



MITTEILUNGEN

Nr. 171/1999

DER FORSTLICHEN BUNDESVERSUCHSANSTALT WIEN

Oberhöhenbonität und Standort
der Fichte nach Daten der
Österreichischen Forstinventur
Abdruck der im Juni 1997 approbierten
Dissertation

*Site Index and Site Characteristics of
Norway Spruce According to Data of the
Austrian Forest Inventory
Reprint of the approved Ph.D. Thes. of June 1997*

KLEMENS SCHADAUER

FDK 541:561.1:174.7:(436)

Empfohlene Zitierung:

Oberhöhenbonität und Standort der Fichte nach Daten der Österreichischen Forstinventur. Abdruck der im Juni 1997 approbierten Dissertation / K. Schadauer / Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, 1999, Nr. 171, 135 S.

ISSN 0374-9037
ISBN 3-901347-18-6

Copyright 1996 by
Forstliche Bundesversuchsanstalt

Für den Inhalt Verantwortlich :
Direktor HR Dipl. Ing. Friedrich Ruhm

Herstellung und Druck :
Forstliche Bundesversuchsanstalt
Waldforschungszentrum
Seckendorff-Gudent-Weg 8
A-1131 Wien
URL: <http://www.fbva.bmlf.gv.at>

Anschrift für Tauschverkehr :
Forstliche Bundesversuchsanstalt
Bibliothek
E-mail: gudrun.schmidberger@fbva.bmlf.gv.at
Seckendorff-Gudent Weg 8
A-1131 Wienn

Tel. + 43-1-878 38 1216
Fax + 43-1-878 38 1250

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Vorwort

Diese Dissertationsarbeit wurde am Institut für Waldwachstumsforschung der Universität für Bodenkultur, Wien unter der Leitung von Herrn o. Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. Hubert Sterba durchgeführt. Ihm gebührt mein besonderer Dank für die Anregung zur Thematik und die geduldige wissenschaftliche Betreuung.

Dank gilt auch ao. Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. Pollanschütz, der einen Grundstein zu dieser Arbeit gelegt hat, indem er die Erfassung der Oberhöhenbestände im Rahmen der Österreichischen Forstinventur Ende der Sechzigerjahre initiiert hat. Diese 20 Jahre lang erhobene Daten stellen die Grundlage der Arbeit dar.

Allen Kollegen des Institutes für Waldinventur der FBVA, die bei den Felderhebungen und der Datenkorrektur in den Jahren 1971 bis 1990 mitgearbeitet haben, sei hiermit herzlichst gedankt.

Bedanken möchte ich mich auch beim Leiter des Institutes für Waldinventur, Dr. Schieler, und bei den Kollegen Dr. Hacker und Dr. Neumann, die mich mit wertvollen Anregungen unterstützt haben. Dr. Neumann hat mir ein EDV-Programm zur Bonitierung der Oberhöhenbestände überlassen - auch dafür sei ihm hier gedankt. Für die Durchsicht der klimatologischen Modelle danke ich Univ. Prof. Hager, der mit zahlreichen Anregungen vor allem zur Evaluierung der Modelle beigetragen hat.

Einen wichtigen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit hat meine Frau geleistet, die viele Jahre an unzähligen Abenden und Wochenenden meine Vaterpflichten übernommen und meiner Arbeit viel Verständnis und Geduld entgegengebracht hat.

Dipl.-Ing. Dr. Klemens Schadauer

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	7
Abstract	7
1 Einleitung	8
2 Problemstellung	8
2.1 Ansätze für Bonitierungsmodelle	9
2.2 Die Oberhöhenbonität in Abhängigkeit vom Standort	12
2.3 Die Veränderung des Wachstums über der Zeit	14
2.4 Die Verwendung klimatologischer Daten	16
3 Datenmaterial	17
3.1 Inventurdaten	17
3.1.1 Österreichische Forstinventur	17
3.1.2 Alter und Oberhöhe	18
3.1.3 Standortserhebung	19
3.2 Klimadaten	23
3.2.1 Temperaturdaten	23
3.2.2 Niederschlagsdaten	24
3.3 Oberhöhendaten von Dauerversuchsflächen	25
4 Methoden	27
4.1 Klimatologische Modelle	27
4.1.1 Modelle für Jahrestemperatur, Julitemperatur und Vegetationszeitlänge	28
4.1.2 Modelle für die Vegetationszeittemperatur	35
4.1.3 Berücksichtigung von Exposition und Neigung	37
4.1.4 Modelle für den Jahresniederschlag	39
4.1.5 Umrechnung des Jahresniederschlages auf den Vegetationszeitniederschlag	45
4.1.6 Temperatur-, Ariditäts- und Feuchtigkeitsindizes	49
4.2 Wahl der Oberhöhenfächer	49
4.2.1 Einsatz vorhandener Fächer	49
4.2.2 Die Entwicklung neuer Oberhöhenfächer	56
4.3 Modelle für die Beziehung zwischen Oberhöhenbonität und Standort	68

5. Analysen und Ergebnisse	74
5.1 Ergebnisse der Modelle für die Oberhöhenbonität in Abhängigkeit vom Standort	76
5.1.1 Bonitierungsmodell für silikatische Böden für die Alpen und das Alpenvorland ohne Alpenostrand (Silikat-Alpen)	76
5.1.2 Bonitierungsmodell für silikatische Böden am Alpenostrand (Silikat-Alpenostrand)	80
5.1.3 Bonitierungsmodell für das Mühl- und das Waldviertel (Mühl/Waldviertel)	83
5.1.4 Bonitierungsmodell für intermediäre Böden ohne Mühl- und Waldviertel (Intermediär)	86
5.1.5 Bonitierungsmodell für karbonatische Böden (Karbonat)	88
5.2 Ergebnisse der Parametrisierung der Modelle bei Verwendung verschiedener Oberhöhenfächer	91
6 Interpretation und Wertung	94
6.1 Allgemeines	94
6.2 Interpretation der Modellergebnisse	95
6.2.1 Interpretation für die Klimavariablen Temperatur und Niederschlag .	96
6.2.2 Interpretation für die Variablen Exposition und Neigung	103
6.2.3 Interpretation für die als Dummy-Variablen kodierten Standortsvariablen	107
6.2.4 Interpretation des Alters in den Bonitierungsmodellen	111
6.3 Abschließende Wertung	120
7 Zusammenfassung	122
Literatur	126
Tabellenverzeichnis	133
Abbildungsverzeichnis	134

Oberhöhenbonität und Standort der Fichte nach Daten der Österreichischen Forstinventur

Abdruck der im Juni 1997 approbierten Dissertation

KLEMENS SCHADAUER

Institut für Waldinventur, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien

Kurzfassung: Mit den Daten der Österreichischen Forstinventur wurden Bonitierungsmodelle für die Baumart Fichte [*Picea abies*, L. Karst] erstellt. Dabei ist die Oberhöhenbonität in Abhängigkeit vom Standort gesetzt worden und die Modelle sind mit linearer Regression parametrisiert. Neben den von der Forstinventur erhobenen Standortvariablen wurden Kenngrößen für den Niederschlag und die Temperatur als unabhängige Variable in den Modellen verwendet. Dafür wurden in dieser Arbeit eigene Regionalisierungsmodelle parametrisiert.

Die Daten sind nach Bodentypengruppen und Wuchsgebietsgruppen vorstratifiziert worden. Die Parametrisierung der Modelle erfolgte mit Daten der Inventurperiode 1971/80. Die unabhängig davon erhobenen Daten der Periode 1986/90 dienten zur Validierung.

Neben der Zielsetzung, die Modelle standortskundlich interpretierbar zu gestalten und die Anwendbarkeit solcher Modelle zu prüfen, sollte auch das Vorhandensein von Wachstumstrends untersucht werden. Dafür war es notwendig, das Alter als unabhängige Variable in die Modelle einzubeziehen. Um den Einfluß des verwendeten Oberhöhenfächers auf diese Fragestellung abklären zu können, wurden mehrere Fächer verwendet, von denen vier selbst mit Daten von Dauerversuchsflächen parametrisiert wurden.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Genauigkeit der Modelle für eine Anwendung gering ist. Die Modelle erlauben jedoch eine plausible standortskundliche Interpretation. Es zeigt sich, daß das Alter in allen Straten und bei Verwendung sämtlicher Fächer signifikant in die Modelle eingeht, was als deutlicher Hinweis für das Vorhandensein von langfristigen Wachstumstrends gewertet wird.

Schlüsselworte: Oberhöhenbonität, *Picea abies*, Forstinventur, Oberhöhenfächer, Wachstumstrends

Abstract: [Site Index and Site Characteristics of Norway Spruce According to Data of the Austrian Forest Inventory – Reprint of the approved Ph.D. Thes. of June 1997] Data from the Austrian Forest Inventory are used to establish models for predicting site index of Norway spruce [*Picea abies*, L. Karst] from site characteristics. The models were parameterised using stepwise linear regression. In addition to site parameters assessed by the Inventory, parameters for temperature and precipitation were used in the models which were parameterised in special regionalisation models.

The Inventory data were prestratified according to groups of soil types in connection with growth regions. The parameterisation was effected using data from the period of 1971/80. Data from 1986 to 1990, sampled independently from the preceding period, were used for validation.

The objectives of the study were to test whether the models are accurate enough for practical application and to create models that can be interpreted with regard to forest ecology and growth trends. For the latter aim, stand age was included in the models. In order to check the influence of the use of different site index estimates as independent variables with reference to growth trends, four site index respectively height growth models were parameterised using permanent plot data from Southern Germany.

The results show that the site index prediction models with R^2 of 0.38 to 0.66 provide only rough estimates. The variables significant in the regression analysis and their coefficients can be interpreted in a plausible way. Stand age was significant for all strata and for the use of all different site index curves. This can be interpreted as a clear indication of growth trends lasting more than 100 years.

Keywords: Site Index, *Picea abies*, Forest Inventory, Height Growth Model, Growth Trends

1 Einleitung

Die kausalen Beziehungen zwischen Standort und Bestandeswachstum stellen seit jeher eine wesentliche Grundfrage der Waldwachstumsforschung dar (Sterba 1986). Zu Beginn dieser Forschungsrichtung wurde die Bonität als Einschätzung von Größenordnungen des Bestandeswachstums durch die Beschreibung des Standortes festgelegt (Feistmantel 1876). Der Standortsfeldbefund erwies sich jedoch nicht als genau genug, um eindeutig auf die Bonität schließen zu können (Baur 1881). Der gleiche Feldbefund konnte also zu verschiedenen Ertragsleistungen führen. Deshalb wurden Methoden entwickelt, die Bonität direkt aus ertragskundlichen Bestandesdaten ohne jegliche Standortsinformation abzuleiten. Daß es sich auch dabei um keine eindeutige Lösung handelt, beschreibt schon Guttenberg 1915, da zu einer Bonität aus ertragskundlicher Schätzung doch recht unterschiedliche Standorte zusammengefaßt wurden. So läßt also weder der Standortsbefund eindeutig auf eine Bonität schließen, noch ist die ertragskundliche Bonität eindeutig einer Gruppe ähnlicher Standorte zuzuordnen, wobei letzteres durch verschieden gekrümmte Höhenwachstumsgänge verursacht wird. Mit diesem Spannungsfeld von nicht eindeutig abbildbaren Größen und Maßzahlen im Ursachen-Wirkungsgefüge von Bonität und Standort hat sich die Waldwachstumskunde seit mehr als einem Jahrhundert befaßt und arbeitet bis heute an Lösungen. Die Ansätze neuerer Arbeiten beinhalten neben der Erfassung der räumlich-qualitativen Variation des Standortes auch eine zeitliche Dimension, da die Konstanz der Standortsproduktivität über der Zeit immer mehr in Frage gestellt wird.

Bonitierungsmodelle, welche die ertragskundlich ermittelte Bonität in Abhängigkeit vom Standort setzen, können dieses Spannungsfeld qualitativ und quantitativ beschreiben. Sie erlauben - in Abhängigkeit von der Datengrundlage - ein unterschiedlich großes Potential von Wirkungen des Standortes auf das Wachstum zu erfassen. Bei entsprechender Genauigkeit und Allgemeingültigkeit der Modelle erlauben sie darüber hinaus die Schätzung der Bonität ohne ertragskundliche Kennzahlen, wie sie nicht in allen Beständen verfügbar sind, aufgrund von Standortseigenschaften.

2 Problemstellung

In dieser Arbeit sollen mit den Daten der Österreichischen Forstinventur Bonitierungsmodelle erstellt werden, welche die Wirkungen des Standortes auf das Höhenwachstum beschreiben, wobei die Modelle auf die Baumart Fichte [*Picea abies* L. Karst.] beschränkt sind. Die Ergebnisse sollen zeigen, ob sich aus den für ganz Österreich repräsentativen und damit stark streuenden Daten einer Großrauminventur Modelle erstellen lassen, die genau genug sind, um in der Praxis zur Abschätzung der Oberhöhenbonität dienen zu können, wo diese aus ertragskundlichen Parametern

schlecht erhebbar ist (z.B. in Mischbeständen oder bei Ungleichaltrigkeit). Ein Ziel ist es, die Modelle so zu gestalten, daß eine Interpretation der Wirkungszusammenhänge zwischen der Oberhöhenbonität und dem Standort einfach möglich ist, um eine gute Vergleichsbasis mit der zahlreich vorhandenen Literatur zu gewährleisten.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es, die in Österreich gültigen Ertragstabellen für Fichte (MARSCHALL 1975) hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit für solche Modelle zu überprüfen und eventuell Alternativen in Form von neuen Oberhöhenfächern anzubieten.

Die Datengrundlage der Inventur bietet einmalig erhobene Bonitäten, festgestellt aus Alter und Oberhöhe, für das gesamte Altersspektrum an. Diese wuchsreihenähnlichen Daten ermöglichen, Untersuchungen über einen möglichen Wachstumstrend über der Zeit anzustellen. Da mit guten Bonitierungsmodellen der Standort - soweit er mit den Standortvariablen eingeht - über das gesamte Altersspektrum konstant gehalten werden kann, können mögliche Veränderungen der Bonität über der Zeit als Residuen, die vom Alter abhängig sind, erkannt und quantifiziert werden. Darüber hinaus soll - wenn Wachstumstrends feststellbar sind - geprüft werden, ob die Art und Weise, in der diese Residuen über dem Alter auftreten, Hypothesenbildungen bezüglich der Ursachen solcher Trends zulassen.

Die reichhaltige Literatur zu dieser weiten Zielsetzung läßt die Behandlung und Diskussion der Vielzahl von angewandten Methoden bereits an dieser Stelle sinnvoll erscheinen, bevor noch auf die selbst verwendeten Methoden eingegangen wird.

2.1 Ansätze für Bonitierungsmodelle

Für Bonitierungsfunktionen mit Standortvariablen sind zwei Ansätze aus der Literatur bekannt:

Die Oberhöhenbonität als Funktion von Standortvariablen ➡

$$\text{OHBON} = f(\text{STO}) \quad (1)$$

OHBON Oberhöhenbonität = Oberhöhe in einem Bezugsalter
STO Vektor von standortsbeschreibenden Variablen

Die Oberhöhe als Funktion vom Alter und Standortvariablen ➡

$$\text{OH} = f(\text{Alter}, \text{STO}) \quad (2)$$

OH Oberhöhe
Alter absolutes Alter des Bestandes

Der allgemeinere, zweite Ansatz dient der Erstellung von Oberhöhenverläufen über dem Alter in Abhängigkeit von Standortmerkmalen, wie sie etwa STERBA (1974) für einen ausgesuchten Standortstyp in einem Forstbetrieb im Mühlviertel, Oberöster-

reich für kleinräumige Standortvariationen durchgeführt hat. KAHN (1994) verwendet bei ähnlicher Vorgangsweise - jedoch für einen großen Raum - Dauerversuchsdaten aus Deutschland und der Schweiz. In beiden Arbeiten werden die Parameter des Alters-Höhenmodelles in Abhängigkeit von zum Teil transformierten Standortvariablen geschätzt. Als weitere Beispiele aus dem nordamerikanischen Raum, die den Ansatz (2) gewählt haben, sind SCHMOLDT et al. (1985), BOYER (1983), MONSERUD (1984a und 1985a) und SPRINZ et al. (1989) zu nennen. In den letzteren drei wurden jedoch keine direkten Parameterschätzungen aus Standortsfaktoren durchgeführt, die Parametrisierung der Alters-Höhenmodelle erfolgte nach standörtlicher Vorstratifizierung.

Die Datengrundlage der österreichischen Inventur ermöglicht primär den Ansatz (1), weil sich die innerhalb bestimmter Standortstypen wuchsreihenähnlichen Daten, wie sie die Inventur für die Oberhöhe bietet, für die Abbildung von Wachstumsprozessen nur sehr eingeschränkt eignen (MONSERUD 1984b, 1985b, 1987). Ein wesentliches Problem stellt dabei die Tatsache dar, daß die verschiedenen Oberhöhenbonitäten über dem Alter nicht gleich verteilt sind, sondern mit zunehmendem Alter abnehmen, wofür es mehrere Ursachen gibt. An dieser Stelle seien die Nutzungsgewohnheiten (bessere Standorte werden früher genutzt) und Aufforstungen von überdurchschnittlich guten Standorten in den letzten Jahrzehnten genannt. Ein interessanter Ansatz unter Zuhilfenahme einer speziellen Regressionstechnik („instrumentielle Variable“, WALTERS et al. 1989), die auch die Verwendung von einmalig erhobenen Daten erlaubt und die genannten Probleme möglicherweise überwindet, soll in einer eigenen Arbeit weiter verfolgt werden.

Der Ansatz (1) birgt jedoch das Problem, daß die Ergebnisse der Parametrisierung der Modelle möglicherweise von dem gewählten Oberhöhenfächer abhängig sind. Die Abweichungen des Oberhöhenwachstums auf einzelnen Standorten vom unterstellten Fächer sind eine Fehlerquelle, deren Auswirkungen nicht leicht abgeschätzt werden kann. Das Problem ist, daß gerade jene Variablen, die die Oberhöhenbonität im Modell erklären sollen, bei der Feststellung der Bonität gleichgerichtete Fehlerquellen, also einen Bias, darstellen können.

