5375
18	0.4628	0.4708	0.4784	0.4855	0.4923	0.4989	0.5053	0.5115	0.5175	0.5234	0.5292	0.5349
19	0.4622	0.4701	0.4774	0.4844	0.4910	0.4974	0.5037	0.5097	0.5156	0.5213	0.5270	0.5325
20	0.4617	0.4694	0.4766	0.4833	0.4898	0.4961	0.5022	0.5081	0.5138	0.5194	0.5249	0.5303
21	0.4613	0.4688	0.4758	0.4824	0.4887	0.4948	0.5008	0.5065	0.5121	0.5176	0.5230	0.5283
22	0.4608	0.4682	0.4750	0.4815	0.4877	0.4937	0.4995	0.5051	0.5106	0.5160	0.5212	0.5264
23	0.4604	0.4676	0.4743	0.4807	0.4867	0.4926	0.4983	0.5038	0.5092	0.5144	0.5196	0.5246
24	0.4601	0.4671	0.4737	0.4799	0.4858	0.4916	0.4971	0.5025	0.5078	0.5130	0.5180	0.5230
25	0.4597	0.4666	0.4731	0.4792	0.4850	0.4906	0.4961	0.5014	0.5066	0.5116	0.5166	0.5214
26	0.4594	0.4662	0.4725	0.4785	0.4842	0.4897	0.4951	0.5003	0.5054	0.5103	0.5152	0.5200
27	0.4591	0.4657	0.4719	0.4778	0.4835	0.4889	0.4941	0.4993	0.5043	0.5091	0.5139	0.5186
28	0.4588	0.4653	0.4714	0.4772	0.4828	0.4881	0.4933	0.4983	0.5032	0.5080	0.5127	0.5173
29	0.4585	0.4650	0.4710	0.4766	0.4821	0.4873	0.4924	0.4974	0.5022	0.5069	0.5115	0.5161
30	0.4583	0.4646	0.4705	0.4761	0.4815	0.4866	0.4916	0.4965	0.5012	0.5059	0.5104	0.5149
31	0.4580	0.4643	0.4701	0.4756	0.4809	0.4859	0.4909	0.4957	0.5003	0.5049	0.5094	0.5138
32	0.4578	0.4639	0.4697	0.4751	0.4803	0.4853	0.4901	0.4949	0.4995	0.5040	0.5084	0.5127
33	0.4576	0.4636	0.4693	0.4746	0.4797	0.4847	0.4895	0.4941	0.4986	0.5031	0.5074	0.5117
34	0.4574	0.4633	0.4689	0.4742	0.4792	0.4841	0.4888	0.4934	0.4979	0.5022	0.5065	0.5107
35	0.4572	0.4631	0.4685	0.4737	0.4787	0.4835	0.4882	0.4927	0.4971	0.5014	0.5056	0.5099
36	0.4570	0.4628	0.4682	0.4733	0.4782	0.4830	0.4876	0.4920	0.4964	0.5006	0.5048	0.5089
37	0.4568	0.4625	0.4679	0.4729	0.4778	0.4825	0.4870	0.4914	0.4957	0.4999	0.5040	0.5081
38	0.4566	0.4623	0.4676	0.4726	0.4774	0.4820	0.4864	0.4908	0.4950	0.4992	0.5033	0.5072
39	0.4565	0.4621	0.4673	0.4722	0.4769	0.4815	0.4859	0.4902	0.4944	0.4985	0.5025	0.5065
40	0.4563	0.4618	0.4670	0.4719	0.4765	0.4810	0.4854	0.4897	0.4938	0.4978	0.5018	0.5057
41	0.4562	0.4616	0.4667	0.4715	0.4762	0.4806	0.4849	0.4891	0.4932	0.4972	0.5011	0.5050
42	0.4560	0.4614	0.4664	0.4712	0.4758	0.4802	0.4844	0.4886	0.4926	0.4966	0.5005	0.5043
43	0.4559	0.4612	0.4662	0.4709	0.4754	0.4798	0.4840	0.4881	0.4921	0.4960	0.4998	0.5036
44	0.4557	0.4610	0.4659	0.4706	0.4751	0.4794	0.4836	0.4876	0.4916	0.4954	0.4992	0.5030
45	0.4556	0.4608	0.4657	0.4703	0.4747	0.4790	0.4831	0.4871	0.4911	0.4949	0.4985	0.5023

Anmerkung: Umrandet sind die Werte, die sich direkt aus der Messung der Probebäume ergeben; außerhalb der Umrandung stehende Werte wurden mittels Regressionen bestimmt

Anhang 9 Ertragstafeln von Pinus elliottii

Es wurden sieben Ertragstafeln unterschiedlicher Bonität gebildet (Oberhöhenbonitäten im Alter 30). Die Symbole bedeuten:

DG	Mitteldurchmesser des Grundflächenmittelstammes in $d_{1,3}$
HM	arithmetische Mittelhöhe
HO	Oberhöhe (der 100 stärksten Bäume je ha)
N/ha	Stammzahl je ha
G/ha	Grundfläche je ha
F	Formzahl
V/ha	Volumen je ha in Vorratsfestmetern Baumholz mit Rinde
VAC.	Summe der Vornutzungen
%	Summe der Vornutzungen in % des stehenden Vorrates
IMA	durchschnittlicher Gesamtmassenzuwachs dGZ
IPA	laufender Gesamtmassenzuwachs lGZ
GWL	Gesamtwuchsleistung
....	Angaben oberhalb der Linie (über die sehr jungen Bestände) kritisch zu beurteilen, da Stammzahlentwicklung geschätzt! Angaben unterhalb der Linie basieren auf der Forstinventur (bis Alter 30 Ergebnisse der Forstinventur, oberhalb Alter 30 Prognose der tatsächlichen Entwicklung der Bestände)

Bonität 22 (dGZ_{30} 18,2)