Die theoretische Lösung dafür wäre die Verwendung von Standortsoberhöhenfächern, welche die Eigenschaft besitzen, alle jene Standorte in einem Fächer zusammenzufassen, die gleich gekrümmte Wachstumsverläufe bzw. gleiche Veränderung der Krümmung über dem Bonitätsspektrum aufweisen. Die Standortsfaktoren, die nicht für die Vorstratifizierung der Oberhöhenfächer benutzt wurden, könnten dann in die Bonitierungsmodelle als unabhängige Variablen eingehen. Die hier angesprochene Problematik von Standortsertragstafeln ist schon lange bekannt. So hat z.B. GUTTENBERG (1896, 1915) verschiedene Kurvenscharen für verschiedene Gebiete in Österreich erstellt, auf denen ein Teil unserer Ertragstafeleinteilung in Österreich basiert (MARSCHALL 1975, 1976).

Die regionale Einteilung in Ertragstafelgebiete geht von der Idee aus, die großklimatischen Gegebenheiten seien primär für die Krümmung des Oberhöhenwachs-

tums bzw. den Krümmungsverlauf für einzelne Bonitäten bei polymorphen Funktionen verantwortlich. Dies muß jedoch durchaus nicht der Fall sein. So geht z.B. aus der genannten Arbeit von STERBA (1974) hervor, daß die Krümmung des Oberhöhenwachstums auf wechselfeuchten Standorten innerhalb desselben Großklimas größer ist als auf sehr frischen Standorten, was mit Angaben aus der Literatur gut übereinstimmt. Die für Österreich gültigen Ertragstafelgebiete stellen damit nach Ansicht des Autors kein geeignetes Instrument zur Lösung des Problemkreises Standortertragstafeln im oben beschriebenen Sinn dar, was auch nicht die Intention der Autoren der Ertragstafeln war.

Aus diesem Grund soll versucht werden, die Bonitierungsmodelle nach dem Ansatz (1) jeweils für ganz Österreich mit verschiedenen Oberhöhenfächern zu parametrisieren, um den Einfluß des verwendeten Oberhöhenfächers beurteilen zu können. Die regionsweise Anwendung verschiedener Fächer für einen Parametrisierungsvorgang, wie sie in den Ertragstafeln von MARSCHALL (1975) vorgeschlagen wird, erscheint nicht sinnvoll.

Für eine andere Art, das Problem Bonitierungsfunktionen zu beleuchten, sei noch ein weiterer Ansatz, wie er für die Erstellung von Oberhöhenfächern in neueren Ertragsstafeln Europas üblich ist, gegeben:

Die Oberhöhe als Funktion vom Alter und Oberhöhenbonität ➡

$$OH = f(\text{Alter}, OHBON) \quad (3)$$

Dieser unterscheidet sich vom Ansatz (2) dadurch, daß hier die Oberhöhenbonität, dort Standortsfaktoren - jeweils gemeinsam mit dem Alter - die Oberhöhe erklären sollen. Der Ansatz (1) stellt somit eine Verbindung zwischen den Modellen (2) und (3) dar, indem er die Oberhöhenbonität in Abhängigkeit der Standortsfaktoren setzt.

In Nordamerika ist für die Erstellung von Oberhöhenfächern auch eine andere Vorgangsweise üblich. In Site Index Modellen wird die Oberhöhenbonität nicht als unabhängige Variable wie in (3), sondern als abhängige Variable verwendet:

Die Oberhöhenbonität als Funktion vom Alter und Oberhöhe ➡

$$OHBON = f(\text{Alter}, OH) \quad (4)$$

Diese Vorgangsweise liefert infolge des stochastischen Zusammenhanges zwischen Alter, Oberhöhe und Oberhöhenbonität vom Modell (3) abweichende Ergebnisse (CURTIS et al. 1974). Zum Bonitieren von Beständen ist die Oberhöhenbonität aus Modellen nach Ansatz (4) die richtige Lösung, während Modelle nach Ansatz (3) über den Verlauf des Oberhöhenwachstums in Abhängigkeit von der Bonität Auskunft geben. Die indirekte Ermittlung der Bonität aus Oberhöhenmodellen (3), wie sie in Europa üblich ist, stellt daher streng genommen eine statistisch unkorrekte Vorgangsweise dar.

Die Funktionsschemata der österreichischen Ertragstafeln wurden zwar gemäß Modell (3) erstellt (STERBA 1976), die oben genannte Problematik trifft jedoch nicht zu, da hier ausschließlich bereits vorhandene Oberhöhenfächer umgerechnet wurden und somit praktisch funktionale Zusammenhänge vorhanden waren. Das Modell (3) kann damit nahezu als Umkehrfunktion von (4) betrachtet werden. Leider liegen über den statistischen Ausgleich für die ursprünglichen Oberhöhenfächer kaum Informationen vor. Im wesentlichen wird es sich mit Ausnahme der Tafel Fichte Bayern (ASSMANN & FRANZ 1965) um grafische Ausgleichsmethoden gehandelt haben. Letztere wurde zunächst als Korsunfunktion ausgeglichen und wurde später von RAWAT (1973) in ein Richardsmodell umgerechnet. Damit liefert die Ertragstafelsammlung von MARSCHALL (1975) keine Möglichkeiten, den Einfluß der aus verschiedenen Modellen (3) bzw. (4) geschätzten Bonitäten auf die Bonitierungsfunktionen zu überprüfen. Daher wurden mit einem Datenmaterial von Dauerversuchsflächen die unterschiedlichen Fächer nach den verschiedenen Modellen erstellt und die Auswirkungen in Bonitierungsfunktionen vergleichend getestet.

2.2 Die Oberhöhenbonität in Abhängigkeit vom Standort

In den letzten Jahrzehnten wurden eine Vielzahl von Modellen erstellt, die trotz der genannten Probleme dem auch für diese Arbeit gewählten Ansatz (1) folgen. Diese lassen sich unterteilen in solche, die verschiedene Standortsscharakteristika gemeinsam verwenden (EINSPAHR & MCCOMB 1951, TRIMBLE & WEITZMANN 1956, GRANEY & FERGUSSON 1971, MOOSMAYER & SCHÖPFER 1972, HAGGLUNG & LUNDMARK 1977, MOOSMAYER 1980, JOKELA et al. 1988, GREEN et al. 1989, KLINKA & CARTER 1990, HASSALL et al. 1994, GOMORYOVA & GOMORY 1995, WANG 1995, HERZBERGER 1996, MOOSMAYER et al. 1996) und solche, die nur eine spezielle Kategorie von Variablen des Standortsspektrums herausgreifen. So haben BROADFOOT (1969), EVERS & MOOSMAYER (1980), LIPAS (1985) nur die Bodeneigenschaften in ihre Modelle eingehen lassen, LA ROI et al. (1988), STRONG et al. (1991) verwenden ausschließlich die Bodenvegetation, um die Oberhöhenbonität zu schätzen. Eine Sonderstellung nehmen Modelle ein, welche die Spiegelwerte von Nährstoffen in den Nadeln benutzen (REHFUESS 1968, REHFUESS & BAUM 1980), die also das Nährpotential des Standortes durch den Filter der Pflanzenaufnahme bzw. der Nachweisbarkeit in den Nadeln wiedergeben. NEBE (1968) regressiert die Wuchsleistung der Fichte in ganz Europa ausschließlich auf klimatologische Kenngrößen.

Die in der Einleitung genannte Allgemeingültigkeit und Genauigkeit biologischer Modelle sind unter anderem wichtige Eigenschaften, die über die Güte von Modellen Auskunft geben (LEWINS, 1966, cf. VON GADOW, 1992). Sehr häufig wird bei der Entwicklung von Ertragsmodellen die Allgemeingültigkeit zu Gunsten der Genauigkeit benachteiligt. Dies trifft - in unterschiedlichem Ausmaß - auf alle zitierten Modelle zu.

Es gibt mehrere Strategien, die Genauigkeit auf Kosten der Allgemeingültigkeit zu steigern. Eine Möglichkeit ist, die Stichprobe so zu wählen, daß die Variation einiger Standortsfaktoren gering gehalten wird, damit der Effekt der anderen Standortsfaktoren leichter erkennbar wird. Dafür wird die Stichprobe oft klein gehalten. Der bzw. die Standortparameter, die in die Untersuchung eingehen, liefern dann meist ein hohes Erklärungspotential für die Variation des Wachstums. Die Anzahl der für die Modellerstellung verwendeten Probebestände variiert in den zitierten Arbeiten zwischen 8 (REHFUESS 1968) und 400 (HÄGGLUND & LUNDMARK 1977). Letztere Arbeit stellt einen Sonderfall dar, auf den später noch näher eingegangen wird.

Bei bestimmten Funktionstypen besteht die Gefahr, daß Scheingenauigkeiten, ausgedrückt durch ein hohes Bestimmtheitsmaß, entstehen, wenn die Anzahl der Beobachtungen in der Stichprobe im Verhältnis zu der Anzahl der unabhängigen Variablen zu gering ist. Damit besteht auch die Gefahr, daß Datenausreißer Artefakte verursachen, die, wenn sie unerkannt bleiben, zu Fehlinterpretationen führen bzw. eine sinnvolle Anwendung des Modelles vereiteln. So schreibt z.B. MOOSMAYER et AL. (1996) von einer „sparsamen Parametrisierung“ für seine rund 100 Datensätze. Er erreicht diese Sparsamkeit, indem er statt einer Vielzahl von Dummyvariablen für nominale und ordinale Standortvariable diese „metrisch“ skaliert und somit in wenige „metrische Variable“ überführt. Da diese „Skalierung“ mit dem gleichen Datenmaterial vorgenommen wird, mit dem auch das Modell parametrisiert wird, wird hier wiederum die Genauigkeit auf Kosten der Allgemeingültigkeit erhöht.

Eine weitere Möglichkeit, die Genauigkeit zu steigern, ist die Herabsetzung der Variation durch die Verwendung von gemittelten Daten (z.B. MOOSMAYER & SCHÖPFER 1972), oder durch die Vermeidung untypischer Situationen, die jedoch einen Teil des normalen Waldbildes darstellen (Waldränder, Bestandesränder, Geländekanten, kleinräumig stark wechselnde Bedingungen, ...). Diese Vorgangsweise ist bei der Auswahl der Probestflächen oft selbstverständlich, muß aber auf Kosten der Allgemeingültigkeit gehen.

Eine möglicherweise bessere Lösung des Problemkreises Allgemeingültigkeit und Genauigkeit ist eine gute Vorstratifizierung der Daten (z.B. GRANEY & FERGUSON 1971, EVERS & MOOSMAYER 1980, WANG 1994 und HERZBERGER 1996). Dies setzt jedoch wieder eine ausreichende Datengrundlage innerhalb der einzelnen Straten voraus. So erreicht etwa HERZBERGER (1996) durch eine Vorstratifizierung in silikatische bzw. karbonatische Böden nahezu eine Verdopplung der Bestimmtheitsmaße.

Normale Großrauminventurdaten, bei denen eher die Allgemeingültigkeit vor der Genauigkeit steht (also untypisch für ertragskundliche Modelle), sind für die Erstellung von Bonitierungsfunktionen kaum eingesetzt worden. Eine Ausnahme bildet hier die Arbeit von HÄGGLUND & LUNDMARK 1977, die jedoch die Modelle nur für einen kleinen Teil Schwedens parametrisiert haben, der wiederum relativ homogene Bedingungen aufweist. Damit ist für Modelle, die aus Inventurdaten für ganz Österreich erstellt werden sollen, mit deutlich niedrigeren Bestimmtheitsmaßen als in der Literatur (etwa 0,6-0,8) zu rechnen. Dies um so mehr, als nicht nur die natürliche

Variation des standörtlichen Faktorenkomplexes hoch ist, sondern auch die „grobe Ansprache“ der standörtlichen wie der ertragskundlichen Parameter bei der Inventur - im Vergleich zu Spezialuntersuchungen - den Anteil erklärbarer Variation herabsetzt. In einem Vergleich der Variation zwischen Daten aus Spezialuntersuchungen mit Inventurdaten schätzen CLUTTER & HYINK (1991) die Variation der Inventurdaten etwa doppelt so hoch ein.

Ein Vorteil der Verwendung von Inventurdaten ist die einfache Ermittlung der Standortvariablen (leicht im Feld zu erheben, keine Laboranalysen), wie sie Voraussetzung für eine praktische Anwendung solcher Modelle ist.

Ein weiteres Problem bei der Parametrisierung von Bonitierungsmodellen stellen die teilweise hohen Korrelationen zwischen den Standortparametern dar. Diese Interkorrelationen erschweren die Interpretation der Modelle, die daher oft für derartige Modelle unterbleiben. Damit ist aber auch eine Überprüfung auf biologische Plausibilität solcher a posteriori-Modelle vereitelt. Eine Möglichkeit, Interkorrelationen zu vermeiden, bietet die Verwendung der Faktorenanalyse mit orthogonaler Rotation, wobei die Faktoren dann als unabhängige Variable bei der multiplen Regression eingesetzt werden (z.B. HASSAL et al. 1994 und GÖMÖRYOVA & GÖMÖRY 1995). Die Möglichkeit der Interpretation solcher Modelle hängt von der eindeutigen Interpretierbarkeit der Faktoren ab. Diese ist aber oft nicht in ausreichendem Ausmaß gegeben. Eine andere Möglichkeit, die Interkorrelationen auf ein niedriges Maß zu beschränken, bietet die Abschätzung derselben z.B. mittels des Variance Inflation Faktors (VAN LAAR 1991) und die anschließende Eliminierung einer der interkorrelierten Variablen aus dem Modell (z.B. STERBA & MONSERUD 1996).

2.3 Die Veränderung des Wachstums über der Zeit

Mögliche Wachstumstrends beschäftigen die Waldwachstumsforschung schon seit Jahrzehnten. So schreibt bereits EIDMANN (1961): „... müßten die aneinandergereihten Mittelhöhen aller Einzelaufnahmen von Beständen verschiedenen Alters auf gleichem Standort bei aller Würdigung zufälliger Einflüsse der Bestandesbegründung und -erziehung doch im entscheidenden Trend dem Höhenentwicklungsgang der Ertrags-tafel folgen. Forsteinrichtung und ertragskundliche Forschung stellten aber übereinstimmend fest, daß dies nicht der Fall ist. In der großen Mehrheit der Fälle ergibt sich ein *Absinken der Ertragsklasse mit zunehmendem Alter* ...“. Diese Tatsache wurde schon lange vorher erkannt und beschrieben (REBEL 1924 S.176, ABETZ 1929 S.376) und war die Ursache für das dynamische Bonitieren, auch wenn REBEL als primäre Ursache für das Absinken der Bonität die Art der Erstellung der Loreyschen Ertrags-tafel sah. Die Feststellungen EIDMANNs unterschieden sich jedoch von seinen Vorgängern dadurch, daß er langperiodische Klimaänderungen für diese Abnahme der Bonität mit zunehmendem Alter verantwortlich machte, und meinte, daß dieser Wachstumstrend auch auf jene Bestände gewirkt hätte, die für die Erstellung der

Ertragstafeln herangezogen wurden. Seine Vorgänger sahen die Bestandesbehandlung als Ursache dieser Bonitätsabnahme. Der Artikel von EIDMANN verursachte damals großes Aufsehen und wurde heftig kritisiert (HILDEBRANDT 1961, ASSMANN 1962, MITSCHERLICH 1962, MOOSMAYER 1962a, 1962b). Im wesentlichen manifestierte sich die Kritik an den ungenügenden klimatologischen Beweisen für EIDMANN'S Theorie und seiner geringen Bewertung des Einflusses der Bestandesbehandlung.

Aus heutiger Sicht kommt der Argumentation EIDMANN'S wieder Bedeutung zu, auch wenn das ihm zu Verfügung gestandene klimatologische Datenmaterial für Aussagen über Klimaänderungen mit Werten einer einzigen Station ungenügend war. In den letzten zehn Jahren sind gehäuft wieder Arbeiten publiziert worden, die ebenfalls einen Wachstumstrend vermuten oder als gesichert ansehen (z.B. PRETZSCH 1987, HARI & AROVAARA 1988, BECKER 1989, BECKER et al. 1990, 1995, ANDRAE 1990, KENK et al. 1991, FÖRTSTER et al. 1993, MIELIKÄINEN 1994, RÖHLE 1995, STERBA 1995, NEUMANN & SCHADAUER 1995, SCHADAUER 1995, 1996, ELFVING et al. 1996, ELFVING & TEGNHAMMAR 1996, BADEAU et al. 1996, WENK & VOGEL 1996, PRETZSCH 1996). Eine gute Literaturübersicht für Mitteleuropa gibt auch STERBA (1996). Arbeiten, die sich auf den Radialzuwachs beziehen, vermuten einen gleichmäßigen Langzeittrend über zumindest einhundert Jahre (z.B. BECKER 1989, NEUMANN & SCHADAUER 1995). Andere Arbeiten, die sich mit dem Höhenwachstum beschäftigen und Ertragstafeln als Referenzwachstum benutzen, kommen zu einer Akzeleration der Zuwachszunahme etwa für die letzten 40 Jahre (z.B. STERBA 1995, RÖHLE 1995, ELFVING & NYSTRÖM 1996a).

Auch in einigen Bonitierungsmodellen ist das Phänomen Wachstumstrend beschrieben. So geht bereits bei REHFUESS 1968 das Alter mit in die Modelle ein. HÄGGLUND & LUNDMARK (1977) stellen fest, daß die Residuen ihrer Modelle vom Alter abhängen, vermuten jedoch genetische Ursachen hinter diesem Phänomen. ELFVING & NYSTRÖM (1996b) stellen für neu aufgemessene Fichtenbestände jedoch fest, daß die Verwendung der Bonitierungsmodelle von HÄGGLUND & LUNDMARK zu deutlich niedrigeren Oberhöhenbonitäten führt als die direkte Schätzung mit Alter und Oberhöhe und erklären diese Differenz mit einem Wachstumstrend. Bei HASSALL et al. (1994) hat das Alter eine größere Korrelation mit der Oberhöhenbonität als sämtliche Standortvariable. Auch hier wird dieses Faktum von den Autoren als Wachstumstrend interpretiert.

Als Ursachen für diese Entwicklung werden in der Literatur bis heute nur Vermutungen angestellt. Als Hypothesen gelten ein Klimawandel zu wärmeren Temperaturen, ein gesteigerter CO₂ Gehalt in der Luft, ein vermehrter Stickstoffeintrag ebenso wie die Verbesserung der Standortbedingungen durch Trockenlegungen und dem Aufhören der Streunutzung (SCHMIDT 1969, SCHIELER & STERBA 1994, SCHADAUER 1995, SPIECKER et al. 1996).

In dieser Arbeit soll auch geprüft werden, inwieweit mit Bonitierungsmodellen aus Inventurdaten dieser Frage nach Wachstumstrends nachgegangen werden kann. Besonderer Wert soll dabei auf den Einfluß des zur Bonitierung verwendeten Höhen-

fächers und dessen Art der Erstellung gelegt werden (vgl. ELFVING & NYSTRÖM 1996a). In diesem Zusammenhang soll auch der Einfluß auf Bonitierungsmodelle geprüft werden, wenn die Bonitäten aus Oberhöhenfächern genommen werden, wenn in jener Zeit, wo die Bestände erwachsen sind, die für die Erstellung der Fächer verwendet wurden, auch bereits Wachstumstrends vorlagen.

2.4 Die Verwendung klimatologischer Daten

In einigen Bonitierungsmodellen aus europäischen Arbeiten sind klimatologische Kennwerte als abhängige Variable verwendet worden (MOOSMAYER & SCHÖPFER 1972, KAHN 1994, 1995, MOOSMAYER et AL. 1996). Eine Sonderstellung nimmt dabei die Arbeit von NEBE (1968) ein, der ausschließlich klimatische Daten zur Schätzung der Bonität der Fichte einsetzt.

In Österreich herrschen stark variierende klimatische Bedingungen für das Wachstum der Fichte vor (MAYER 1976). Diese sind einerseits durch die Seehöhenspreitung von etwa 300 m bis 2000 m Seehöhe, andererseits durch verschiedene Klimacharaktere (kontinental, ozeanisch, pannonisch, illyrisch, mediterran) geprägt. Im pannonischen Osten Österreichs erreicht die Fichte die Trockengrenze für ihr Vorkommen, in höheren Lagen wird das Wachstum wesentlich durch die Temperatursumme begrenzt.

Damit liegt die Einbeziehung klimatologischer Kenngrößen in die Bonitierungsmodelle nahe. Diese könnten entweder indirekt über die Wuchsgebietsgliederung (KILIAN et AL. 1994), eventuell gepaart mit klimatischen Seehöhenstufen, in die Modelle eingebracht werden, oder es werden direkt klimatische Kenngrößen für die einzelnen Probeflächen der Inventur verwendet. Erstere Vorgangsweise hat den Nachteil, daß die Wuchsgebiete sowie die klimatologischen Seehöhenstufen ordinalskaliert sind und daher zusätzlich zu anderen nominalen Variablen (z.B. Boden, Vegetation, Relief) in Dummyvariable aufzulösen wären, womit die Modelle mit sehr vielen Dummyvariablen berechnet werden müßten. So ist also die Verwendung von metrisch skalierten klimatologischen Kenngrößen für die regressionsanalytische Herleitung der Modelle günstiger zu beurteilen und auch besser interpretierbar. Der Nachteil dieser Vorgangsweise ist, daß keine Regionalisierungsmodelle für Klimadaten in Österreich zur Verfügung stehen, mit denen die entsprechenden Kennwerte für die Probeflächen der Inventur berechnet werden könnten. Daher sollen als Voraussetzung für die Erstellung der Bonitierungsmodelle zunächst klimatologische Regionalisierungsmodelle parametrisiert werden.

3 Datenmaterial

3.1 Inventurdaten

3.1.1 Österreichische Forstinventur

Die Österreichische Forstinventur erhebt seit 1961 auf einem systematischen Stichprobenraster Daten im österreichischen Wald (BRAUN 1969). In den ersten zwei Perioden 1961/70 und 1971/80 wurden die Aufnahmen in 10-jähriger Periodizität auf temporären Probeflächen durchgeführt. In der dritten Periode 1981/85 wurden permanente Probeflächen eingerichtet, die 1986/90 und 1992/96 wieder erhoben wurden. Die Periodenlänge wurde auf fünf Jahre verkürzt und damit die Probeflächenanzahl halbiert. In der Periode 1986/90 wurden zusätzlich zu den permanenten Probeflächen ebenso viele temporäre erhoben, womit die Anzahl der Probeflächen insgesamt gleich ist wie 1971/80.

Das Stichprobendesign der Österreichischen Forstinventur folgte seit Beginn einem Clusterverfahren, wobei die Cluster als Trakte bezeichnet werden. War der Traktabstand sowie die Traktgröße in der ersten Erhebungsperiode 1961/70 noch von der Waldausstattung innerhalb bestimmter Regionen abhängig, so wurde ab 1971 für ganz Österreich ein regelmäßiges Netz mit einem Traktabstand von 2.75 km festgelegt. Die Traktform wurde quadratisch gewählt, mit 200 m Seitenlänge und einer Probefläche an jedem Eckpunkt. Damit ergeben sich für die Perioden 1971/80 und 1986/90 jeweils rund 11.000 Trakte mit rund 44.000 Probeflächen im gesamten Bundesgebiet, wovon etwa 20.000 auf Wald fielen.

Auf den Probeflächen wurden flächenbezogene Parameter, wie Bestandes- und Standortdaten, und Einzelbauparameter erhoben. Die Größe der Probefläche für die flächige Ansprache war 300 m², die Probebäume wurden mittels Winkelzählverfahren für eine Kluppschwelle von 10.5 cm ausgewählt. Ab 1981 wurde die Kluppschwelle auf 5 cm herabgesetzt, die Stämme zwischen 5 und 10.5 cm wurden jedoch auf einem starren Probekreis von 2.6 m Radius ausgewählt. Bei Erhebungen am Wald- und Bestandesrand wurde die Probefläche in Teilflächen geteilt. Das bedeutet, daß weder die Ansprache der flächigen Parameter einer Randprobefläche in das Bestandesinnere verlegt wurden, noch eine Spiegeltechnik für die Winkelzählprobe angewandt wurde. Geteilte Probeflächen wurden aber bei der Ermittlung der Schätzwerte (Hektar- und Gesamtwerte) mit ihrem Probeflächenanteil gewogen in die Berechnung einbezogen.

Die Oberhöhe wurde für Oberhöhenbestände von 1971 bis 1990 erhoben. Die Definitionen in diesem Bereich blieben für die gesamten 20 Jahre in den Dienstanweisungen konstant (FBVA 1974,1981). Offensichtlich wurde jedoch die Definition für einen Oberhöhenbestand in der praktischen Erhebung der Periode 1986/90 etwas enger gefaßt als 1971/80. Dies läßt sich anhand der etwas geringeren Anzahl von ausgewiesenen Oberhöhenbeständen für die Periode 1986/90 vermuten. Daher

wurden die Daten der Periode 1971/80 für die Parametrisierung der Modelle eingesetzt, die Werte der Periode 1986/90 für die Validierung.

3.1.2 Alter und Oberhöhe

Das Alter (bzw. die Altersstufe) und die Oberhöhe wurden für Oberhöhenbestände erhoben (FBVA 1974). Als solche galten gleichaltrige, einschichtige bzw. bei gleichaltriger Oberschicht auch zweischichtige Bestände, in denen eine Hauptbaumart feststellbar war. Als gleichaltrig wurden einschichtige Bestände angesprochen, wenn das Alter der herrschenden Bäume innerhalb eines Bereiches von 10 Jahren (max. 15 Jahren) lag. Eingewachsene Überhälter, Vorwüchse, sowie einzelne zurückgebliebene, unterdrückte bzw. aus Nachbesserungen hervorgegangene Individuen waren kein Hindernis für die Ansprache „gleichaltrig“. Hauptbaumart war jene Baumart, die in unmittelbarer Umgebung (20-30 m) hinsichtlich der Stammzahl der „Bitterlich-Population“ am stärksten vertreten war.

Als Oberhöhe wurde die gemittelte Höhe der drei stärksten Stämme der Winkelzählprobe definiert (POLLANSCHÜTZ 1973). Fielen im Bereich einer Probestfläche oder einer Teilfläche weniger als 5 Probestämme der Hauptbaumart an, dann wurde die gemittelte Höhe der drei stärksten Stämme in der unmittelbaren Umgebung der Probe (20-30 m) angegeben. Bäume, die offensichtlich nicht dem normalen Bestandesgefüge entsprachen, wie zum Beispiel Überhälter, Vorwüchse und Randstämme, waren ebenso wie Dürrlinge und Zwiesel für die Ermittlung der Oberhöhe nicht geeignet. Die Höhenmessungen erfolgten in der Periode 1971/80 mit dem Blume-Leiss, in der Periode 1986/90 mit dem Spiegelrelaskop.

Das Alter wurde mit einer Klassenbreite von fünf Jahren erhoben. Dazu wurden Bohrkerne in Stockhöhe gezogen und im Feld ausgezählt. Wenn frische Stöcke vorhanden waren, die von Bäumen aus der Oberschicht stammten, wurden diese ebenfalls zur Altersbestimmung herangezogen.

Die für einen weiten Altersrahmen vorhandenen Daten für die Baumart Fichte (5-180 Jahre) wurden für die weiteren Berechnungen auf das Alter zwischen 30 und 140 Jahren eingeschränkt. Diese Einschränkung wurde gewählt, da die Anwendung von Oberhöhenfächern über diesen Bereich hinaus mit besonders großen Unsicherheiten behaftet ist.

Damit standen insgesamt 3015 Fichtenoberhöhen mit dazugehörigen Altersstufen zur Verfügung. Für die weiteren Berechnungen wurde der Tatsache des Clustersamplings keine Bedeutung beigemessen, da bei 200 m Abstand zwischen den Probestflächen mit Sicherheit ein anderer Bestand erreicht wurde. Mögliche räumliche Autokorrelationen zwischen den Beständen eines Traktes wurden vernachlässigt.

Die räumliche Verteilung der Bestände ist der Abbildung 1 zu entnehmen. Auffallend ist hier die geringe Häufigkeit von Fichtenoberhöhenbeständen im Westen Österreichs (Tirol und Vorarlberg). Die meisten Probestflächen für diese Untersuchung liegen in der Steiermark. Die Fläche, die von den Fichtenoberhöhenbeständen aller Altersstufen eingenommen wird, beträgt etwa 23% von der Gesamtwaldfläche und

37% von der Fläche der Baumart Fichte in Österreich. Dies weist auf die große Bedeutung von ungleichaltrigen und/oder Mischbeständen, in denen sich keine Hauptbaumart feststellen läßt, in Österreich hin. Für diese wären dann Bonitierungs-funktionen, wie sie im Kapitel 2 erörtert werden, geeignet, die Ertragsleistung an Hand von Standortparametern abzuschätzen.

Die Verteilung der verwendeten Probebestände nach den Altersstufen gibt die Tabelle 1. Hier zeigt sich deutlich die schon im letzten Kapitel angesprochene Abnahme der Oberhöhenbestände für Fichte ab 80 Jahren, wo etwa die Nutzung dieser Bestände einsetzt. Bereits im Alter 100 sind sie schon auf die Hälfte reduziert; im Alter 130-140 stocken schließlich nur mehr etwa 15% der Bestände, die bis zum Alter 80 vorhanden waren.

<i>Tabelle 1: Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände zwischen 30 und 140 Jahren nach Alter</i>											
Alter	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100	-110	-120	-130	-140
Anzahl	427	417	359	457	383	291	221	141	169	83	67

Rund 80% der Probeflächen besitzen Oberhöhenbonitäten für das Alter 100 nach Fichte Bayern zwischen 25 und 40 m (Tabelle 2). Es sind aber auch höchste Bonitäten vertreten, die eine Extrapolation des Fächers nach oben notwendig machen, da Fichte Bayern in der Tafel von MARSHALL (1975) mit einer Oh100 von 40 m endet.

<i>Tabelle 2: Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach Oberhöhenbonität (Oh100 - Fichte Bayern)</i>									
Ohbon	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	30 - 35	35 - 40	40 - 45	45 - 50	50 - 55
Anzahl	11	44	267	644	1015	719	240	59	16

3.1.3 Standortserhebung

Seit der Inventurperiode 1971/80 wurde eine nahezu unveränderte Standortserhebung bis 1990 durchgeführt. Dabei wurden die Seehöhe, der Bodentyp, die Gründigkeit, der Vegetationstyp, der Wasserhaushalt, das Relief sowie Exposition und Neigung erhoben. Die Seehöhe wurde ab 200 m in 100 m Stufen erhoben. Die Verteilung der Oberhöhenbestände über der Seehöhe ist in der Tabelle 3 angeführt. Der Modus liegt zwischen 800 und 1000 m.

<i>Tabelle 3: Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach der Seehöhe</i>									
Seehöhe (m)	-400	-600	-800	-1000	-1200	-1400	-1600	-1800	-2000
Anzahl	163	487	599	621	528	376	199	41	1

Der Bodentyp wurde in 26 Typengruppen erhoben (FBVA, 1981). Seltene Böden wurden für die weitere Bearbeitung zusammengefaßt, so daß sich folgende Gruppen ergeben (Tabelle 4):

Abbildung 1:
Fichtenoberhöhenbestände in Österreich nach Oberhöhenbonitäten

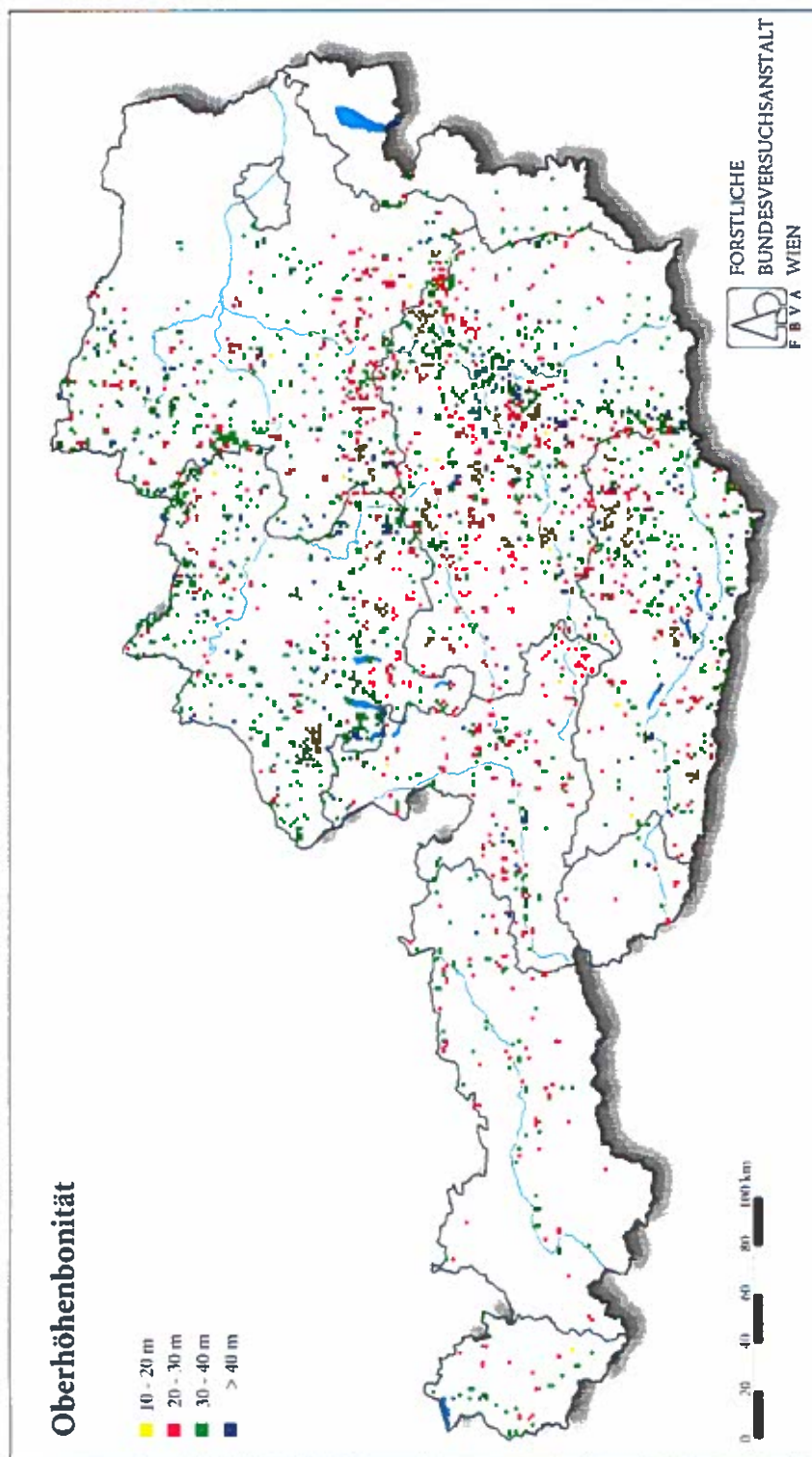


Tabelle 4:
Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach den Bodentypengruppen

Bodentypengruppen	Schlüsselzahl	Anzahl
Braunerden und Hangkolluvien auf ärmerem Kristallin	02	316
Braunerden und Kolluvien auf basenreichem Kristallin	03	406
Semipodsol auf Kristallin	04	892
klimabedingter und substratbedingter Podsol	05 - 07	159
leichte Braunerde und podsolige Braunerde auf Lockersedimenten	08	94
Bindige Braunerde auf Moränen, Geschiebe und Staublehm	09	62
Braunerde und Parabraunerde auf Löß	10	62
Pseudogley auf diversen Substraten	11-14	317
Alte Verwitterungsdecken (Braunlehm, Rotlehm)	15	28
Rendsina	17	177
Mischböden aus Rendsina und Terra fusca	18	220
Terra fusca und Kalksteinlehm	19	245
andere		75

Die häufigste Bodengruppe ist der Semipodsol, der auf 30% der Fichtenoberhöhenbestände vorkommt. Stark besetzt sind auch die Braunerden auf ärmerem und basenreichem Kristallin. Die Kalkserie von Rendsina bis Kalksteinbraunlehm ist ebenfalls zahlreich vertreten. Alle anderen Bodengruppen sind mit unter hundert Beständen schwächer vertreten.