Pinus elliottii

Alter	verbleibender Bestand DG	HM	HO	N/HA	G/HA	F	V/HA	ausscheidender Bestand N/HA	V/HA	VAC.	%	GWL V/HA	dGZ IMA	lGZ IPA	Alter
5	10.1	4.9	5.6	2426	19.4	.4696	44.8			.0	.0	44.8	9.0		5
								25	1.1					27.7	
10	13.5	10.8	11.7	2400	34.4	.4913	182.3			1.1	.6	183.4	18.3		10
								1134	114.8					30.7	
15	17.4	14.7	15.9	1266	30.1	.4990	221.1			115.9	52.4	337.0	22.5		15
								375	64.1					19.6	
20	20.5	17.3	18.7	890	29.3	.5025	255.2			180.0	70.5	435.2	21.8		20
								169	39.8					13.2	
25	22.7	19.1	20.7	720	29.3	.5043	281.4			219.8	78.1	501.2	20.0		25
								89	25.5					8.9	
30	24.3	20.2	22.0	631	29.4	.5053	300.3			245.3	81.7	545.6	18.2		30
								50	16.2					5.8	
35	25.4	20.9	22.9	581	29.6	.5059	313.2			261.5	83.5	574.7	16.4		35
								28	9.9					3.6	
40	26.1	21.4	23.4	553	29.7	.5063	321.4			271.4	84.4	592.9	14.8		40

Bonität 24 (dGZ_{30} 20,3)

Pinus elliottii

Alter	verbleibender Bestand DG	HM	HO	N/HA	G/HA	F	V/HA	ausscheidender Bestand N/HA	V/HA	VAC.	%	GWL V/HA	dGZ IMA	lGZ IPA	Alter
5	10.2	5.4	6.1	2424	19.7	.4722	50.6	409	21.3	.0	.0	50.6	10.1	32.4	5
10	14.4	11.8	12.7	2014	32.8	.4936	191.1	960	121.6	21.3	11.1	212.4	21.2	33.6	10
15	18.9	16.0	17.3	1053	29.5	.5009	237.5	314	67.6	142.9	60.2	380.5	25.4	21.6	15
20	22.4	18.8	20.4	739	29.3	.5041	278.0	141	42.0	210.5	75.7	488.5	24.4	14.6	20
25	25.1	20.7	22.6	598	29.5	.5057	308.8	74	26.9	252.5	81.8	561.3	22.5	9.8	25
30	26.9	21.9	24.0	523	29.8	.5067	330.9	41	17.1	279.4	84.4	610.3	20.3	6.4	30
35	28.2	22.7	24.9	482	30.0	.5072	346.0	23	10.4	296.5	85.7	642.5	18.4	4.0	35
40	29.0	23.2	25.5	458	30.2	.5075	355.6			307.0	86.3	662.5	16.6		40

Bonität 26 (dGZ_{30} 22,7) Pinus elliottii

Alter	verbleibender Bestand DG	HM	HO	N/HA	G/HA	F	V/HA	ausscheidender Bestand N/HA	V/HA	VAC.	%	GWL V/HA	dGZ IMA	lGZ IPA	Alter
5	10.3	5.9	6.7	2421	20.3	.4746	57.2			.0	.0	57.2	11.4		5
								717	45.0					37.6	
10	15.4	12.8	13.8	1703	31.6	.4957	200.2			45.0	22.5	245.2	24.5		10
								814	127.5					36.5	
15	20.5	17.3	18.7	889	29.3	.5025	255.4			172.6	67.6	428.0	28.5		15
								265	71.2					23.6	
20	24.5	20.3	22.1	623	29.4	.5054	302.4			243.7	80.6	546.2	27.3		20
								119	44.2					16.0	
25	27.5	22.3	24.4	503	29.9	.5069	338.0			287.9	85.2	625.9	25.0		25
								62	28.2					10.7	
30	29.6	23.6	26.0	440	30.3	.5077	363.5			316.1	87.0	679.7	22.7		30
								35	17.9					7.1	
35	31.0	24.5	27.0	405	30.6	.5082	380.9			334.1	87.7	715.0	20.4		35
								19	10.9					4.4	
40	31.9	25.0	27.7	385	30.9	.5084	392.0			345.0	88.0	736.9	18.4		40

Bonität 28 (dGZ_{30} 25,2)

Pinus elliottii

Alter	verbleibender Bestand DG	HM	HO	N/HA	G/HA	F	V/HA	ausscheidender Bestand N/HA	V/HA	VAC.	%	GWL V/HA	dGZ IMA	lGZ IPA	Alter
5	10.5	6.4	7.2	2419	21.1	.4769	64.8	961	72.4	.0	.0	64.8	13.0	43.6	5
10	16.4	13.8	14.8	1458	30.7	.4975	210.3	699	133.8	72.4	34.4	282.7	28.3	39.6	10
15	22.1	18.6	20.2	759	29.3	.5039	274.6	227	74.8	206.1	75.1	480.7	32.0	25.7	15
20	26.7	21.8	23.8	531	29.8	.5066	328.4	102	46.3	280.9	85.5	609.3	30.5	17.4	20
25	30.1	23.9	26.3	428	30.4	.5079	369.1	53	29.5	327.2	88.6	696.3	27.9	11.7	25
30	32.4	25.3	28.0	374	31.0	.5086	398.2	30	18.6	356.6	89.6	754.8	25.2	7.7	30
35	34.0	26.2	29.1	344	31.4	.5090	418.0	17	11.3	375.3	89.8	793.2	22.7	4.8	35
40	35.1	26.7	29.8	327	31.6	.5092	430.6			386.6	89.8	817.1	20.4		40

Bonität 30 (dGZ30 27,9)

Pinus elliottii

Alter	verbleibender Bestand DG	HM	HO	N/HA	G/HA	F	V/HA	ausscheidender Bestand N/HA	V/HA	VAC.	%	GWL V/HA	dGZ IMA	lGZ IPA	Alter
5	10.8	6.9	7.7	2417	22.1	.4790	73.4	1156	103.8	.0	.0	73.4	14.7	50.4	5
10	17.4	14.8	15.9	1261	30.1	.4991	221.4	606	140.2	103.8	46.9	325.3	32.5	42.8	10
15	23.9	19.9	21.6	655	29.4	.5051	294.9	197	78.3	244.1	82.8	539.0	35.9	27.9	15
20	29.0	23.2	25.5	457	30.2	.5075	356.0	88	48.3	322.4	90.6	678.4	33.9	18.8	20
25	32.7	25.4	28.2	368	31.1	.5087	401.9	46	30.6	370.7	92.2	772.6	30.9	12.7	25
30	35.4	26.9	30.0	322	31.7	.5093	434.7	26	19.2	401.2	92.3	835.9	27.9	8.3	30
35	37.2	27.8	31.2	296	32.2	.5096	457.0	14	11.6	420.5	92.0	877.5	25.1	5.2	35
40	38.3	28.4	31.9	281	32.5	.5098	471.2			432.1	91.7	903.3	22.6		40

Bonität 32 (dGZ_{30} 30,8)

Pinus elliottii

Alter	verbleibender Bestand DG	HM	HO	N/HA	G/HA	F	V/HA	ausscheidender Bestand N/HA	V/HA	VAC.	%	GWL V/HA	dGZ IMA	lGZ IPA	Alter
5	11.1	7.5	8.2	2415	23.2	.4810	83.1	1314	140.0	.0	.0	83.1	16.6	58.1	5
10	18.5	15.7	17.0	1100	29.6	.5005	233.4	530	146.9	140.0	60.0	373.3	37.3	46.0	10
15	25.7	21.1	23.1	570	29.6	.5061	316.5	172	81.8	286.8	90.6	603.3	40.2	30.1	15
20	31.4	24.7	27.3	397	30.7	.5083	385.0	77	50.1	368.6	95.7	753.6	37.7	20.3	20
25	35.5	27.0	30.1	320	31.8	.5093	436.4	40	31.5	418.7	95.9	855.1	34.2	13.6	25
30	38.5	28.5	32.0	279	32.6	.5098	473.1	22	19.7	450.2	95.2	923.3	30.8	8.9	30
35	40.5	29.5	33.3	256	33.1	.5101	498.0	12	11.9	469.9	94.4	968.0	27.7	5.6	35
40	41.8	30.1	34.0	244	33.4	.5103	513.9			481.8	93.8	995.7	24.9		40

Bonität 34 (dGZ_{30} 33,9)

Pinus elliottii

Alter	verbleibender Bestand DG	HM	HO	N/HA	G/HA	F	V/HA	ausscheidender Bestand N/HA	V/HA	VAC.	%	GWL V/HA	dGZ IMA	lGZ IPA	Alter
5	11.4	8.0	8.7	2413	24.4	.4828	93.8	1445	181.3	.0	.0	93.8	18.8	66.7	5
10	19.7	16.7	18.0	968	29.4	.5017	246.1	467	153.6	181.3	73.7	427.4	42.7	49.3	10
15	27.6	22.4	24.5	500	29.9	.5070	339.1	151	85.1	334.9	98.7	674.0	44.9	32.3	15
20	33.8	26.1	29.0	348	31.3	.5089	415.4	68	51.7	420.0	101.1	835.4	41.8	21.8	20
25	38.5	28.5	32.0	280	32.5	.5098	472.5	35	32.3	471.7	99.8	944.2	37.8	14.6	25
30	41.7	30.1	34.0	244	33.4	.5103	513.2	20	20.1	504.0	98.2	1017.2	33.9	9.6	30
35	43.9	31.1	35.3	224	34.0	.5105	540.9	11	12.0	524.0	96.9	1065.0	30.4	5.9	35
40	45.3	31.8	36.2	213	34.4	.5106	558.6			536.0	96.0	1094.6	27.4		40

Anhang 10: Ergebnisse der Forstinventur (Stichprobenanalyse) am Beispiel der Abteilung 64

TRA NUM.	IDA DE	D (CM)	DG (CM)	DDOM (CM)	HM (M)	HDOM (M)	G (M2)	IMAG (M2)	VC/C (M3)	VS/C (M3)	IMAV (M3)	ST (M3)	VI VA	MOR TAS	N/ (HA)	N/ (M3)	S	CV%	SITIO	T.PARC.	TALHAO
45	16	26.6	27.0	32.5	19.0	19.5	33.3	2.1	337.8	268.7	21.1	482.5	100	0	583	1.7	4.3	16.0	1	1	64
46	16	27.5	27.9	34.2	21.7	23.7	36.7	2.3	414.0	334.8	25.9	591.4	97	3	600	1.4	4.7	17.2	1	2	64
47	16	26.6	26.8	31.5	21.2	23.0	32.1	2.0	355.5	285.4	22.2	507.9	100	0	566	1.6	3.7	13.8	2	1	64
48	16	27.1	27.5	33.8	20.3	22.5	37.5	2.3	400.8	321.6	25.1	572.6	100	0	633	1.6	4.8	17.9	1	1	64
MED.	16	27.0	27.3	33.0	20.6	22.2	34.9	2.2	377.0	302.6	23.6	538.6	99	0	595	1.6	4.4	16.2			

Symbole:

TRANUM	Stichprobennummer
IDA	Alter
D	arithmetischer Mitteldurchmesser
DG	Durchmesser des Grundflächenmittelstammes
D DOM	Mitteldurchmesser der 100 stärksten Bäume
HM	Mittelhöhe
H DOM	Oberhöhe
G	Grundfläche
IMAG	durchschnittlicher Grundflächenzuwachs
VC/C	Vorrat in Vfm Baumholz mit Rinde
VS/C	Vorrat in Vfm Baumholz ohne Rinde
IMAV	durchschnittlicher Volumenzuwachs (Vfm Baumholz mit Rinde)
ST	Vorrat in Raummetern
VIVA	lebende Bäume in % aller Bäume
MORTAS	abgestorbene Bäume in % aller Bäume
N/(HA)	Stammzahl je Hektar
N/(M3)	Stammzahl pro Vorratsfestmeter
S	Standardabweichung für D
CV%	Variationskoeffizient für D
SITIO	Standortseinheit
T.PARC.	Stichprobentyp (1 permanent, 2 temporär)
TALHAO	Abteilungsnummer

Anhang 11 Formeln für die Auswertung der Inventur

1. Mittelwert des Vorrats in den permanenten Stichproben ($\bar{X}_m$), in den temporären Stichproben ($\bar{X}_u$) bzw. in allen Stichproben ($\bar{X}$)

$$- \bar{X}_m = \left| \sum_{i=1}^{m} X_{mi} \right| / m$$

$$- \bar{X}_u = \left| \sum_{i=1}^{m} X_{ui} \right| / u$$

$$- \bar{X} = (u \cdot \bar{X}_u + m \cdot \bar{X}_m) / (u + m)$$

2. Varianz des Vorrats in den Stichprobentypen (S^2X_u, S^2X_m, S^2X)

$$S^2h = \frac{1}{nh-1} \cdot (\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{nh})$$