Die Bodenvegetation wurde in Form von 21 Vegetationstypen erhoben. Manche von ihnen sind kaum besetzt und daher zu Gruppe „Sonstige“ zusammengefaßt (Tabelle 5). Ebenso sind die verschiedenen Ausprägungen des Astmoos-Heidelbeer-Drahtschmieletyps (AHD) zu einer Gruppe zusammengefaßt. Das Vorkommen der Vegetationstypen ist zu 80% auf zwei Gruppen, den Sauerkleetypus und den AHD, beschränkt.

Tabelle 5:
Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach den Vegetationstypen

Vegetationstypengruppen	Schlüsselzahl	Anzahl
Schattenkräutertypen in engeren Sinn	01	223
Mäßig frische Kräuter	02	114
Sauerkleetypen	04	1601
Astmoos-Heidelbeer-Drahtschmieletypen	05-08	805
Vergrasung	12	125
Hochstauden	19	91
sonstige		56

In unmittelbarem Zusammenhang mit der Bodenvegetation wurde der Wasserhaushalt an Hand von Zeigerpflanzen im Feld in fünf Klassen bestimmt. Da die beiden extremen

Wasserhaushalte „trocken“ und „naß“ nur mit 0,9% besetzt sind, wurden sie zu den angrenzenden Gruppen dazugeschlagen. Damit ergab sich die Häufigkeit, wie sie der Tabelle 6 zu entnehmen ist. Auch hier zeigt sich, wie schon bei den Vegetationsgruppen eine Häufung der Bestände, wobei 83% in die mittlere Gruppe „frisch“ fallen.

Tabelle 6:
Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach dem Wasserhaushalt

Wasserhaushalt	mäßig frisch	frisch	sehr frisch
Anzahl	351	2504	160

Für das Relief gilt ähnliches wie für den Wasserhaushalt, da 77% der Bestände am Mittelhang stocken (Tabelle 7)

Tabelle 7:
Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach dem Relief

Relief	Oberhang	Mittelhang	Unterhang	Ebene
Anzahl	99	2318	230	368

Die Gründigkeit wurde bei der Inventur nur sehr grob in zwei Stufen angesprochen, mit der Grenze bei 30 cm. 95 % der Oberhöhenbestände fallen in die Kategorie über 30 cm, auf 2% konnte die Gründigkeit nicht erhoben werden. (Tabelle 8).

Tabelle 8:
Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach der Gründigkeit

Gründigkeit	bis 30 cm	über 30 cm	nicht erhebbar
Anzahl	73	2879	63

Die Aufteilung der Bestände nach der Exposition ist hingegen nahezu gleich verteilt, mit einem leichten Überhang der Nord- und Westexpositionen (Tabelle 9).

Tabelle 9:
Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach der Exposition

Exposition	Eben	Nord	Nordost	Ost	Südost	Süd	Südwest	West	Nordwest
Anzahl	308	563	334	324	225	321	237	407	296

Etwa 60 % der Fichtenoberhöhenbestände liegen an mäßig steilen bis steilen Hängen zwischen 10 und 60 % Gefälle (Tabelle 10).

Tabelle 10:
Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach der Hangneigung

Neig.	Eben	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
Anz.	308	177	391	451	419	406	406	280	133	35	9

3.2 Klimadaten

Für die Ermittlung von klimatologischen Kennwerten für jede Probestfläche der Inventur wurden Temperaturdaten und Niederschlagsdaten von Stationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZMG) sowie des hydrographischen Zentralbüros (HZB) verwendet. Diese Daten standen teilweise auf der Klimadatenbank der FBVA zur Verfügung, teilweise wurden sie den Zehnjahresbänden des HYDROGRAPHISCHEN DIENSTES IN ÖSTERREICH (1994 a, b) entnommen. Neben den Klimadaten selbst wurden noch zusätzlich die Seehöhe und räumliche Informationen (Bundesmeldenetzkoordinaten in M31 bzw. Zugehörigkeit zu einem bestimmten Wuchsgebiet) für die Parametrisierung der Modelle verwendet.

3.2.1 Temperaturdaten

Für die Erstellung der Temperaturmodelle wurden Terminwerte, die zu Tagesmitteln umgerechnet wurden, Monatsmittel und Jahresmittel sowie die Länge der Vegetationszeit (Anzahl der Tage über 10° C) verwendet. Es wurden sowohl 30-jährige (1961-1990) als auch 40-jährige (1951-1990) Mittelwerte gemeinsam verwendet, da damit deutlich mehr Daten zur Verfügung standen als bei der Verwendung von nur einer Zeitspanne. Der Nachteil dieser Mischung von zwei verschiedenen langen Zeiträumen sollte durch die deutlich bessere Besetzung in den einzelnen Wuchsgebieten mehr als aufgewogen werden.

Ein weiteres Problem ist durch die verschiedenen Definitionen des Tagesmittels (gewogenes Mittel aus den drei Terminwerten 7, 14, 19h bzw. Mittelung von Maximum-Minimum), nach dem in Analogie sich alle weiteren Mittel wie Monats- und Jahreswerte errechnen, gegeben. Soweit im folgenden die Tagesmittel selbst verwendet werden, sind diese ausschließlich durch gewogene Mittelbildung der Terminwerte errechnet. Der Einfluß der Tagesmittelformel ist bei Monats- bzw. Jahresmitteln durch einen „Glättungseffekt“ schon deutlich geringer als bei den Tagesmitteln selbst, so daß hier Verzerrungen der Ergebnisse durch gemischte Verwendung von zwei verschiedenen Tagestemperaturdefinitionen unwahrscheinlich sind.

Die Jahresmitteltemperaturen wurden von insgesamt 407 Stationen herangezogen. Die Verteilung der Stationen in den Hauptwuchsgebieten (KILIAN et AL., 1994) und in den Seehöhenstufen ist den Tabellen 11 und 12 zu entnehmen.

*Tabelle 11:
Anzahl der Stationen für die Temperaturwerte nach Hauptwuchsgebieten*

Hauptwuchsgebiete	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Jahreswerte	56	42	33	79	31	26	38	64	39
Juliwerte	52	37	27	75	30	24	38	58	37
Vegetationszeit	51	38	27	61	25	21	32	53	31
Monatswerte	59	24	37	55	17	30	21	32	29

Tabelle 12:
Anzahl der Stationen für die Temperaturwerte nach Seehöhenstufen

Seehöhenstufen (m)	-300	-600	-900	-1200	-1500	-1800	-2100	>2100
Jahreswerte	76	151	92	53	19	7	8	1
Juliwerte	70	142	86	47	17	6	8	1
Vegetationszeit	60	128	77	50	19	7	6	1
Monatswerte	39	86	72	60	27	9	9	1

Wiedien Tabellen 11 und 12 zu entnehmen ist, sieht die Aufteilung der 377 Stationen für die Julimittelwerte ähnlich aus wie bei den 348 Stationen für die Dauer der Vegetationszeit. Die Monatsmitteltemperaturen wurden von einer etwas kleineren Anzahl von Stationen (302) verwendet und dienten der Erstellung der Modelle für die Vegetationszeittemperatur.

Für alle Temperaturdaten gilt, daß die Besetzung deutlich mit größeren Seehöhen abnimmt. Da jedoch auch die Verbreitung der Oberhöhenbestände der Fichte in größeren Seehöhen abnimmt und diese nur vereinzelt bis maximal 1800 m vorkommen, ist die zu erwartende Ungenauigkeit der Modelle in größeren Seehöhen für diese Arbeit kein großer Nachteil, auch wenn in Regressionsrechnungen die Besetzung an den Rändern von großer Bedeutung ist. Für Untersuchungen an der Waldgrenze wäre dieses Datenmaterial ungeeignet.

Die Tagesmittelwerte waren von 52 Stationen vorhanden. Diese wurden zur Berechnung des Temperaturverlaufes innerhalb bestimmter Monate gebraucht. Die Tagesmittelwerte von nur zwölf ZMG Stationen, die über ganz Österreich verteilt sind und verschieden lange Vegetationszeiten repräsentieren (von 62-188 Tagen), dienten zur Ermittlung der Zeitspanne der Vegetationszeit, das heißt für die Bestimmung des Beginns und des Endes der Vegetationszeit.

3.2.2 Niederschlagsdaten

Ausgangsdaten für die Parametrisierung des Niederschlagsmodells waren Jahressummen und Monatssummen. Dafür standen 696 Stationen mit durchschnittlichen Jahres- und Monatswerten der Periode 1951-1990 zur Verfügung. Die Aufteilung nach Seehöhenstufen (Tab. 14) zeigt, daß die höheren Lagen zwar besser repräsentiert sind als bei den Temperaturwerten, aber im Vergleich zu den tieferen Stationen

Tabelle 13:
Anzahl der Stationen für die Niederschlagswerte nach Hauptwuchsgebieten

Hauptwuchsgebiete	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stationen	78	71	49	149	51	40	62	124	72

Tabelle 14:
Anzahl der Stationen für die Niederschlagswerte nach Seehöhenstufen

Seehöhe	- 300	- 600	- 900	- 1200	- 1500	- 1800	-2100	> 2100
Stationen	123	241	156	102	48	14	9	3

deutlich in der Minderzahl sind. Diese schlechtere Besetzung in den höheren Lagen ist jedoch, wie bereits erwähnt, für diese Arbeit kein entscheidender Nachteil.

Die Modelle für den Jahresniederschlag wurden im allgemeinen wuchsgebietsweise parametrisiert, um der starken räumlichen Variation gerecht werden zu können. Da in fünf Wuchsgebieten (2.2, 3.1, 4.2, 5.1, 5.2) die Besetzung ungünstig war (räumliche Verteilung oder die Verteilung nach der Seehöhe) wurden für diese Wuchsgebiete auch Stationswerte (insgesamt 60) mit kürzeren Beobachtungszeiträumen dazu genommen.

3.3 Oberhöhendaten von Dauerversuchsflächen

Für die Erstellung von Höhenfächern, als Alternative zu den in Österreich gebräuchlichen Ertragstafeln, werden Daten von Dauerversuchsflächen eingesetzt, da diese, im Vergleich zu anderen Datenquellen, am besten das Bestandeswachstum widerspiegeln (siehe auch Abschnitt 4.2.1). In Österreich sind solche Daten von alten Versuchsflächen nicht in ausreichendem Maße vorhanden, so daß auf Daten aus Bayern zurückgegriffen werden muß. Hier haben sich die von Röhle (1995) publizierten Daten der sogenannten DEOS-Serie angeboten. Eine genaue Beschreibung des Datenmaterials liefert Röhle (1995), hier soll nur ein kurzer Überblick über Versuchsziel, Standort der Flächen und Methoden der Datenaufbereitung gegeben werden.

Bei der DEOS-Versuchsreihe handelt es sich um vier Versuchsorte (Denklingen, Eglharting, Ottobeuren, Sachsenried) mit 26 Versuchspartzellen (je 0.25 Hektar). Die Flächen wurden als Durchforstungsversuche eingerichtet, wobei den A-Grad Partzellen (ohne Behandlung) B- und C-Grad Niederdurchforstungspartzellen gegenübergestellt wurden. Die Höhenmessungen erfolgten hauptsächlich mit dem Blume-Leiss.

In der Abbildung 2 ist die geographische Lage der Versuchsorte eingezeichnet. Der Versuch Eglharting liegt in der Münchner Schotterebene, die anderen Versuchsorte sind im Alpenvorland von Oberschwaben gelegen. Die Seehöhe der Versuche liegt zwischen 450 und 850 m, die natürlichen Waldgesellschaften werden als Buchenwälder (mit Stieleiche) bzw. Buchen-Tannenwälder der submontanen bis montanen Stufe beschrieben. Die Fichte gilt in zweiteren als natürliche Mischbaumart, natürliche Fichtenreinbestände können in diesen Lagen nicht vorkommen. Die durchschnittlichen Jahrestemperaturen liegen zwischen 6,3° und 7,4° C, die Vegetationszeitemperaturen (Zeitraum von Mai bis August) reichen von 14,3° bis 15,1° C. Der Jahresniederschlag wird mit 940 bis 1250 mm beziffert und beträgt für die Vegetationszeit 440 bis 550 mm. Die Böden sind sandig-kiesige (Eglharting) bzw. lehmige Parabraunerden auf Terrassenschotter.

Die Ermittlung der Oberhöhen zu den jeweiligen Meßzeitpunkten erfolgte aus Alters-Höhenkurven. Diese wiederum wurden zunächst aus den Meßdaten ermittelt, und dann einem Ausgleichsverfahren über der gesamten Versuchsdauer unterzogen

Abbildung 2:
Geographische Lage der Fichtendauerversuchsflächen (nach RÖHLE, 1995)

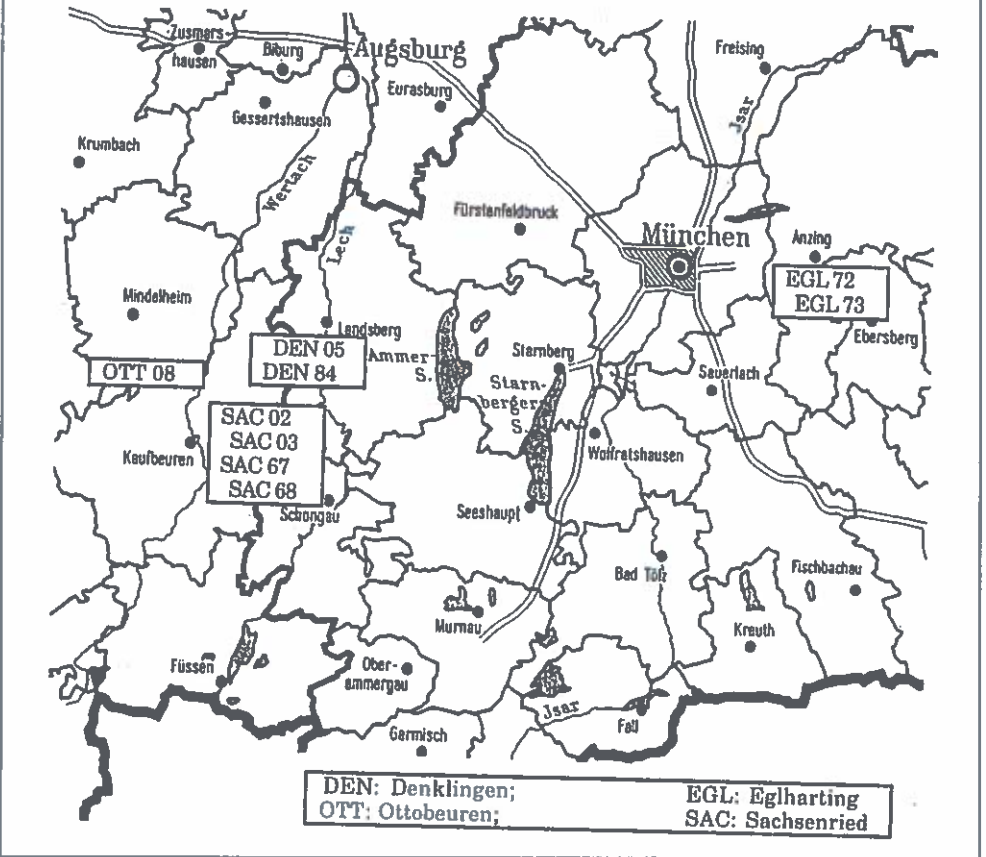
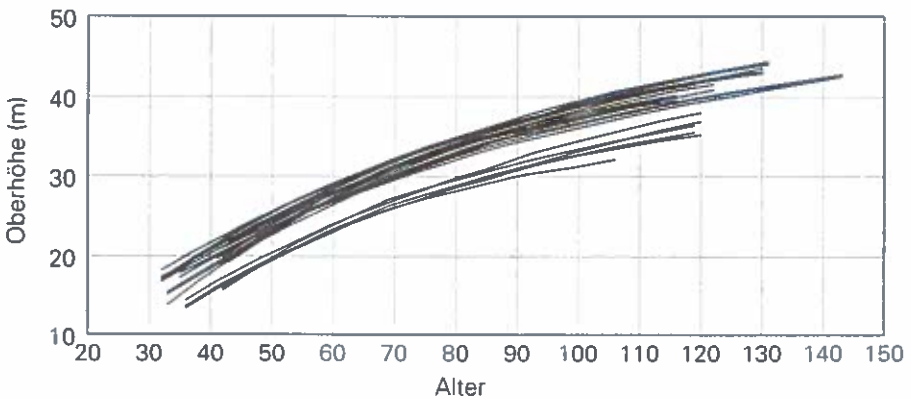


Abbildung 3:
Oberhöhe über dem Alter für die Fichtendauerversuchsflächen



(sog. geschichtete Höhenkurven). Als Oberhöhendefinition wurde die von Assmann herangezogen (mittlere Höhe der 100 stärksten Stämme). Die Verläufe der Oberhöhen über dem Alter ist für alle 26 Parzellen in Abbildung 3 dargestellt. Hier zeigt sich, daß die Oberhöhenbonitäten für das Bezugsalter 100 etwa zwischen 31 und 40 m liegen. Das Fehlen geringwüchsiger Versuchsfächen ist für die Parametrisierung der Oberhöhenfächer wie auch für die Interpretation der Ergebnisse der Bonitierungsmodelle von Bedeutung.