3. Mittelwert des Vorrats der stratifizierten Populationen ($\bar{Y}st$)

$$\bar{Y}st = \frac{\sum_{h-1}^{L} Nh \cdot \bar{y}h}{\sum_{h=1}^{L} Nh}$$

4. Varianz der stratifizierten Populationen ($S^2\bar{y}st$)

$$S^2\bar{y}st = \frac{1}{N^2} \cdot \sum_{h=1}^{L} \frac{Nh^2 \cdot S^2h}{nh} \cdot (1 - \frac{nh}{Nh})$$

5. Standardfehler ($S\bar{y}st$)

$$S\bar{y}st = \sqrt{S^2\bar{y}st}$$

6. Stichprobenfehler (E)

$$E = \frac{t \cdot CV}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{N - n}{N}}$$

7. Variationskoeffizient (CV)

$$CV = \frac{Sst}{\bar{Y}st} \cdot 100$$

8. Vertrauensintervalle (IC) für p = 0,05 für den Mittelwert $\bar{y}st$

$$IC = \{\bar{Y}st \pm t \cdot S\bar{y}st\}$$

9. Aufnahmeeinheiten bei optimaler Verteilung

$$nh = \frac{Nh \cdot Sh}{\sum_{h=1}^{L} Nh \cdot Sh}$$

Symbole:	m	Zahl der permanenten Stichproben
	u	Zahl der temporären Stichproben
	x	Vorrat je Hektar
	Nh	Anzahl möglicher Stichproben im Stratum h
	$\bar{Y}h$	Mittelwert des Vorrats im Stratum h
	N	Anzahl möglicher Stichproben in der Population
	S^2h	Varianz im Stratum h
	sh	Standardabweichung im Stratum h
	nh	Zahl der Stichproben im Stratum h
	n	Zahl der Stichproben im Ganzen
	t	T-Wert nach STUDENT
	h	Stratum

Anhang 12

Bestandessortentafel für 20-jährige Pinus elliottii-Bestände der Bonität 28 - gegliedert nach Durchmesserklassen

Die Tabellen geben die Sortimentsgliederung des verbleibenden Bestandes bzw. ausscheidenden Bestandes verteilt auf die Durchmesserklassen in einem bestimmten Alter wieder. Die Summenzeilen am Ende der jeweiligen Tabellen gehen in die Bestandessortentafeln im Anh. 13 ein.

Symbole:

DAP — Durchmesserklassen in 2 cm-Stufen

PERDA — Ernteverluste bei der Holzernte

SERRARIA — Sägeholz (Holz mit einem Durchmesser mit Rinde von 18 cm und mehr)

INDUSTRIA — Industrieholz für Zellulose und Spanplatten (Holz mit einem Durchmesser mit Rinde zwischen 8 und 18 cm)

RESIDUO — Brenn-, Holzkohle- und Abfallholz (Holz mit einem Durchmesser mit Rinde, der kleiner oder gleich 8 cm ist)

CASCA — Rindenanteil in % des gesamten Volumens pro Durchmesserstufe

a) Sortimentsgliederung des verbleibenden Bestandes im Alter 20 in % des Vorrats bzw. in Vorratsfestmetern mit Rinde nach Durchmesserklassen

DAP (CM)	TOTAL %	TOTAL M3	PERDA %	PERDA M3	SERRARIA %	SERRARIA M3	INDUSTRIA %	INDUSTRIA M3	RESIDUO %	RESIDUO M3	CASCA %
12- 14	.1	.328	4.4	.014	.0	.000	84.2	.276	11.5	.038	21.62
14- 16	.6	1.971	3.7	.072	.0	.000	89.9	1.772	6.4	.126	21.13
16- 18	2.6	8.539	3.0	.260	.0	.000	93.5	7.981	3.5	.298	20.72
18- 20	6.7	22.005	2.7	.595	33.8	7.440	61.1	13.450	2.4	.521	20.38
20- 22	12.5	41.055	2.5	1.016	51.7	21.243	43.9	18.009	1.9	.787	20.10
22- 24	17.1	56.163	2.3	1.281	66.2	37.195	29.9	16.766	1.6	.921	19.86
24- 26	16.5	54.192	2.1	1.146	76.7	41.575	19.7	10.686	1.4	.786	19.66
26- 28	13.9	45.653	2.0	.911	83.7	38.198	13.0	5.951	1.3	.593	19.49
28- 30	11.9	39.084	1.9	.741	88.1	34.438	8.8	3.448	1.2	.457	19.34
30- 32	8.3	27.260	1.8	.493	90.9	24.790	6.2	1.689	1.1	.289	19.20
32- 34	4.8	15.765	1.7	.272	92.8	14.626	4.5	.716	1.0	.151	19.08
34- 36	2.8	9.196	1.7	.152	94.0	8.645	3.5	.320	.9	.079	18.98
36- 38	1.1	3.613	1.6	.057	94.9	3.427	2.8	.101	.8	.028	18.89
38- 40	.7	2.299	1.5	.035	95.5	2.195	2.3	.053	.7	.016	18.80
40- 42	.4	1.314	1.5	.020	95.9	1.260	2.0	.026	.6	.008	18.72
	100.0	328.44	2.2	7.067	71.6	235.031	24.7	81.244	1.6	5.098	

b) Sortimentsgliederung des ausscheidenden Bestandes der Durchforstungsperiode von Alter 20 bis 25 in % des gesamten Durchforstungsanfalls bzw. in Vorratsfestmetern mit Rinde nach Durchmesserklassen

DAP (CM)	TOTAL %	TOTAL M3	PERDA %	PERDA M3	SERRARIA %	SERRARIA M3	INDUSTRIA %	INDUSTRIA M3	RESIDUO %	RESIDUO M3	CASCA %
12- 14	.3	.139	4.4	.006	.0	.000	84.2	.117	11.5	.016	21.62
14- 16	1.5	.694	3.7	.025	.0	.000	89.9	.624	6.4	.044	21.13
16- 18	5.9	2.731	3.0	.083	.0	.000	93.5	2.552	3.5	.095	20.72
18- 20	12.9	5.971	2.7	.162	33.8	2.019	61.1	3.649	2.4	.141	20.38
20- 22	18.6	8.609	2.5	.213	51.7	4.455	43.9	3.776	1.9	.165	20.10
22- 24	18.0	8.332	2.3	.190	66.2	5.518	29.9	2.487	1.6	.137	19.86
24- 26	14.7	6.804	2.1	.144	76.7	5.220	19.7	1.342	1.4	.099	19.66
26- 28	12.0	5.554	2.0	.111	83.7	4.647	13.0	.724	1.3	.072	19.49
28- 30	8.2	3.796	1.9	.072	88.1	3.344	8.8	.335	1.2	.044	19.34
30- 32	4.3	1.990	1.8	.036	90.9	1.810	6.2	.123	1.1	.021	19.20
32- 34	2.3	1.065	1.7	.018	92.8	.988	4.5	.048	1.0	.010	19.08
34- 36	.8	.370	1.7	.006	94.0	.348	3.5	.013	.9	.003	18.98
36- 38	.5	.231	1.6	.004	94.9	.220	2.8	.006	.8	.002	18.89
	100.0	46.29	2.3	1.070	61.7	28.568	34.1	15.798	1.8	.850	

Anhang 13

Bestandessortentafeln für Pinus elliottii

Die Bestandessortentafeln sind gegliedert nach Bonitäten. Sie geben für eine bestimmte Bonität die Entwicklung der einzelnen Sortimente an dem Vorrat eines Bestandes an. Als Eingangsgrößen dienen Bonität und Alter. Der ebenfalls angegebene Mitteldurchmesser bzw. die Mittelhöhe sollen daraufhinweisen, daß die Tafelwerte strenggenommen nur für Bestände einer bestimmten Durchmesser- und Höhenentwicklung gelten.

Symbole:

DG Durchmesser des Grundflächenmittelstammes

HM Mittelhöhe

PER Holzernteverluste in % des Gesamtvolumens (mit Rinde)

SER Sägeholz (Holz mit einem Durchmesser mit Rinde von 18 cm und mehr)

IND Industrieholz für Zellulose und Spanplatten (Holz mit einem Durchmesser mit Rinde zwischen 8 und 18 cm)

RES Brenn-, Holzkohle- und Abfallholz (Holz mit einem Durchmesser mit Rinde, der kleiner oder gleich 8 cm ist)

PER + SER + IND + RES ergeben 100 %

CASCA Rindenanteil in % des Vorrats

Bestandessortentafel für Pinus elliottii

Bonität $h_{30} = 22$

	Verbleibender Bestand							Ausscheidender Bestand						
	DG	HM	Sortimente mit Rinde (%)				%	DG	HM	Sortimente mit Rinde (%)				%
ter	(CM)	(M)	PER	SER	IND	RES	CASCA	(CM)	(M)	PER	SER	IND	RES	CASCA
5	10.08	4.93	3.88	.81	40.48	54.84	19.86							
								13.50	10.80	3.81	.98	40.51	54.70	21.49
0	13.50	10.80	4.19	6.42	68.27	21.12	19.34							
								15.59	12.91	3.81	13.01	71.81	11.36	21.00
5	17.39	14.74	3.28	22.29	68.22	6.21	19.20							
								17.18	14.53	3.28	22.26	68.27	6.19	20.69
0	20.47	17.33	2.85	34.63	58.78	3.73	19.08							
								18.52	15.69	2.85	34.45	59.06	3.65	20.46
5	22.74	19.06	2.31	61.63	34.21	1.85	18.89							
								19.47	16.49	2.31	61.94	33.93	1.82	20.31
0	24.34	20.21	2.32	61.49	34.34	1.86	18.89							
								20.11	17.03	2.31	61.88	33.99	1.82	20.22
5	25.43	20.95	2.15	72.13	24.20	1.52	18.80							
								20.51	17.37	2.14	72.64	23.71	1.51	20.17
0	26.12	21.41	2.01	80.00	16.67	1.32	18.65							

Bestandessortentafel für Pinus elliottii

Bonität $h_{30} = 24$

er	Verbleibender Bestand DG (CM)	HM (M)	Sortimente mit Rinde (%) PER	SER	IND	RES	% CASCA	Ausscheidender Bestand DG (CM)	HM (M)	Sortimente mit Rinde (%) PER	SER	IND	RES	% CASCA
5	10.17	5.44	3.73	.81	40.63	54.84	19.66							
								14.40	11.80	4.49	2.79	55.95	36.77	21.26
0	14.40	11.80	4.16	6.54	68.03	21.28	19.49							
								16.64	13.92	4.16	6.54	68.03	21.28	20.79
5	18.89	16.05	2.85	34.48	59.00	3.67	19.08							
								18.46	15.64	2.84	34.44	59.06	3.65	20.47
0	22.44	18.84	2.54	48.49	46.48	2.48	18.98							
								19.94	16.87	2.54	48.53	46.50	2.43	20.24
5	25.06	20.70	2.14	72.17	24.17	1.52	18.80							
								20.98	17.69	2.14	72.59	23.75	1.51	20.10
0	26.91	21.92	2.01	79.91	16.76	1.32	18.80							
								21.67	18.24	2.14	72.52	23.82	1.51	20.02
5	28.16	22.72	2.01	79.76	16.90	1.33	18.72							
								22.10	18.57	2.14	72.48	23.87	1.51	19.97
0	28.95	23.21	1.90	85.30	11.62	1.18	18.59							

Bestandessortentafel für Pinus elliottii

Bonität $h_{30} = 26$

	Verbleibender Bestand							Ausscheidender Bestand						
	DG	HM	Sortimente mit Rinde (%)				%	DG	HM	Sortimente mit Rinde (%)				%
ter	(CM)	(M)	PER	SER	IND	RES	CASCA	(CM)	(M)	PER	SER	IND	RES	CASCA
5	10.33	5.94	4.48	2.45	56.75	36.33	19.49							
10	15.36	12.80	3.80	12.98	71.89	11.33	19.34	15.36	12.80	4.44	6.66	67.47	21.44	21.05
15	20.48	17.35	2.85	34.63	58.78	3.73	19.08	17.72	14.90	3.80	12.98	71.89	11.33	20.59
20	24.52	20.33	2.32	61.47	34.35	1.86	18.89	19.77	16.71	2.85	34.56	58.88	3.70	20.27
25	27.50	22.30	2.01	79.84	16.83	1.32	18.72	21.38	18.01	2.31	61.76	34.10	1.83	20.05
30	29.60	23.61	1.90	85.24	11.68	1.18	18.65	22.49	18.83	2.14	72.44	23.91	1.52	19.92
35	31.03	24.46	1.81	88.98	8.16	1.05	18.59	23.22	19.36	2.01	80.25	16.42	1.32	19.84
40	31.93	24.98	1.81	88.92	8.22	1.05	18.48	23.66	19.69	1.90	85.72	11.21	1.17	19.79