4 Methoden

4.1 Klimatologische Modelle

Ziel der Erstellung dieser Modelle war es, für jeden Punkt in Österreich, von dem die Koordinaten, die Zugehörigkeit zu einem Wuchsgebiet (KILIAN et AL., 1994), die Seehöhe, Exposition und Neigung bekannt sind, klimatologische Kenngrößen ableiten zu können, die für die Bonität von Bedeutung sein können. Zunächst wurden Modelle für die Jahrestemperatur, die Julitemperatur, die Dauer der Vegetationszeit und die Jahresniederschläge erstellt. Da jedoch für das Wachstum der Bäume die Vegetationszeittemperatur oder davon abgeleitete Größen und die Vegetationszeitniederschläge von größerer Bedeutung sind als die entsprechenden Jahreswerte, wurden auch Modelle für Vegetationszeitwerte gebildet, die auf den erstgenannten Modellen aufgebaut waren. Neben den Temperatur- und Niederschlagswerten wurden auch Ariditäts- bzw. Feuchtigkeitsindizes berechnet, die möglicherweise für die Standortsbonität von Bedeutung sind. Für die Berücksichtigung von Exposition und Neigung wurden zwei unterschiedliche Ansätze versucht. Eine Methode nach STAGE (1976), bei der ursprünglich der Sinus und der Kosinus der Exposition und der Tangens der Neigung eingeht, wurde an die vorhandene Datengrundlage angepaßt. Eine andere Methode von ROISE & BETTERS (1981), die die Exposition in Abhängigkeit der Seehöhe unterschiedlich eingehen lassen, wurde ebenfalls etwas adaptiert verwendet.

Bei den vorliegenden Modellen handelt es sich um eine einfache Annäherung an die genannte Zielsetzung. Einerseits wurden mit durchschnittlichen Jahres- und Monatswerten für die Temperatur und den Niederschlag nur eine Auswahl von klimatologischen Ausgangsdaten gewählt, andererseits erfolgte die Parametrisierung ohne digitales Höhenmodell, welches die Qualität solcher Modelle wahrscheinlich steigern könnte. Wesentlich ist es, Möglichkeiten der Verknüpfbarkeit von Klimadaten mit Wachstumsdaten der Forstinventur aufzuzeigen und plausible Zusammenhänge zu finden, um damit die Qualität der waldwachstumskundlichen Modelle steigern zu können. Daher sind auch die Ergebnisse der Parametrisierung der klimatologischen

Modelle in diesem Kapitel beschrieben, da sie eine Datengrundlage für die Höhenmodelle darstellen.

4.1.1 Modelle für Jahrestemperatur, Julitemperatur und Vegetationszeitlänge

Die Modelle für die Jahrestemperatur, die Julitemperatur und die Vegetationszeitlänge wurden in gleicher Art und Weise erstellt. Grundmodell war die Temperaturgröße in Abhängigkeit von der Seehöhe.

$$\begin{aligned}\text{Jahrestemperatur} &= a_{ja} + b_{ja} \cdot \text{Seehöhe} \\ \text{Julitemperatur} &= a_{ju} + b_{ju} \cdot \text{Seehöhe} \\ \text{Vegetationszeit} &= a_v + b_v \cdot \text{Seehöhe}\end{aligned}$$

Diese einfachen linearen Modelle können möglichen Inversionssituationen nicht gerecht werden. Die Datengrundlage erlaubt aber auch keine Parametrisierung unter Berücksichtigung von Temperaturinversionen, da keine Höhenprofile für einzelne Täler vorhanden waren. Die unterschiedlichen Seehöhen von einzelnen Stationen auch innerhalb einzelner Wuchsgebiete lassen kaum die Ermittlung von Inversionssituationen zu, da die Stationen oft in verschiedenen Tälern liegen. In Tabelle 15 sind beispielhaft für diese Problematik die Bestimmtheitsmaße von linearen Regressionen der Temperatur über der Seehöhe für einzelne Monate des Winterhalbjahres für die Innenalpen (Hauptwuchsgebiet 1) wiedergegeben.

Tabelle 15:

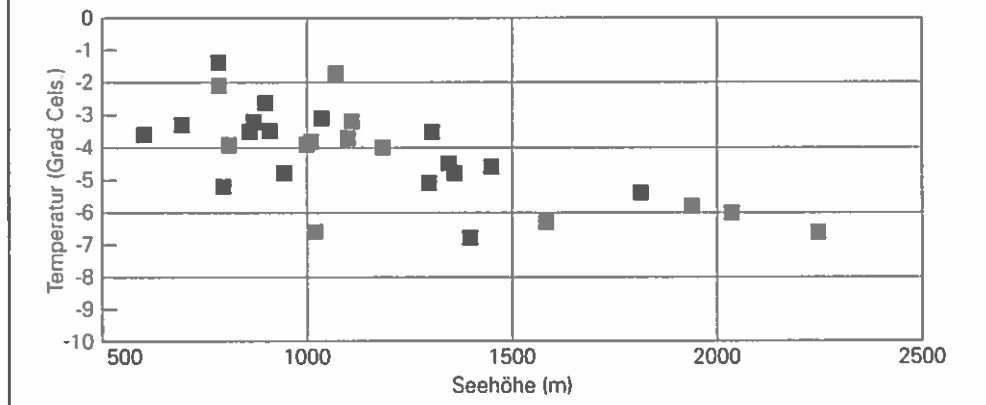
Bestimmtheitsmaße (Best.Maß) der linearen Regressionen der Temperatur über der Seehöhe für die Innenalpen nach Monaten des Winterhalbjahres

Monat	Oktober	November	Dezember	Jänner	Februar	März
Best.maß	0,89	0,86	0,41	0,47	0,77	0,90

Hier zeigt sich, daß der lineare Zusammenhang zwischen Temperatur und Seehöhe in den Monaten Dezember, Jänner und auch noch Februar deutlich geringer ist als in den anschließenden Monaten. Dies ist sicherlich durch Inversionswetterlagen hervorgerufen, die sich jedoch aus genannten Gründen mit den vorhandenen Daten auch nicht durch ein komplizierteres Modell erfassen ließen, wie auch die Abbildung 4 (Jännertemperatur über der Seehöhe im Hauptwuchsgebiet 1 zeigt. Daher wurde auf die Modellierung der Inversionssituationen verzichtet und auch kein Modell für die Jännertemperaturen berechnet.

Die linearen Modelle sollten für die einzelnen Wuchsgebiete, die ja klimatologisch relativ einheitliche Räume darstellen (KILIAN et al., 1994), parametrisiert werden. Da jedoch für eine getrennte Berechnung die Besetzung in den einzelnen Wuchsgebieten größtenteils zu gering war, wurde folgende Vorgangsweise gewählt:

Abbildung 4:
Mittlere Jännertemperaturen über der Seehöhe für das Hauptwuchsgebiet 1



In einem ersten Schritt wurden die 22 Wuchsgebiete zu größeren Einheiten zusammengefaßt (Abb. 5). Anhand einer Kovarianzanalyse mit der Seehöhe als Kovariate wurde festgestellt, ob sich die Wuchsgebietsgruppen bezüglich der Temperaturgrößen voneinander unterscheiden. Neben der "klassischen Kovarianzanalyse" wurde auch die Abnahme der Temperatur mit der Seehöhe für die Wuchsgebietsgruppen auf Signifikanz getestet. Da alle statistischen Analysen mit dem Programmpaket SPSS durchgeführt wurden, das keine Tests auf ungleiche Anstiege und/oder Absolutglieder der Regression innerhalb der Gruppen anbietet, mußten diese "händisch" durchgeführt werden (WEBER, 1967). Die Ergebnisse zeigten, daß für alle drei Temperaturgrößen die Unterschiede, sowohl für die Mittelwerte als auch für die Regressionskoeffizienten, zwischen den Wuchsgebietsgruppen signifikant verschieden waren.

So wurde in einem zweiten Schritt dasselbe Verfahren für alle Wuchsgebietsgruppen getrennt mit den einzelnen Wuchsgebieten als Trennfaktoren durchgeführt. Je nach den Ergebnissen der Kovarianzanalysen wurden das Absolutglied und die Regressionskoeffizienten für die Temperaturmodelle wie folgt festgelegt:

- Waren die Mittelwerte und die Regressionskoeffizienten zwischen den Wuchsgebieten signifikant verschieden, so wurde für jedes Wuchsgebiet eine eigene Ausgleichsgerade berechnet.
- Waren nur die Mittelwerte signifikant verschieden, nicht aber die Anstiege, so wurde ein gemeinsamer Anstieg für die Wuchsgebietsgruppe gewählt. Die Absolutglieder wurden dann für jedes Wuchsgebiet einzeln ermittelt.
- War die Kovarianzanalyse auch für die Mittelwertsdifferenzen nicht signifikant, wurde ein Modell für die gesamte Wuchsgebietsgruppe erstellt.

Die Ergebnisse dieser Kovarianzanalysen (Tab. 16) zeigen, daß hauptsächlich der zweite Fall eingetreten ist, womit die Modelle zwar innerhalb der Wuchsgebietsgruppen dieselben Anstiege, aber unterschiedliche Absolutglieder besitzen (Tab. 17).

Es fällt auf, daß die drei Temperaturgrößen bezüglich der Signifikanz von Mittelwerten und Regressionskoeffizienten mit Ausnahme von den Innenalpen, wo in einem Fall der Regressionskoeffizient der Vegetationszeitlänge über der Seehöhe auch signifikant ist, idente Ergebnisse lieferten.

Für das Wuchsgebiet 8.2 war keine der drei Regressionen für die Temperaturgrößen über der Seehöhe signifikant. Sie mußten als konstant für das gesamte Wuchsgebiet angenommen werden. Dieses Ergebnis ist durch die geringe Variation der Temperaturverhältnisse in diesem Raum, wie sie auch bei WAKONIGG (1978) beschrieben wurde, verursacht. Die Wuchsgebiete 5.1 bis 5.4 waren infolge ihrer relativ kleinen Flächen gering besetzt, so daß die Wuchsgebiete 5.2 und 5.3 (außer bei der Vegetationszeitlänge) zusammengefaßt wurden. Für die südlichen Rand- und Zwischenalpen und für das Mühl- und Waldviertel wurde jeweils nur ein Modell gebildet, da auch die Mittelwerte der einzelnen Wuchsgebiete in der Kovarianzanalyse nicht signifikant verschieden waren. Die Bestimmtheitsmaße der Regressionen lagen im wesentlichen über 80%, nur die Tieflagen mit geringen Seehöhenspreitungen lagen deutlich unter diesem Wert.

Tabelle 16:

Ergebnisse der Kovarianzanalysen (Tests auf ungleiche Absolutglieder und Anstiege) für die Temperaturgrößen Jahrestemperatur, Julitemperatur und Vegetationszeitlänge nach Wuchsgebietsgruppen (★... signifikant 95%, □... nicht signifikant 95%)

Wuchsgebietsgruppen	Jahrestemperatur		Julitemperatur		Vegetationszeitlänge	
	Absolutglied	Anstieg	Absolutglied	Anstieg	Absolutglied	Anstieg
Innenalpen	★	□	★	□	★	★
nördliche und östliche Zwischenalpen	★	□	★	□	★	□
nördliche Randalpen	★	□	★	□	★	□
östliche Randalpen	★	□	★	□	★	□
südliche Rand- und Zwischenalpen	□	□	□	□	□	□
nördliche Alpenvorland	★	□	★	□	★	□
pannonisches Tiefland	□	□	□	□	□	□
Mühl- und Waldviertel	□	□	□	□	□	□

Die Ergebnisse aller drei Temperaturgrößen (Tabelle 17) zeigen, daß zugleich mit dem Trend sinkender Absolutglieder von den Innenalpen zu den Randalpen (nach Norden stärker ausgeprägt als nach Süden) der Regressionskoeffizient und damit der

Temperaturgradient mit der Seehöhe weniger steil wird. Damit verringern sich die regionalen Temperaturunterschiede mit zunehmender Seehöhe. Dieses Ergebnis paßt gut mit den bei FLIRI (1975) beschriebenen Temperaturverhältnissen für Tirol zusammen, wo die Temperaturdifferenz zwischen nördlichen Randalpen und Zentralalpen in 500 m Seehöhe mit ca. 2° C angegeben wird, in 2000 m jedoch nur 1° C beträgt. Bei FLIRI liegen die Temperaturabnahmen pro 100 m (Tabelle 18) geringfügig höher als in Tabelle 17 für die etwa vergleichbaren Wuchsgebiete 1.1 bzw. 4.1. Die Relation zwischen den Temperaturgradienten inner- bzw. randalpin ist sehr ähnlich den bei FLIRI gefundenen Verhältnissen.

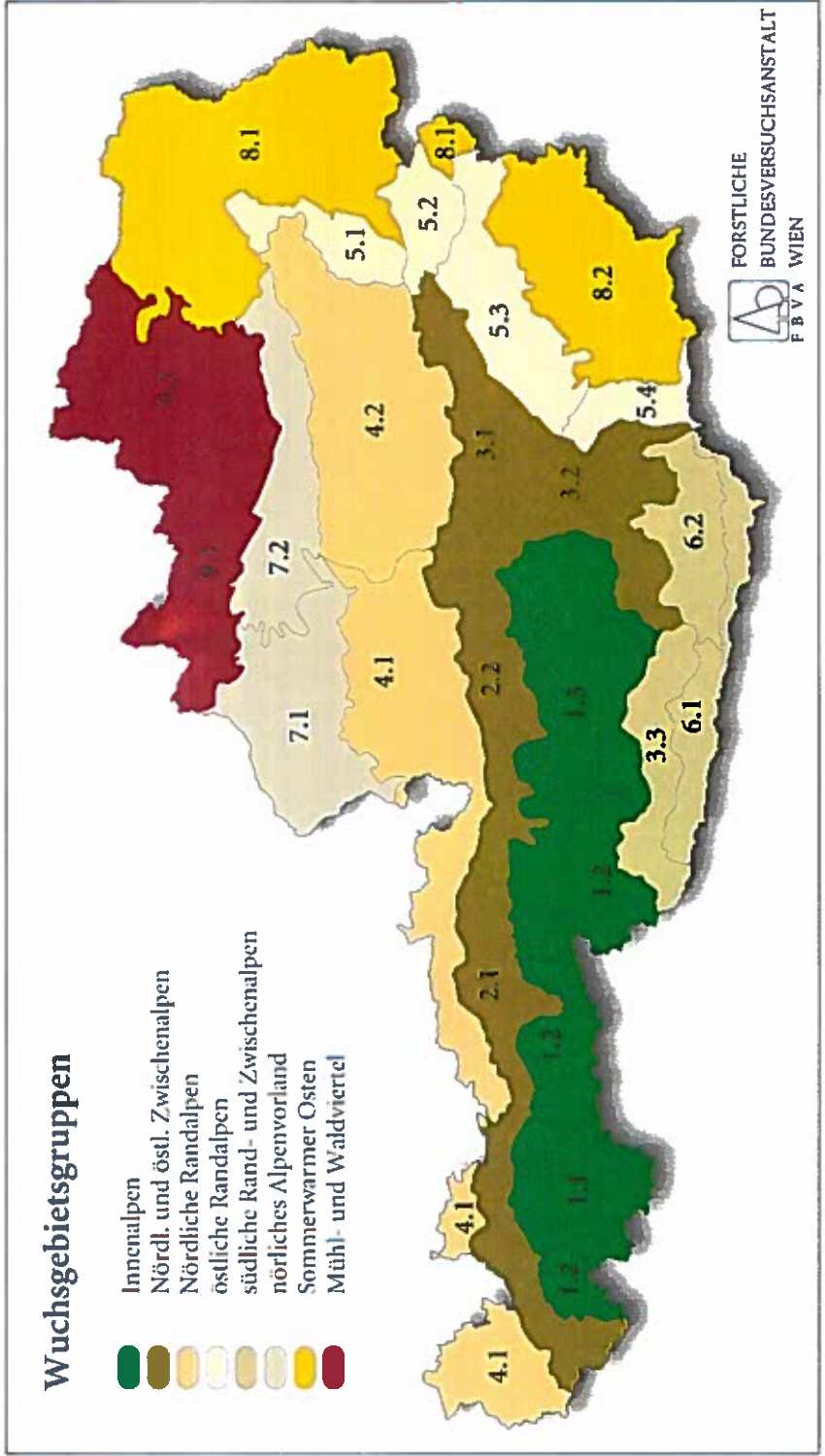
Tabelle 17:
Absolutglieder (a), Regressionskoeffizienten (b) und Bestimmtheitsmaße (B) für die Jahrestemperatur, Julitemperatur und Vegetationszeitlänge nach Wuchsgebieten

Wuchsgebiet	Jahrestemperatur			Julitemperatur			Vegetationszeitlänge		
	a	b	B	a	b	B	a	b	B
1.1	11.45	-0.504	0.89	21.97	-0.612	0.92	236	-9.04	0.99
1.2	11.18	-0.504	0.89	21.84	-0.612	0.92	230	-8.85	0.89
1.3	10.67	-0.504	0.89	21.20	-0.612	0.92	203	-7.13	0.90
2.1	10.02	-0.403	0.86	20.50	-0.546	0.92	211	-7.39	0.91
2.2	9.39	-0.403	0.86	20.12	-0.546	0.92	202	-7.39	0.91
3.1	9.11	-0.403	0.86	19.66	-0.546	0.92	198	-7.39	0.91
3.2	9.56	-0.403	0.86	20.39	-0.546	0.92	207	-7.39	0.91
3.3	10.08	-0.437	0.89	21.57	-0.605	0.94	213	-7.80	0.94
4.1	10.00	-0.441	0.81	19.96	-0.538	0.86	202	-7.38	0.86
4.2	9.45	-0.441	0.81	19.22	-0.538	0.86	193	-7.38	0.86
5.1	9.66	-0.398	0.81	19.34	-0.481	0.75	194	-6.88	0.85
5.2	9.92	-0.398	0.81	20.12	-0.481	0.75	201	-6.88	0.85
5.3	9.92	-0.398	0.81	20.12	-0.481	0.75	203	-6.88	0.85
5.4	10.46	-0.398	0.81	20.45	-0.481	0.75	213	-6.88	0.85
6.1	10.08	-0.437	0.89	21.57	-0.605	0.94	213	-7.80	0.94
6.2	10.08	-0.437	0.89	21.57	-0.605	0.94	213	-7.80	0.94
7.1	9.20	-0.326	0.52	19.17	-0.391	0.53	183	-4.25	0.49
7.2	9.65	-0.326	0.52	19.52	-0.391	0.53	190	-4.25	0.49
8.1	10.72	-0.589	0.24	21.12	-0.721	0.29	202	-6.48	0.29
8.2	9.79	-	-	18.74	-	-	181	-	-
9.1	9.40	-0.425	0.74	19.47	-0.505	0.71	188	-6.26	0.74
9.2	9.40	-0.425	0.74	19.47	-0.505	0.71	188	-6.26	0.74

Tabelle 18:
Temperaturabnahmen für Juli- und Jahrestemperatur pro 100 m Seehöhe in Tirol getrennt nach Zentralalpen und Randalpen nach Fliri (1975)

Zentralalpen		Randalpen	
Jahr	Juli	Jahr	Juli
0 53	0 65	0 46	0 57

Abbildung 5:
Zusammenfassung der 22 Wuchsgebiete zu 8 Wuchsgebietsgruppen



Vom westlichen Alpenvorland (7.1) zum pannonischen Tiefland Nordteil (8.1) zeigt sich ein deutlicher Trend in der Zunahme aller drei Temperaturgrößen, wie sie auch SCHUME et AL. (1995) beschreiben. Das Wuchsgebiet 8.1 zeigt sich auch im vorliegenden Modell als wärmstes Gebiet Österreichs. Die geringe Korrelation der Temperatur mit der Seehöhe weist auf seehöhenunabhängige Einflüsse hin, wie sie SCHUME 1993 im Detail beschreibt. Für die vorliegende Arbeit hat eine bessere Abbildung der Temperaturverhältnisse im Wuchsgebiet 8.1 keine Bedeutung, da nur neun Fichtenoberhöhenbestände in diesem Wuchsgebiet liegen.