Bestandessortentafel für Pinus elliottii

Bonität $h_{30} = 28$

	Verbleibender Bestand							Ausscheidender Bestand						
	DG	HM	Sortimente mit Rinde (%)				%	DG	HM	Sortimente mit Rinde (%)				%
ter	(CM)	(M)	PER	SER	IND	RES	CASCA	(CM)	(M)	PER	SER	IND	RES	CASCA
5	10.53	6.45	4.38	2.47	56.81	36.35	19.49							
								16.36	13.79	4.36	6.79	67.24	21.61	20.84
10	16.36	13.79	3.79	13.13	71.61	11.47	19.34							
								18.84	15.86	3.79	13.13	71.61	11.47	20.41
15	22.15	18.63	2.54	48.49	46.49	2.47	18.98							
								21.09	17.74	2.54	48.51	46.50	2.45	20.09
20	26.70	21.79	2.15	71.96	24.36	1.53	18.72							
								22.81	19.09	2.15	71.96	24.36	1.53	19.89
25	30.06	23.89	1.90	85.20	11.72	1.18	18.65							
								23.98	19.90	2.01	80.19	16.48	1.32	19.76
30	32.44	25.27	1.81	88.89	8.25	1.05	18.59							
								24.72	20.42	1.90	85.66	11.27	1.17	19.69
35	34.05	26.17	1.72	91.42	5.91	.95	18.53							
								25.17	20.73	1.80	89.35	7.80	1.05	19.65
40	35.07	26.72	1.65	93.14	4.35	.85	18.38							

Bestandessortentafel für Pinus elliottii

Bonität $h_{30} = 30$

	Verbleibender Bestand							Ausscheidender Bestand						
	DG	HM	Sortimente mit Rinde (%)				%	DG	HM	Sortimente mit Rinde (%)				%
ter	(CM)	(M)	PER	SER	IND	RES	CASCA	(CM)	(M)	PER	SER	IND	RES	CASCA
5	10.78	6.95	4.30	2.49	56.84	36.37	19.49							
								17.42	14.76	4.30	6.92	66.99	21.79	20.64
10	17.42	14.76	3.28	22.30	68.22	6.21	19.20							
								19.99	16.80	3.28	22.71	67.56	6.45	20.24
15	23.89	19.89	2.32	61.53	34.30	1.86	18.80							
								22.42	18.73	2.31	61.66	34.18	1.84	19.93
20	28.98	23.23	1.90	85.30	11.63	1.18	18.65							
								24.23	20.11	2.01	80.17	16.50	1.32	19.74
25	32.74	25.44	1.81	88.87	8.27	1.05	18.59							
								25.43	20.90	1.90	85.62	11.31	1.17	19.62
30	35.40	26.90	1.65	93.13	4.37	.86	18.43							
								26.18	21.39	1.65	93.39	4.10	.85	19.56
35	37.20	27.85	1.59	94.28	3.37	.77	18.38							
								26.62	21.68	1.59	94.47	3.17	.77	19.52
40	38.35	28.43	1.59	94.25	3.39	.77	18.34							

Bestandessortentafel für Pinus elliottii

Bonität $h_{30} = 32$

	Verbleibender Bestand							Ausscheidender Bestand						
	DG	HM	Sortimente mit Rinde (%)				%	DG	HM	Sortimente mit Rinde (%)				%
ter	(CM)	(M)	PER	SER	IND	RES	CASCA	(CM)	(M)	PER	SER	IND	RES	CASCA
5	11.05	7.45	4.23	2.51	56.86	36.40	19.49							
								18.52	15.73	4.24	7.08	66.69	22.00	20.46
10	18.52	15.73	3.28	22.47	67.94	6.31	19.20							
								21.16	17.72	3.29	22.90	67.26	6.56	20.08
15	25.70	21.13	2.15	72.10	24.23	1.53	18.72							
								23.76	19.67	2.15	72.10	24.23	1.53	19.78
20	31.36	24.65	1.81	88.96	8.18	1.05	18.59							
								25.63	21.08	1.90	85.61	11.32	1.17	19.60
25	35.54	26.97	1.65	93.12	4.37	.86	18.43							
								26.83	21.83	1.65	93.37	4.12	.85	19.50
30	38.50	28.51	1.59	94.25	3.39	.77	18.38							
								27.56	22.29	1.59	94.46	3.19	.77	19.44
35	40.50	29.50	1.53	95.06	2.72	.69	18.34							
								27.97	22.54	1.53	95.21	2.57	.69	19.41
40	41.78	30.11	1.48	95.63	2.26	.62	18.30							

Bestandessortentafel für Pinus elliottii

Bonität $h_{30} = 34$

	Verbleibender Bestand							Ausscheidender Bestand						
	DG	HM	Sortimente mit Rinde (%)				%	DG	HM	Sortimente mit Rinde (%)				%
ter	(CM)	(M)	PER	SER	IND	RES	CASCA	(CM)	(M)	PER	SER	IND	RES	CASCA
5	11.36	7.95	4.17	2.53	56.86	36.44	19.49							
								19.66	16.69	4.18	7.25	66.35	22.22	20.28
10	19.66	16.69	2.85	34.55	58.90	3.70	18.98							
								22.35	18.61	2.86	34.80	58.52	3.82	19.94
15	27.59	22.36	2.01	79.83	16.84	1.32	18.65							
								25.08	20.57	2.01	79.83	16.84	1.32	19.65
20	33.84	26.05	1.72	91.43	5.90	.95	18.48							
								26.99	21.93	1.72	91.73	5.60	.95	19.49
25	38.45	28.48	1.59	94.25	3.39	.77	18.38							
								28.16	22.70	1.59	94.45	3.20	.77	19.40
30	41.72	30.08	1.48	95.64	2.26	.62	18.34							
								28.85	23.10	1.53	95.20	2.58	.69	19.35
35	43.94	31.12	1.44	96.04	1.96	.56	18.30							
								29.21	23.32	1.48	95.74	2.16	.62	19.32
40	45.35	31.76	1.40	96.36	1.74	.50	18.30							