Die bei WAKONIGG (1978) in der Steiermark gefundenen Temperaturabnahmen über der Seehöhe sind etwas steiler als die der vorliegenden Modelle in den entsprechenden Wuchsräumen. Eine Erklärung für diese geringe Abweichung könnte in den unterschiedlichen Zeiträumen, die für die Bestimmung der Temperaturverhältnisse herangezogen wurden und auch in der damit verbundenen unterschiedlichen Auswahl der Stationen liegen.

WAKONIGG gibt auch Werte für die Dauer der Vegetationszeit an. Für drei Gebiete in der Steiermark sind Vergleiche mit den entsprechenden Wuchsgebieten in Tabelle 19 durchgeführt worden. Die Angaben bei WAKONIGG liegen meist etwas unter denen des Modells für die Vegetationszeitlänge.

Tabelle 19:

Vergleich der Vegetationszeitlängen in Tagen nach WAKONIGG (1978) mit dem vorliegenden Modell für die drei Seehöhen 600 m, 1000 m und 1400 m.

¹⁾ ... Werte nach WAKONIGG ²⁾ ... Werte nach vorliegendem Modell

	Seehöhe		
	600 m	1000 m	1400 m
oberes Murtal ¹⁾	158	128	97
Wuchsgebiet 3.2 ²⁾	163	133	104
Randgebirge ¹⁾	160	139	94
Wuchsgebiet 5.3, 5.4 ²⁾	167	139	112
Norden ¹⁾	145	119	92
Wuchsgebiet 3.1, 4.2 ²⁾	151	122	92

Als Beispiel für eine kartographische Darstellung der Ergebnisse sind in Abbildung 6 die Vegetationszeitlängen in 800 m Seehöhe für die Wuchsgebiete dargestellt. Da einerseits die Tieflagen (7.1 bis 8.2) nicht solche Seehöhen erreichen, andererseits eine Seehöhe von etwa 400 m, wie sie in den Tieflagen noch vorkommt, in vielen alpinen Lagen zumindest als Waldfläche ausscheidet, sind die Hauptwuchsgebiete 7 und 8 aus diesem graphischen Vergleich herausgenommen. Für die restlichen Wuchsgebiete ergibt sich bei konstanter Seehöhe von 800 m eine Spreitung der Vegetationszeitlänge von 30 Tagen, wobei die Kernzone der Innenalpen mit 164 Tagen die längste Vegetationszeit aufweist. Die nördlichen Randalpen-Ostteil haben nach diesem Modell mit

134 Tagen die kürzeste Vegetationszeit. Neben diesen beiden Extremwerten ist eine deutliche Zunahme der Vegetationszeit von Norden nach Süden zu erkennen.

4.1.2 Modelle für die Vegetationszeittemperatur

Als Vegetationszeittemperatur wird die Mitteltemperatur jener Tage definiert, die über 10° C Tagestemperatur erreichen. Da jedoch Tagesmittel in entsprechend langen Zeitreihen nur für eine geringe Anzahl von Stationen vorlagen, mußte eine indirekte Ermittlung der Vegetationszeittemperatur gewählt werden. Dafür wurden zunächst die Tagesmittel von 12 Stationen, die nahezu die gesamte Spreitung der Vegetationszeiträume abdecken, ausgewählt, um die Kalendertage für den Beginn und das Ende der Vegetationszeit festzulegen. Beginn und Ende der Vegetationszeit wurde in weiterer Folge bei gleicher Dauer der Vegetationszeit als konstant angenommen. Mögliche Verschiebungen der Vegetationszeit bei gleicher Dauer wurden daher nicht berücksichtigt.

*Tabelle 20:
Dauer in Tagen und Termine für verschiedene Vegetationszeiträume*

Dauer	62	117	128	139	141	154	157	164	169	174	178	188
Beginn	01.07	29.05	20.05	19.05	10.05	01.05	01.05	29.04	28.04	21.04	23.04	15.04
Ende	31.08	22.09	24.09	29.09	28.09	01.10	04.10	09.10	13.10	12.10	17.10	19.10

Diese Zeitspannen dienten zur Berechnung der Vegetationszeittemperatur für all jene Stationen, für die Monatswerte vorlagen. Sie wurde als Mittel aus den von der Dauer der Vegetationszeit erfaßten Monaten gebildet. Umfaßten die Zeitspannen gesamte Monate, wurden die Monatsmitteltemperaturen in die Berechnung einbezogen. Waren Monate durch die Zeitspanne nur zum Teil betroffen, dienten lineare Regressionen für die Zu- bzw. Abnahmen der Temperatur innerhalb dieser Monate (Tab. 21) zur Berechnung des richtigen Temperaturanteils an der Vegetationszeittemperatur. Für die Berechnung dieser Temperaturzunahmen und -abnahmen für bestimmte Monate wurden jene Stationen benutzt, für die Tageswerte vorlagen und die etwa in jener Seehöhenstufe liegen, in die auch der Beginn (bzw. das Ende) der Vegetationszeit für das ausgewählte Monat fällt. So wurden z.B. für den Anstieg der Temperatur im Monat April nur Stationen mit Seehöhen zwischen 100 und 500 m ausgewählt, während für den Juni die höchsten Stationen bis 1600 m ausgewählt wurden, da in diesen Höhenlagen der Vegetationszeitbeginn in den Monat Juni fällt, während er in den tiefen Lagen in den April fällt. Die einzelnen Monatsmittel (bzw. Temperaturmittel von Monatsteilen) wurden mit der Anzahl der Tage pro Monat

*Tabelle 21:
Mittlerer Anstieg der Temperatur pro Tag für bestimmte Seehöhenbereiche in ausgewählten Monaten*

Monat	April	Mai	Juni	September	Oktober
Seehöhenbereich	100-500 m	500-1300 m	1300-1600 m	800-1600 m	100-800 m
Anstieg	+ 0.076	+ 0.126	+ 0.062	- 0.103	- 0.236

(bzw. Monatsteil) gewogen gemittelt, um die Vegetationszeitemperaturen zu erhalten.

Damit konnte für die Stationen mit Monatswerten die Vegetationszeitemperatur für zwölf bestimmte Vegetationszeitlängen ermittelt werden. Um die Vegetationszeitemperatur für die tatsächlichen Vegetationszeitlängen einer einzelnen Station zu erhalten, wurde zwischen den vorgegebenen Vegetationszeitlängen (Tab. 20) linear interpoliert. Da aber für jene Stationen mit Monatsmittelwerten die Vegetationszeitlänge nur zum Teil bekannt war, wurden die Vegetationszeitlängen nach dem im Abschnitt 4.1.1 beschriebenen Modell aus Seehöhe und Wuchsgebiet berechnet.

Die so ermittelten Vegetationszeitemperaturen wurden nun in ähnlicher Weise wie die anderen Temperaturgrößen über der Seehöhe ausgeglichen. Zunächst wurden die gleichen Wuchsgebietsgruppen wie in Abbildung 5 gebildet. Bei der schrittweisen linearen Regression mit einem linearen und einem quadratischen Term für die Seehöhe wurde in das Modell stets nur eine der beiden unabhängigen Variablen aufgenommen (Tab. 22).

Tabelle 22:

Absolutglieder (a), Regressionskoeffizienten (b), Bestimmtheitsmaße (B) und Stichprobenumfänge (N) der Regressionen für die Vegetationszeitemperatur nach Wuchsgebietsgruppen. Rechtswert und Hochwert sind die Bundesmeldenetzkoordinaten in m.

Wuchsgebietsgruppe	a	b für die Variable		B	N
		Seehöhe	Seehöhe 2		
Innenalpen	18.02	-0.419	-	0.88	59
nördliche und östliche Zwischenalpen	15.05	-	-0.0136	0.84	44
nördliche Randalpen	16.49	-0.338	-	0.91	55
östliche Randalpen	15.72	-	-0.0188	0.83	17
südliche Rand- und Zwischenalpen	15.64	-	-0.0153	0.82	48
Mühl- und Waldviertel	16.28	-0.289	-	0.60	29
		Hochwert	Rechtswert		
nördliches Alpenvorland und sommerwarmer Osten	16.37	-4.90 E-6	1.56 E-6	0.57	53

Da sich im Alpenvorland und im Osten keine signifikanten Zusammenhänge mit der Seehöhe ergaben, wurde sie durch die Bundesmeldenetzkoordinaten (Rechtswert und Hochwert) ersetzt. Da die Besetzung vor allem im Alpenvorland gering war, wurden die beiden Wuchsgebietsgruppen zusammengefaßt. Die Ergebnisse sind ebenfalls in der Tabelle 22 wiedergegeben. Hier zeigt sich, daß die Vegetationszeitemperaturen von Norden nach Süden und von Westen nach Osten zunehmen, wobei der

N-S Effekt mit $0,49^{\circ}\text{C}$ pro 100 km viel deutlicher ausgeprägt ist als der W-O Effekt mit $0,16^{\circ}\text{C}$ pro 100 km.

Eine weitere Aufgliederung der Modelle nach den einzelnen Wuchsgebieten, wie sie für die anderen Temperaturgrößen durchgeführt wurde, war nicht möglich, da die Varianzanalysen der Wuchsgebietsgruppen für die einzelnen Wuchsgebiete nicht signifikant waren. Diese Tatsache ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß die potentiellen Unterschiede in der Vegetationszeitemperatur zwischen den Wuchsgebieten zum Teil bereits durch die unterschiedliche Dauer der Vegetationszeit erfaßt sind. Folglich kommt der direkten Verwendung der Vegetationszeitemperaturen für die Bonitätsmodelle geringere Bedeutung zu. Wie im Abschnitt 4.1.6 beschrieben, werden mit Hilfe der Vegetationszeitemperaturen die Temperatursumme und klimatische Indizes errechnet, die möglicherweise größeren Einfluß auf das Wachstum der Fichte haben als die Vegetationszeitemperatur.

4.1.3 Berücksichtigung von Exposition und Neigung

Die Zusammenhänge zwischen der Exposition und dem Wachstum von Bäumen ist in der forstlichen Standortskunde sowie in der waldbaulichen Praxis gut bekannt. Es ist jedoch schwierig, diese in der Natur auch anhand der Baumartenverteilung oft leicht feststellbaren Unterschiede für ein Modell quantitativ umzulegen. Um diesem Problem gerecht zu werden, wurden zwei verschiedene Ansätze für die Quantifizierung gewählt und ihre Erklärungsgüte in den teilweise schrittweisen Regressionsanalysen für die Oberhöhenbonitäten getestet.

Ein oft verwendeter Ansatz, den Einfluß von Exposition und Neigung gemeinsam zu quantifizieren, wurde von STAGE (1976) publiziert. Ausgangspunkt seiner Überlegungen ist die Wirkungstransformation der Exposition durch Winkelfunktionen (5), wie sie schon vor ihm z.B. TRIMBLE & WEITZMANN (1956) oder BEERS et al. (1966) beschrieben haben.

$$A' = b_1 \sin(A) \tan(N) + b_2 \cos(A) \tan(N) + b_3 \tan(N) \quad (5)$$

A'	Wirkungstransformation für Azimut und Neigung
A	Azimut in Grad
N	Neigung in Grad
b_i	Regressionskoeffizienten

Die Wirkungstransformation durch Winkelfunktionen ist naheliegend, da zur Berechnung der Intensität der Sonnenstrahlung auf geneigten Flächen aus geometrischen Gründen die Winkelfunktionen Sinus und Kosinus zum Tragen kommen (DIRMHIRN 1964). Für die Globalstrahlung, die in diesem Zusammenhang von größerer Bedeutung wäre, können infolge der Komplexität der Zusammenhänge keine so einfachen Beziehungen für die Intensität auf geneigten Oberflächen aufgestellt werden. Damit beschränken sich die Wirkungstransformationen anhand der Winkelfunktionen nur auf die Wirkung der Sonnenstrahlung auf unterschiedlich exponierte Hänge

STAGE (1976) empfiehlt die gemeinsame Verwendung von Sinus und Kosinus der Exposition jeweils multipliziert mit dem Tangens der Neigung. Damit ist es möglich, den maximalen bzw. minimalen Einfluß der Wirkungstransformation auf die Bonität durch die Daten selbst a posteriori festlegen zu lassen. Durch die Multiplikation mit dem Tangens der Neigung wird die Wirkung der Exposition auf das Wachstum mit zunehmender Neigung verstärkt angenommen. Um diese Vorgabe relativieren zu können, soll zusätzlich noch der Tangens der Neigung alleine in die Modelle genommen werden. Nach ersten Regressionsanalysen mit dem Datenmaterial zeigte sich jedoch, daß nicht alle von STAGE vorgeschlagenen Variablen signifikant in die Modelle eingingen. Daher war eine Modifizierung des Ansatzes notwendig:

Der diskreten Erhebung der Exposition in 45° Stufen (achtteilig) im Rahmen der Waldinventur folgend, wurden vier Variable gebildet: $\sin(A)$, $\sin(A+45^\circ)$, $\cos(A)$, $\cos(A+45^\circ)$ jeweils multipliziert mit dem Tangens der Neigung. Durch die Auswahl einer dieser Variablen und durch einen positiven bzw. negativen Regressionskoeffizienten konnte, wie bei STAGE, in der Regression durch die Daten selbst das maximale bzw. minimale Wachstum ebenfalls in acht Stufen gefunden werden. Der Tangens der Neigung wurde wie in (5) auch für sich selbst in den Regressionen auf Signifikanz getestet.

Ein Problem dieses Ansatzes sind ebene Lagen. Bei der Forstinventur wurden Neigungen bis zu 5% als Ebene ausgeschieden, was auf etwa 10% der Fichten-Oberhöhenbestände zutraf (siehe Tab. 9), wo daher keine Exposition angegeben wurde. Als mittlere Neigung kann 2.5% angenommen werden. Da die tatsächlichen Expositionen aus dem Datenmaterial nicht hervorgingen und diese wegen der Multiplikation mit dem sehr kleinen Tangens der Neigung (0.025) auch nur eine geringe Rolle spielen, wurden sie für alle ebenen Probestflächen mittels Zufallszahlen festgelegt. Diese Notlösung ist besser als alle ebenen Flächen einer Exposition zuzuordnen oder sie weglassen zu müssen.

Einen anderen Weg, um den Einfluß der Exposition auf die Bonität zu quantifizieren, gehen ROISE & BETTERS (1981). Hier wird im Gegensatz zur oben beschriebenen Vorgangsweise die für das Wachstum günstigste Exposition a priori festgelegt, diese aber in Abhängigkeit von der Seehöhe verändert. Damit soll der Beobachtung Rechnung getragen werden, daß in niedrigen Lagen bei angespannten Wasserhaushaltsverhältnissen die Nordexpositionen die günstigsten Lagen für das Wachstum sind. Bei großen Seehöhen tritt jedoch der Wärmehaushalt als für das Wachstum limitierender Faktor auf. Somit sind bei ausreichender Wasserversorgung, wie sie in höheren Lagen Österreichs gegeben ist, die Südexpositionen am günstigsten. Ost- bzw. Westexpositionen sind bei diesem Ansatz ident und mit einem mittleren Transformationswert versehen.

Die Autoren gehen von der Grundformel nach BEERS et AL. (1966) aus

$$A' = \cos(A_{\max} - A) + 1 \quad (6)$$

A'	Wirkungstransformation
A_{\max}	Azimet für optimales Wachstum
A	Azimet der Probestfläche

und transformieren sie in folgender Art und Weise um die Seehöhe miteinzubeziehen:

$$A = B \cos(A_{\max(E)} - A) + 1 \quad (7)$$

$A_{\max(E)}$ Azimut für optimales Wachstum als Funktion der Seehöhe
 B Koeffizient (in Regression zu ermitteln)

Sie ermitteln die Funktion für den optimalen Azimut in Abhängigkeit von der Seehöhe mit:

$$A_{\max(E)} = \cos((a - E) / b) \quad (8)$$

E Seehöhe
 a Mittelwert aus höchster und niedrigster Seehöhe
 b halbe Spreitung der Seehöhe, für die $A_{\max(E)}$ definiert ist

Mit Formel (7) und (8) ist gewährleistet, daß in den niedrigsten Seehöhen des ausgewählten Raumes die Nordexposition die höchsten Transformationswerte erreicht, während für die größte Seehöhe im Süden die maximalen Werte liegen. Zusätzlich zu dieser Transformation wurden wie beim Ansatz von STAGE die transformierten Azimute mit dem Tangens der Neigung multipliziert.

Auch hier tritt wieder das Problem für als eben taxierte Flächen auf. Hier wurde ein anderer Lösungsweg gesucht, da der Azimut für optimales Wachstum auf ebenen Flächen konstant gehalten werden sollte, weil er nicht sinnvoll in Abhängigkeit der Seehöhe stehen kann. Der Azimut für optimales Wachstum wurde auf ebenen Flächen für alle Seehöhen mit dem mittleren Wert von 90° versehen, was einer Ost- bzw. Westorientierung gleich kommt.

4.1.4 Modelle für den Jahresniederschlag

Für die Modelle der Jahresniederschläge standen mit 696 Stationen (plus 60 für die oben genannten Wuchsgebiete) mehr Werte zur Verfügung als für die Temperaturmodelle. Daher konnte eine feinere Vorstratifizierung für die Erstellung der Modelle gewählt und damit die räumliche Variation des Niederschlages besser abgebildet werden. Im allgemeinen wurde für jedes Wuchsgebiet ein eigenes Modell berechnet. Der Zusammenhang zwischen dem Niederschlag und der Seehöhe ist jedoch bei weitem nicht so stark ausgeprägt wie für die Temperatur, da die örtlichen Strömungsverhältnisse in ihrer Abhängigkeit vom Gelände hier eine ausschlaggebende Rolle spielen (BAUMGARTNER et al. 1983). Zusätzlich nimmt mit zunehmender Seehöhe die Variation der Niederschläge über der Seehöhe auch aus meßtechnischen Gründen stark zu. Ein Modell, welches diesen Umständen besser gerecht werden kann, muß Informationen über lokale Strömungsverhältnisse und Geländeformen beinhalten, wie sie mit einem digitalen Höhenmodell unter Anwendung eines geographischen Informationssystems möglich sind. Da im vorliegenden Modell, keine solch auf-

Abbildung 7:
Stationswerte der Jahresniederschläge

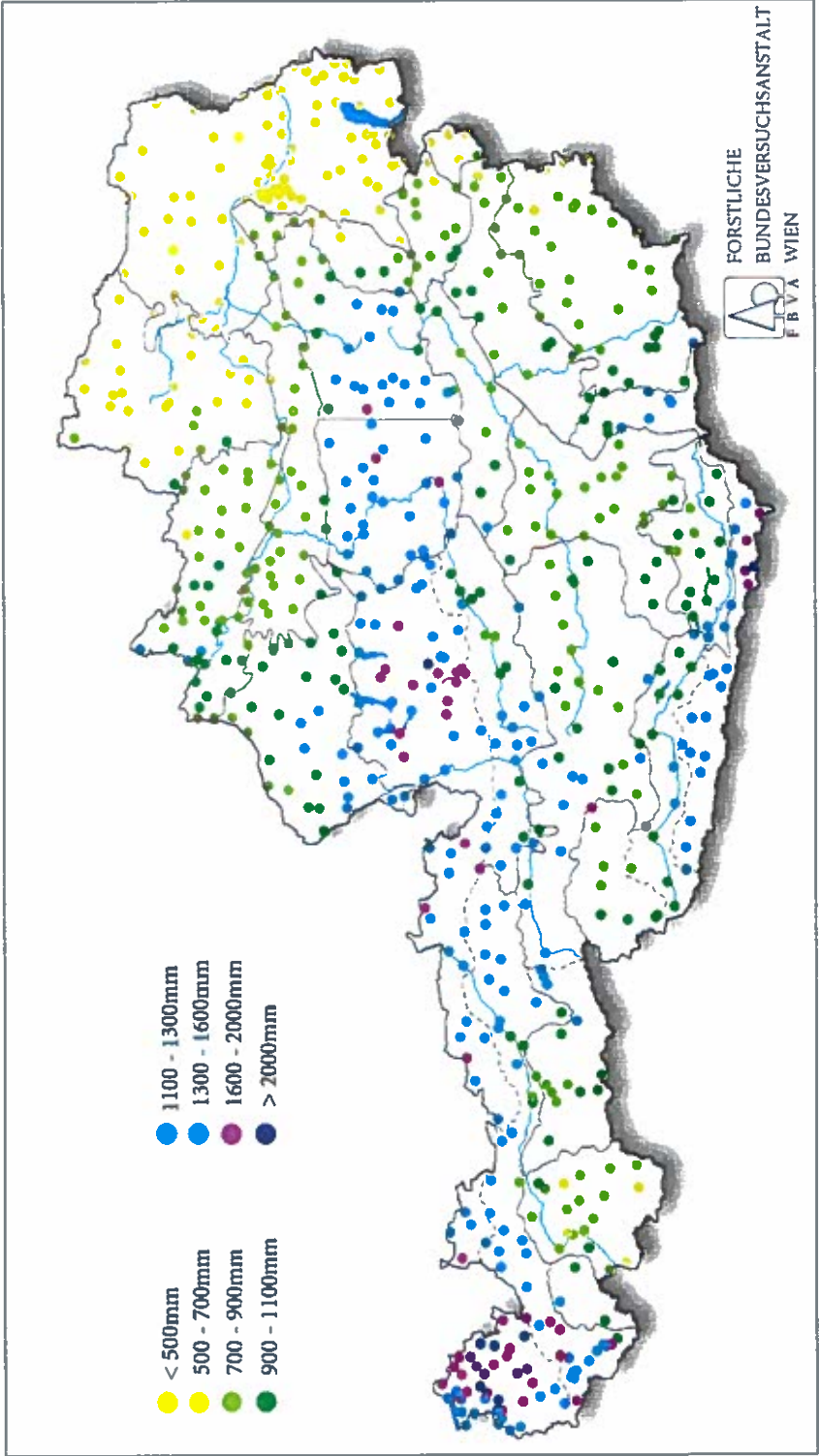


Abbildung 8:
Anwendung des Modells für den Jahresniederschlag auf die Waldfläche

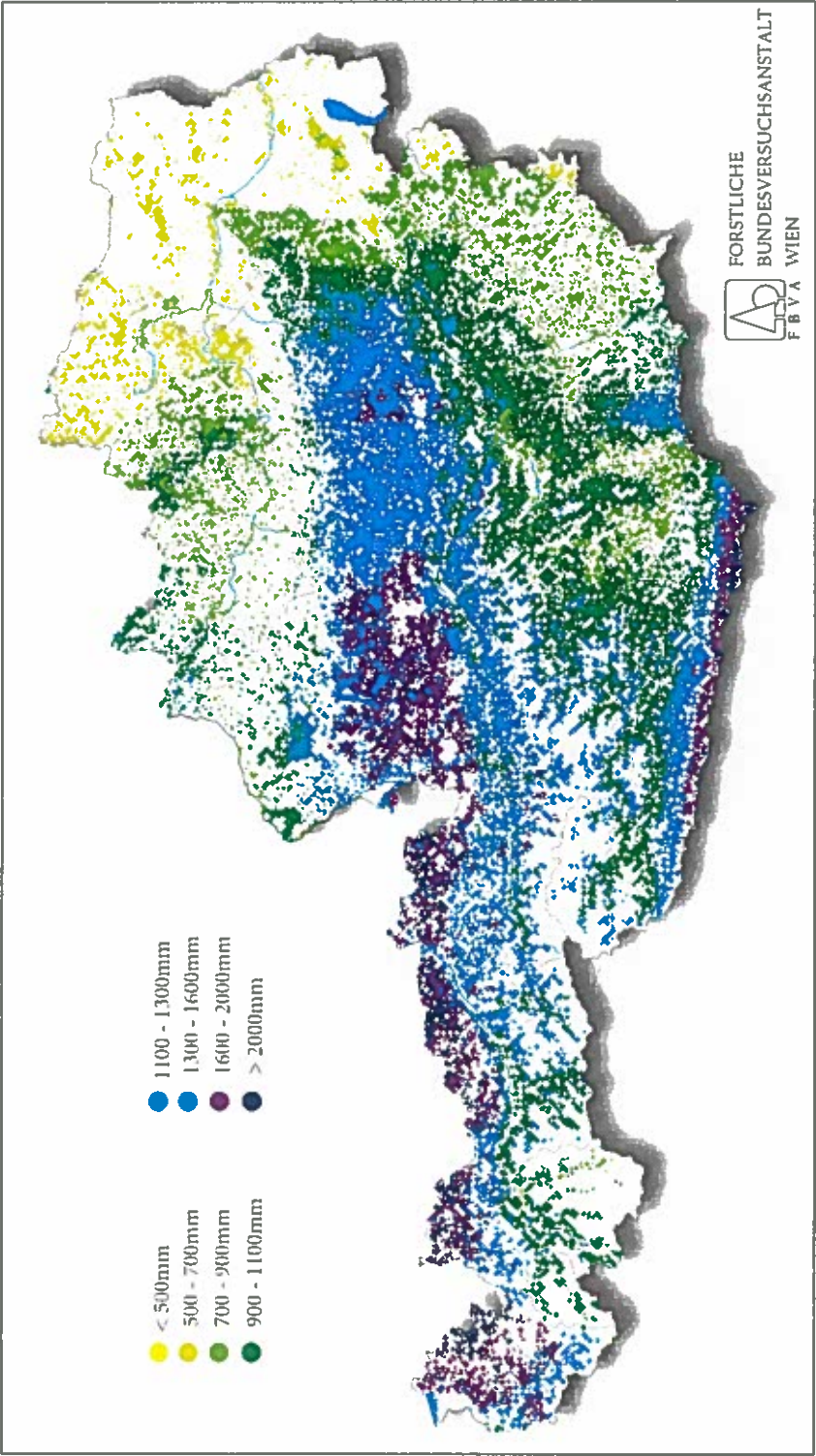


Tabelle 23:
Absolutglieder (a), Koeffizienten (b) und Bestimmtheitsmaße (B) der Ausgleichsrechnungen für den Jahresniederschlag nach Wuchsgebietsteilen.

	a	b für die Variable									B
		See	Hw	Rw	See2	Hw2	Rw2	See*Hw	See*R	Hw*Rw	
1.1	-7802	-	+7.13	-	-	-	+10.2	+1.28	-	-25.10	0.74
1.2(1)	-7802	-	+7.13	-	-	-	+10.2	+1.28	-	-25.10	0.74
1.2(2)	-1551	+1.528	-	+0.44	-4.66	-	-	-	-	-	0.70
1.2(3)	+12078	+0.104	-17.43	+3.01	-	+43.1	-3.58	-	-	-	0.83
1.3(1)	-1551	+1.528	-	+0.44	-4.66	-	-	-	-	-	0.70
1.3(2)	+1879	-	-	-0.27	-	-	-	+1.52	-	-	0.73
2.1(1)	-14292	+1.929	+11.2	-	-6.33	-21.06	-	-	-	-	0.69
2.1(2)	-661	+0.376	-	-	-	+2.54	-	-	-	-	0.58
2.1(3)	-1315	-	-	-	-	+3.15	-	-	+1.85	-	0.52
2.2	+788	-	-	-	-	-	-	+1.59	-	-	0.38
3.1	+519	+0.577	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49
3.2	+1592	-	-	-0.16	+1.37	-	-	-	-	-	0.63
3.3	+12078	+0.104	-17.43	+3.01	-	+43.1	-3.58	-	-	-	0.83
4.1(1)	-14292	+1.929	+11.2	-	-6.33	-21.06	-	-	-	-	0.69
4.1(2)	-661	+0.376	-	-	-	+2.54	-	-	-	-	0.58
4.1(3)	-1315	-	-	-	-	+3.15	-	-	+1.85	-	0.52
4.1(4)	-24201	+0.277	-	+11.0	-	-	-11.86	-	-	-	0.31
4.2(1)	-32754	-	+23.9	-	-	-41.67	-	-	-	-	0.52
4.2(2)	+2676	-	-	-	-	-	-0.475	+1.43	-	-	0.47
5.1	+6221	-	-	-0.83	-	-	-	-	-	-	0.51
5.2	+594	-	-	-	-	-	-	-	+0.60	-	0.64
5.3	-6433	+0.159	-4.79	+4.23	-	+9.79	-3.420	-	-	-	0.93
5.4	-6433	+0.159	-4.79	+4.23	-	+9.79	-3.420	-	-	-	0.93
6.1	+12078	+0.104	-17.43	+3.01	-	+43.1	-3.582	-	-	-	0.83
6.2	+61022	-	-37.03	-10.28	-	+106	+9.47	-	-	-	0.89
7.1	+14609	-	-7.90	-	+11.4	+11.2	-	-	-	-	0.75
7.2	+1184	+6.565	-	-	-	-	-12.42	-19.38	-	-	0.71
8.1	+818	+0.269	-0.88	-	-	-	-	-	-	-	0.40
8.2	+8751	-	-3.87	-0.886	-	+4.29	-	-	-	+2.944	0.92
9.1	+14887	-	-	-5.153	+2.77	-	+4.67	-	-	-	0.61
9.2	+1761	-	-	-2.726	+2.73	-	-	-	-	-	0.86

Dimensionen:

Jahresniederschlag: mm

Seehöhe (See): m

Seehöhe²: m²/10³

Hochwert (Hw) und Rechtswert (Rw): m/10²

Hochwert², Rechtswert² und Wechselwirkung: m²/10⁸

Seehöhe*Rechtswert bzw. Hochwert: m³/10⁷

wendige Vorgangsweise gewählt wurde, war es notwendig, um zumindest einen West-Ost oder Nord-Südtrend abbilden zu können, auch die Bundesmeldenetzkoordinaten als unabhängige Variablen einzuführen. Da die Bestimmtheitsmaße noch immer relativ gering waren, wurden zusätzlich auch noch quadratische Terme und fallweise Wechselwirkungen zugelassen, um eine bestmögliche Anpassung der Ausgleichskurve an die Ausgangsdaten zu gewährleisten.

Diese Vorgangsweise erforderte jedoch eine sorgfältige Prüfung der Ergebnisse auf Plausibilität, um Artefakte vor allem an den Rändern der Definitionsbereiche erkennen und eliminieren zu können, da bei der Anwendung auf die Waldfläche in manchen Wuchsgebieten Extrapolationen vor allem in größeren Seehöhen notwendig waren. Diese Plausibilitätsprüfungen erfolgten einerseits optisch anhand der Darstellung der Modellwerte für ganz Österreich, um festzustellen, ob die Ausgleichskurven am Rand von Wuchsgebieten "ausreißen". Andererseits wurde der Jahresniederschlag für alle Wuchsgebiete über der Seehöhe aufgetragen, um auch hier unplausible Ergebnisse aufdecken zu können.

In Abbildung 7 sind die Wuchsgebietsgrenzen und die Stationswerte für ganz Österreich abgebildet. Hier zeigt sich, daß für die Erstellung von Modellen manche Wuchsgebietsgrenzen ungünstig liegen (unterbrochene Linien), da teilweise räumliche Niederschlagstrends von Grenzziehungen durchbrochen werden, oder Wuchsgebiete mit großer West-Osterstreckung keinen einheitlichen Trend aufweisen. Daher wurden manche Wuchsgebiete zusammengefaßt, andere wurden geteilt. Diese Teilungen und Zusammenfassungen sind ebenfalls in Abbildung 7 dargestellt. So wurden die Wuchsgebiete 4.1, 2.1 und 2.2 zunächst zusammengefaßt, um den deutlichen Nord-Südtrend in diesem Bereich für die Modellierung zu nutzen. Da diese langgestreckten Wuchsgebiete jedoch keinen einheitlichen Ost-Westtrend aufweisen, wurden sie in Abschnitte geteilt. Die Grenzen wurden am Arlberg, im Bereich des Zillertales und zwischen Steinernem Meer und Hochkönig festgelegt. Das Wuchsgebiet 2.2 wurde dann mit dem östlichsten Teil von 4.1 zusammengefaßt. Der Teil des Wuchsgebietes 1.2, der westlich von 1.1 liegt, wurde zu diesem dazu genommen. Die Grenze zwischen 1.2 und 1.3 wurde etwas weiter nach Osten in die Gegend Kitzsteinhorn-Kapruner Ache verlegt, da die dort höheren Niederschläge, welche durch die Staulagen infolge der weiten Öffnung des Saalachtales nach Norden verursacht sind, sonst nicht modellhaft erfaßt werden können. Diese Grenzziehung ist bereits bei der bestehenden Wuchsgebietsgliederung durch zwei nach Süden gerichtete Ausbuchtungen des Wuchsgebietes 2.2 angedeutet. Die nördlichen Randalpen-Ostteil wurden ebenfalls geteilt, um die deutliche Abnahme des Niederschlages im östlichsten Teil besser abbilden zu können. Die schmalen Wuchsgebiete 3.3 und 6.1 im Süden Österreichs wurden noch mit dem osttiroler Teil von 1.2 zusammengelegt, um den Nord-Südtrend in diesem Bereich im Modell entsprechend widerspiegeln zu können.