Anhang 14

Bestimmung der Umtriebszeit des maximalen Bodenreinertrags für Pinus elliottii

Die Umtriebszeit des maximalen Bodenreinertrags wurde mit folgender Formel bestimmt:

$$\frac{Au + \Sigma D - (c + u \cdot v) - 0{,}0p_K \cdot \Sigma H_m}{u} = 0{,}0p_K \cdot B \rightarrow max$$

Die Tabellen geben die Bodenreinerträge in ORTN je ha normaler Betriebsklasse an, wobei sich die berechneten Normalwaldmodelle durch unterschiedliche Bonitäten (Tabelle a-d), unterschiedliche geforderte Zinsfüße und Variationen der Umtriebszeit voneinander unterscheiden.

a) Bonität h_{30} = 22

Interner Zinsfuß Pi = 5.0800 [%] Bodenwert B = 22.00 [ORTN je ha]

Zins-fuß	Umtriebszeit 5	10	15	20	25	30	35	40
1	-10.0	-1.5	6.6	9.0	12.8	11.3	11.0	10.0
2	-10.4	-2.2	5.5	7.5	11.4	9.8	9.3	8.2
3	-10.8	-3.0	4.4	6.1	9.9	8.3	7.7	6.5
4	-11.1	-3.8	3.3	4.7	8.4	6.8	6.0	4.7
5	-11.5	-4.6	2.2	3.2	7.0	5.3	4.4	2.9
6	-11.9	-5.3	1.1	1.8	5.5	3.9	2.8	1.1
7	-12.3	-6.1	.0	.3	4.0	2.4	1.1	-.7
8	-12.7	-6.9	-1.1	-1.1	2.6	.9	-.5	-2.5
9	-13.1	-7.6	-2.3	-2.5	1.1	-.6	-2.2	-4.3
10	-13.5	-8.4	-3.4	-4.0	-.4	-2.1	-3.8	-6.1
11	-13.8	-9.2	-4.5	-5.4	-1.8	-3.6	-5.4	-7.9
12	-14.2	-9.9	-5.6	-6.9	-3.3	-5.1	-7.1	-9.7
13	-14.6	-10.7	-6.7	-8.3	-4.8	-6.6	-8.7	-11.5
14	-15.0	-11.5	-7.8	-9.7	-6.2	-8.1	-10.4	-13.3
15	-15.4	-12.3	-8.9	-11.2	-7.7	-9.6	-12.0	-15.1
16	-15.8	-13.0	-10.0	-12.6	-9.2	-11.0	-13.7	-16.8
17	-16.2	-13.8	-11.1	-14.1	-10.6	-12.5	-15.3	-18.6
18	-16.5	-14.6	-12.2	-15.5	-12.1	-14.0	-16.9	-20.4
19	-16.9	-15.3	-13.3	-17.0	-13.6	-15.5	-18.6	-22.2
20	-17.3	-16.1	-14.4	-18.4	-15.0	-17.0	-20.2	-24.0
21	-17.7	-16.9	-15.5	-19.8	-16.5	-18.5	-21.9	-25.8
22	-18.1	-17.7	-16.6	-21.3	-17.9	-20.0	-23.5	-27.6
23	-18.5	-18.4	-17.7	-22.7	-19.4	-21.5	-25.1	-29.4
24	-18.9	-19.2	-18.8	-24.2	-20.9	-23.0	-26.8	-31.2

b) Bonität h_{30} = 26

Interner Zinsfuß Pi = 5.5000 [%] Bodenwert B = 74.67 [ORTN je ha]

Zins-fuß	Umtriebszeit 5	10	15	20	25	30	35	40
1	-8.3	4.2	13.6	20.0	22.5	21.1	19.0	16.3
2	-8.8	3.2	12.3	18.4	20.8	19.3	17.0	14.1
3	-9.3	2.3	11.1	16.8	19.1	17.5	15.0	11.9
4	-9.7	1.4	9.8	15.2	17.3	15.6	13.0	9.7
5	-10.2	.4	8.5	13.5	15.6	13.8	11.0	7.5
6	-10.7	-.5	7.2	11.9	13.9	12.0	8.9	5.3
7	-11.2	-1.5	5.9	10.3	12.2	10.2	6.9	3.1
8	-11.6	-2.4	4.7	8.7	10.5	8.4	4.9	.9
9	-12.1	-3.4	3.4	7.1	8.8	6.5	2.9	-1.3
10	-12.6	-4.3	2.1	5.5	7.0	4.7	.9	-3.5
11	-13.0	-5.3	.8	3.9	5.3	2.9	-1.1	-5.7
12	-13.5	-6.2	-.4	2.3	3.6	1.1	-3.1	-7.9
13	-14.0	-7.1	-1.7	.6	1.9	-.8	-5.1	-10.2
14	-14.5	-8.1	-3.0	-1.0	.2	-2.6	-7.2	-12.4
15	-14.9	-9.0	-4.3	-2.6	-1.5	-4.4	-9.2	-14.6
16	-15.4	-10.0	-5.6	-4.2	-3.3	-6.2	-11.2	-16.8
17	-15.9	-10.9	-6.8	-5.8	-5.0	-8.0	-13.2	-19.0
18	-16.4	-11.9	-8.1	-7.4	-6.7	-9.9	-15.2	-21.2
19	-16.8	-12.8	-9.4	-9.0	-8.4	-11.7	-17.2	-23.4
20	-17.3	-13.8	-10.7	-10.6	-10.1	-13.5	-19.2	-25.6
21	-17.8	-14.7	-12.0	-12.3	-11.8	-15.3	-21.2	-27.8
22	-18.2	-15.6	-13.2	-13.9	-13.6	-17.2	-23.3	-30.0
23	-18.7	-16.6	-14.5	-15.5	-15.3	-19.0	-25.3	-32.2

c) Bonität h_{30} = 30

Interner Zinsfuß Pi = 6.1900 [%] Bodenwert B =127.33 [ORTN je ha]

Zins-fuß	Umtriebszeit 5	10	15	20	25	30	35	40
1	-7.2	11.8	28.3	35.2	33.7	31.2	27.8	24.3
2	-7.8	10.7	26.8	33.3	31.7	29.2	25.6	21.9
3	-8.4	9.5	25.3	31.5	29.8	27.1	23.4	19.6
4	-9.0	8.3	23.8	29.6	27.8	25.1	21.2	17.3
5	-9.6	7.1	22.3	27.8	25.9	23.0	19.1	14.9
6	-10.2	5.9	20.8	25.9	23.9	21.0	16.9	12.6
7	-10.8	4.8	19.2	24.1	22.0	18.9	14.7	10.3
8	-11.4	3.6	17.7	22.2	20.0	16.9	12.5	7.9
9	-12.0	2.4	16.2	20.4	18.1	14.8	10.3	5.6
10	-12.6	1.2	14.7	18.5	16.1	12.8	8.1	3.3
11	-13.1	.0	13.2	16.6	14.2	10.7	5.9	.9
12	-13.7	-1.1	11.7	14.8	12.2	8.7	3.7	-1.4
13	-14.3	-2.3	10.2	12.9	10.3	6.6	1.5	-3.7
14	-14.9	-3.5	8.6	11.1	8.3	4.6	-.7	-6.1
15	-15.5	-4.7	7.1	9.2	6.4	2.5	-2.9	-8.4
16	-16.1	-5.8	5.6	7.4	4.4	.5	-5.1	-10.7
17	-16.7	-7.0	4.1	5.5	2.5	-1.6	-7.3	-13.1
18	-17.3	-8.2	2.6	3.7	.5	-3.6	-9.4	-15.4
19	-17.9	-9.4	1.1	1.8	-1.4	-5.7	-11.6	-17.7
20	-18.4	-10.6	-.5	.0	-3.4	-7.7	-13.8	-20.1
21	-19.0	-11.7	-2.0	-1.9	-5.4	-9.8	-16.0	-22.4
22	-19.6	-12.9	-3.5	-3.7	-7.3	-11.8	-18.2	-24.7
23	-20.2	-14.1	-5.0	-5.6	-9.3	-13.9	-20.4	-27.1
24	-20.8	-15.3	-6.5	-7.4	-11.2	-16.0	-22.6	-29.4

d) Bonität h_{30} = 34

Interner Zinsfuß Pi = 6.7300 [%] Bodenwert B =180.00 [ORTN je ha]

Zins-fuß	Umtriebszeit 5	10	15	20	25	30	35	40
1	-5.9	22.3	44.0	47.9	45.5	41.4	36.8	32.4
2	-6.6	20.9	42.3	45.9	43.4	39.3	34.5	30.1
3	-7.3	19.4	40.5	43.8	41.3	37.1	32.3	27.7
4	-8.0	18.0	38.8	41.8	39.2	35.0	30.1	25.4
5	-8.7	16.6	37.1	39.8	37.2	32.9	27.9	23.1
6	-9.4	15.1	35.3	37.7	35.1	30.8	25.6	20.7
7	-10.2	13.7	33.6	35.7	33.0	28.6	23.4	18.4
8	-10.9	12.3	31.9	33.7	30.9	26.5	21.2	16.0
9	-11.6	10.8	30.1	31.6	28.9	24.4	18.9	13.7
10	-12.3	9.4	28.4	29.6	26.8	22.3	16.7	11.4
11	-13.0	8.0	26.7	27.6	24.7	20.2	14.5	9.0
12	-13.7	6.5	24.9	25.5	22.6	18.0	12.2	6.7
13	-14.5	5.1	23.2	23.5	20.5	15.9	10.0	4.3
14	-15.2	3.7	21.5	21.5	18.5	13.8	7.8	2.0
15	-15.9	2.2	19.7	19.4	16.4	11.7	5.6	-.3
16	-16.6	.8	18.0	17.4	14.3	9.6	3.3	-2.7
17	-17.3	-.6	16.3	15.4	12.2	7.4	1.1	-5.0
18	-18.0	-2.1	14.5	13.3	10.2	5.3	-1.1	-7.4
19	-18.8	-3.5	12.8	11.3	8.1	3.2	-3.4	-9.7
20	-19.5	-4.9	11.1	9.3	6.0	1.1	-5.6	-12.0
21	-20.2	-6.4	9.3	7.2	3.9	-1.0	-7.8	-14.4
22	-20.9	-7.8	7.6	5.2	1.8	-3.2	-10.1	-16.7
23	-21.6	-9.2	5.9	3.2	-.2	-5.3	-12.3	-19.1
24	-22.3	-10.7	4.1	1.1	-2.3	-7.4	-14.5	-21.4

Lebenslauf

Name : Paulo Renato Schneider

Eltern : José Schneider
Maria Lucina Schneider

Geburtsdatum : 14. August 1948

Geburtsort : Caibaté (Rio Grande do Sul, Brasilien)

Familienstand: Seit 1975 verheiratet mit Sirlei, geb. Pigatto; wir haben zwei Kinder.

Besuchte Schulen:

1959 - 1963	Volksschule in Caibaté - RS (Escola Nossa Senhora Auxiliadora)
1964 - 1967	Gymnasialkurs an der Priesterschule in Guarani das Missões - RS (Ginasio Vocacional Agrícola)
1968	Mittelschule in Santa Rosa - RS (Escola Comercial Dr. João Dahne)
1969 - 1970	Landwirtschaftliche Oberschule in Santa Maria (Colégio Agrícola)
1971 - 1974	Hochschule - Forstwirtschaft, Fakultät in Santa Maria (Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria - RS)

Beruflicher Werdegang:

1975 - 1977	Hilfsassistent (Auxiliar de Ensino) an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Bundesuniversität von Santa Maria
1975	Spezialkursus "Forsteinrichtung in tropischen Wäldern" in Turialba - Costa Rica besucht (Instituto Interamericano de Ciências Agrárias - IICA)

1977 - 1978	Masterkursus in Forsteinrichtung an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Bundesuniversität Curitiba
1978	Ablegung der Masterprüfung
1978 bis heute	Assistenzprofessor der Stufe IV (Professor Assistente IV) für Forsteinrichtung an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Bundesuniversität von Santa Maria
1982 bis heute	Promotionsstudium an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg unter Betreuung von Professor Dr. Dr. G. Speidel

Freiburg, Juni 1984

(Paulo Renato Schneider)