Die Ergebnisse sind in der Abb. 8 dargestellt, wo die Modelle für das Stratum Waldfläche angewandt wurden. Die Koeffizienten und Bestimmtheitsmaße sind in der Tabelle 23 aufgelistet. Die räumliche Verteilung der Modellwerte bildet die großräu-

Abbildung 9:

Anwendung des Modells für den Jahresniederschlag auf die Waldfläche für die Steiermark

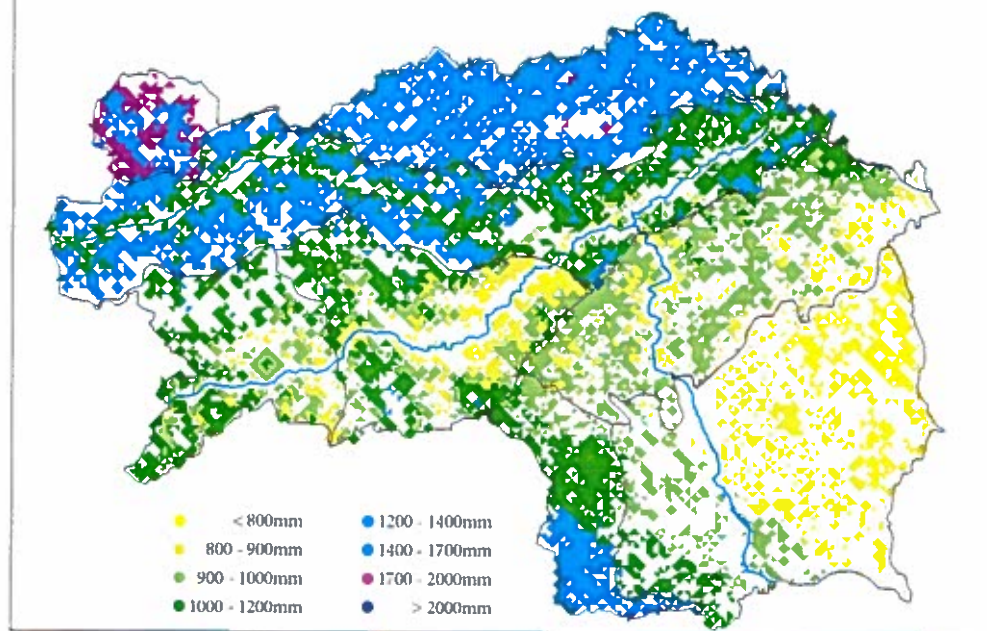
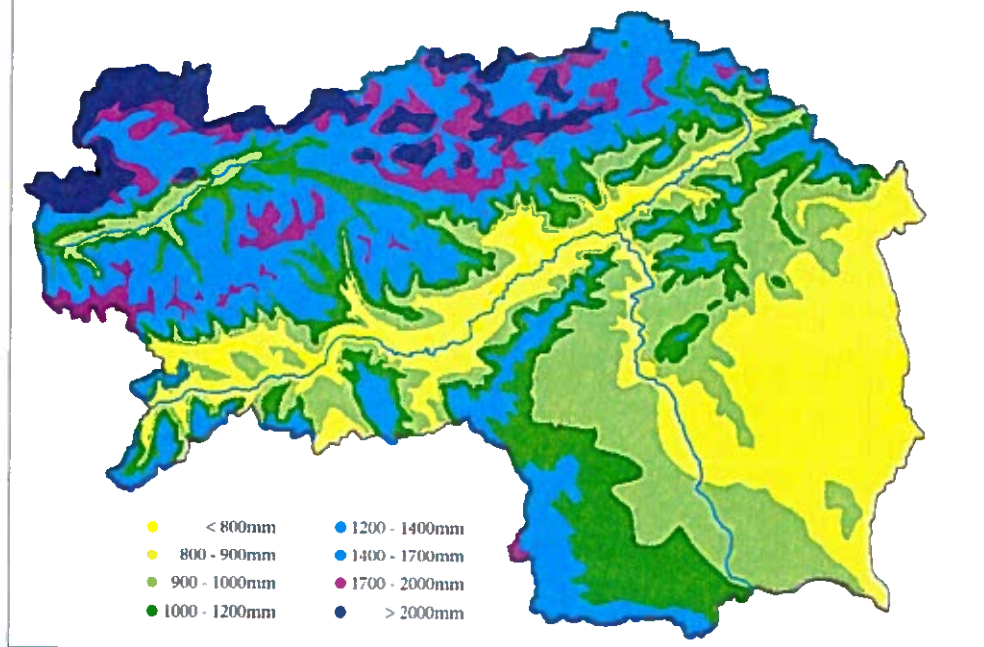


Abbildung 10:

Jahresniederschläge nach Wakonigg (1978)



migen Trends, wie z.B. die Niederschlagsabnahme von den Rand- zu den Innenalpen oder die Abnahme im Osten Österreichs, gut ab. Kleinräumige Besonderheiten können jedoch durch die Modellierung ohne digitales Geländemodell nur zum Teil erfaßt werden. Die höchsten Bestimmtheitsmaße liegen im Süden und im Südosten mit etwa 90%, gefolgt von den Zentralalpen mit rund 75%. Die nördlichen Rand und Zwischenalpen weisen deutlich geringere Bestimmtheiten auf (um 60%) bzw. Minima in Teilen von Salzburg mit rund 0.35%. Der Grund dürfte in den meist lokalen Stau-lagen dieser Regionen liegen, die ohne Höhenmodell nicht erfaßt werden können. Für das pannonische Tief- u. Hügelland (8.1) konnte nur 40% der Variation erklärt werden, wobei ausschließlich ein Nord-Südtrend eingeht. Da hier kaum Oberhöhenbestände liegen, ist diese Tatsache für diese Arbeit nicht weiter von Belang.

Eine räumlich begrenzte Überprüfung des Modells war für die Ergebnisse der Steiermark möglich. Diese wurden den Ergebnissen von Wakonigg (1978) kartographisch gegenübergestellt (Abb. 9 u. 10). Hier zeigt sich, daß die räumlichen Verteilungen des Niederschlages ähnlich sind, die absolute Niederschlagshöhe jedoch bei WAKONIGG höher liegt als im Modell. Dies hat mehrere Ursachen: Zunächst ist zu berücksichtigen, daß die Niederschlagsverteilung nach WAKONIGG aus der Periode 1951-1970 erstellt wurde, während das Niederschlagsmodell Werte zwischen 1951 und 1990 verwendet. Die Jahrzehnte von 1951-1970 waren deutlich feuchter als die zwei daran anschließenden Jahrzehnte. Nach AUER (1993) waren die Jahresniederschläge in der Steiermark in den letzten beiden Jahrzehnten etwa 10-15% niedriger als in den zwei Jahrzehnten davor. Weiters ist zu berücksichtigen, daß die Darstellung der höchsten Niederschläge in den alpinen Hochlagen bei Wakonigg auf theoretischen Überlegungen basiert, da kaum Meßdaten vorhanden waren. Da diese Bereiche im wesentlichen waldfrei sind bzw. dort keine Fichtenoberhöhenbestände vorkommen, spielen mögliche Unterschätzungen in diesem Bereich für die vorliegende Arbeit keine Rolle. Somit weist unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Zeiträume der Ausgangsdaten das Jahresniederschlagsmodell für die Erstellung dieser zwei Karten vor allem in den bewaldeten Regionen der Steiermark durchaus plausible Ergebnisse aus. Diese Form der Überprüfung des Modells mußte auf die Steiermark beschränkt bleiben, da österreichweit keine solchen Darstellungen auf Basis von Daten für ähnliche Zeiträume zur Verfügung standen.

4.1.5 Umrechnung des Jahresniederschlages auf den Vegetationszeitniederschlag

Für die Berechnung von Vegetationszeitniederschlägen wurden alle jene Stationen herangezogen, für die Monatssummen vorhanden waren. Dafür wurden zunächst die schon für die Vegetationszeittemperatur benutzten zwölf Vegetationszeitlängen mit ihren Terminen (siehe Tab. 20) herangezogen, um Beginn und Ende der Vegetationszeit für fixe Längen zu erhalten. Für diese fixen Vegetationszeitlängen wurde nun für jede Station die Niederschlagssumme zwischen Beginn und Ende der Vegetationszeit bestimmt, wobei für angebrochene Monate jeweils nur der entsprechende Anteil des Monatsniederschlages benutzt wurde. Statt direkt Modelle für den Vegetationszeit-

Tabelle 24:

Absolutglieder (a), Regressionskoeffizienten (b), Bestimmtheitsmaße (B) und Stichprobenumfänge (N) für den prozentuellen Anteil des Vegetationszeitniederschlags am Jahresniederschlag in Abhängigkeit von der Seehöhe (m) nach Wuchsgebieten.

Wuchs- gebiet	a	b für die Variable		B	N
		Seehöhe	Seehöhe2		
1.1	0.72	-	-0.00127	0.97	20
1.2	0.88	-0.032	-	0.94	24
1.3	0.77	-0.030	-	0.96	34
2.1	0.76	-0.031	-	0.90	47
2.2	0.75	-0.031	-	0.90	24
3.1	0.74	-0.031	-	0.90	10
3.2	0.82	-0.031	-	0.90	25
3.3	0.76	-0.029	-	0.86	14
4.1	0.70	-0.028	-	0.94	98
4.2	0.62	-0.025	-	0.88	50
5.1	0.56	-	-0.00130	0.70	13
5.2	0.62	-	-0.00130	0.70	14
5.3	0.65	-	-0.00130	0.70	16
5.4	0.66	-	-0.00130	0.70	8
6.1	0.69	-0.029	-	0.86	20
6.2	0.75	-0.029	-	0.86	20
7.1	0.60	-	-0.00390	0.69	29
7.2	0.62	-	-0.00390	0.69	33
8.1	0.60	+0.033	-0.00800	0.20	87
8.2	0.57	+0.033	-0.00800	0.20	37
9.1	0.62	-0.022	-	0.57	42
9.2	0.64	-	-0.00274	0.96	30

Tabelle 25:

Absolutglieder (a), Regressionskoeffizienten (b) und Bestimmtheitsmaße (B) für den Vegetationszeitniederschlag in Abhängigkeit von der Seehöhe (See) in m und den Bundesmeldenetzkoordinaten (Hw, Rw) in m für die Wuchsgebiete 7.1 bis 8.2

Wuchs- gebiet	a	b für die Variable							B
		See	Hw	Rw	See2	Hw2	Rw2	See*Hw	
7.1	+6750	-	-3.352	-	-	+0.460	-0.008	-	0.83
7.2	+690	+3.647	-	-	-	-	-0.006	-11.175	0.67
8.1	+820	-	-0.069	-	-	-	-0.005	-	0.48
8.2	1758	-	-	-0.192	-3.064	-	-	-	0.84

niederschlag zu erstellen, war es in den meisten Wuchsgebieten günstiger, nur das Verhältnis zwischen Vegetationszeitniederschlag und Jahresniederschlag zu modellieren, da dieses einer geringeren kleinräumigen Variation unterliegt und daher einfacher und sicherer abzubilden war. Dieses Verhältnis (Niederschlagsindex) konnte für die fixen Vegetationszeitlängen berechnet und in ähnlicher Art wie bei den Temperaturmodellen durch lineare Interpolation für die tatsächlichen Vegetationszeitlängen der Stationen bestimmt werden.

Die Niederschlagsindizes waren nun Ausgangspunkt der Parametrisierung der Modelle, wobei sie in Abhängigkeit zur Seehöhe (linear und/oder quadratisch) gesetzt wurden. Die Wuchsgebiete wurden zunächst wie bei den Temperaturmodellen zu Wuchsgebietsgruppen zusammengefaßt (siehe Abbildung 5). Es wurde wieder kovarianzanalytisch entschieden, ob ein gemeinsames Modell für die gesamte Wuchsgebietsgruppe verwendet werden kann, ob die Wuchsgebiete innerhalb einer Gruppe den gleichen Anstieg, aber verschiedene Absolutglieder haben, oder ob für alle Wuchsgebiete innerhalb einer Gruppe ein eigenes Modelle zu verwenden ist (siehe Seite 17 ff).

Die Ergebnisse der Kovarianzanalysen waren in Bezug auf die Mittelwerte für alle Wuchsgebietsgruppen signifikant. Für die Wuchsgebietsgruppen Innenalpen (1.1-1.3), nördliche Randalpen (4.1-4.2) und Mühl.- Waldviertel (9.1-9.2) waren auch die Anstiege signifikant verschieden. Die Ergebnisse der Regressionen sind in Tabelle 24 zusammengefaßt.

Hier zeigt sich, daß in den alpinen Gebieten die Bestimmtheitsmaße hoch sind, in den Tieflagen, vor allem im Osten, diese Vorgangsweise jedoch ungenügende Ergebnisse liefert, da hier die Seehöhenstreuung sehr gering ist. Daher wurden für das nördliche Alpenvorland und den sommerwarmen Osten die Vegetationszeitniederschläge direkt modelliert und die räumliche Information über die Bundesmeldenetzkoordinaten miteinbezogen. Die Ergebnisse sind zufriedenstellender als bei der indirekten Vorgangsweise (Tabelle 25).

Die Ergebnisse können mit den von FLIRI (1975) für Tirol gefundenen Zusammenhängen verglichen werden. Dieser berechnet den Quotienten der Niederschlagsmenge des Sommerhalbjahres zum Winterhalbjahr und ermittelt so eine Kontinentalitätskennzahl. Im vorliegenden Modell werden jedoch die Anteile des Vegetationszeitniederschlages am Jahresniederschlag berechnet, die natürlich auch von der Dauer der Vegetationszeit abhängen. Um diese Anteile auch als Kontinentalität im Sinne FLIRIS interpretieren zu können, werden in Tabelle 26 neben den Anteilen des Vegetationszeitniederschlages am Jahresniederschlag für bestimmte Wuchsgebiete und Seehöhen auch die jeweiligen Längen der Vegetationszeit angegeben. Als Maßzahl für die Kontinentalität wird dann der Anteil des Vegetationszeitniederschlages am Jahresniederschlag durch die Dauer der Vegetationszeit dividiert, um wieder eine konstante Bezugseinheit (ein Tag Vegetationszeit), wie sie FLIRI mit den Halbjahren hat, zu erhalten.

FLIRI beschreibt die Zentralalpen als jenen Raum mit der größten Kontinentalität, die zu den Rändern hin abnimmt. Diese Zusammenhänge zeigen sich ebenfalls in dem vorliegenden Modell, wo die Maßzahlen für die hier errechnete Kontinentalität vom Wuchsgebiet 4.1 (nödl. Randalpen) zum Wuchsgebiet 1.1 (Kernzone) deutlich zunehmen.

Tabelle 26:

Zusammenstellung der Anteile des Vegetationszeitniederschlags am Jahresniederschlag (N%), der Vegetationszeitlängen (Vegz.) und der daraus ermittelten Kontinentalität (Kont.) für verschiedene Wuchsgebiete und Seehöhen (See), Alpenquerschnitt Tirol

Wug.	4.1			2.1			1.2			1.1		
	500	1000	1500	500	1000	1500	500	1000	1500	500	1000	1500
N%	56	42	28	61	45	30	-	56	40	-	59	43
Vegz.	165	128	91	174	137	100	-	142	97	-	146	100
Kont.	0.34	0.33	0.31	0.35	0.33	0.30	-	0.39	0.41	-	0.40	0.43

Die gleiche Vorgangsweise wurde ebenfalls für einen östlich anschließenden Alpenquerschnitt mit den Wuchsgebieten 4.1 (wie oben), 2.2, 1.3, 3.3 und 6.1 versucht (Tabelle 27).

Tabelle 27:

Zusammenstellung der Anteile des Vegetationszeitniederschlags am Jahresniederschlag (N%), der Vegetationszeitlängen (Vegz.) und der daraus ermittelten Kontinentalität (Kont.) für verschiedene Wuchsgebiete und Seehöhen (See), Alpenquerschnitt Hohe Tauern

Wug.	2.2			1.3			3.3			6.1		
	500	1000	1500	500	1000	1500	500	1000	1500	500	1000	1500
N%	60	44	29	62	47	32	62	47	33	55	40	26
Vegz.	165	128	91	167	132	96	174	135	96	174	135	96

Auch hier zeigt sich wieder deutlich der bei FLIRI beschriebene Zusammenhang wo, von den Randalpen (4.1 aus Tab. 26) über die nördlichen Zwischenalpen (2.2) zum zentralen Teil (1.3) die Kontinentalität zunimmt und dann über die südl. Zwischenalpen (3.3) zu den südl. Randalpen wieder abnimmt, wobei analog zu FLIRI die Abnahme der Kontinentalität im Süden stärker ist, da es sich hier bereits um ein submediterrän geprägtes Klima handelt. Bei größeren Seehöhen liegt die maximale Kontinentalität in den südlichen Zwischenalpen, wie es FLIRI im Tiroler Raum beschreibt.

Aus beiden Tabellen geht hervor, daß die Kontinentalität mit zunehmender Seehöhe abnimmt, außer in den inneralpinen Wuchsgebieten 1.1 und 1.2. Diesen Effekt beschreibt auch FLIRI, der jedoch für Tirol die Umkehr des Seehöhentrends der Kontinentalität erst in den südlichen Zentralalpen findet. Er begründet diese Umkehr durch das Zurückdrängen des Anteils der im Winter entscheidenden Stauwetterlagen

(horizontale Strömungen) in kontinental-inneralpinen Lagen gegenüber den mehr konvektiv bestimmten Niederschlägen des Sommers. Ähnliches beschreibt auch WAKONIGG (1978) für zentralalpine Lagen der Steiermark.

Dieser Vergleich mit Ergebnissen aus der Literatur ist jedoch unter der Einschränkung zu sehen, daß FLIRI die hydrologischen Halbjahre vergleicht, während hier der Vegetationszeitniederschlag mit dem Jahresniederschlag in Beziehung gesetzt wird. Trotz allem läßt sich feststellen, daß die Ergebnisse der Umrechnung des Jahresniederschlages auf den Vegetationszeitniederschlag gut mit den in der Literatur gefundenen Ergebnissen zusammenpaßt.

4.1.6 Temperatur-, Ariditäts- und Feuchtigkeitsindizes

Da sich durch die Kombination von zwei klimatischen Größen oft mehr über den Klimacharakter einer Region aussagen läßt als nur durch einzelne Größen, wurden verschiedene Indizes berechnet, die dann in den Regressionsrechnungen für die Oberhöhenbonitäten auf Signifikanz geprüft wurden.

Ein einfacher Temperaturindex war die thermische Kontinentalität, die durch die Differenz zwischen Julitemperatur und Jahrestemperatur berechnet wurde. Von der Idee, sie als Differenz zwischen Juli- und Jännermittel zu berechnen, mußte Abstand genommen werden, da sich die Jännertemperaturen infolge von Inversionssituationen nur schlecht modellieren ließen (siehe Seite 17). Als Niederschlagsindex wurde der Kontinentalitätswinkel nach GAMS (c.f. OZENDA, 1988) gewählt, welcher sich als Arcustangens des Quotienten aus Seehöhe und Jahresniederschlag errechnet.

Als Ariditätsindex wurde ein von ELLENBERG (1982) vorgeschlagener Quotient aus der Julitemperatur und dem Jahresniederschlag gewählt, als Feuchtigkeitsindex nach DE MARTONNE (c.f. FLIRI 1975) der Quotient aus Vegetationszeitniederschlag und Vegetationszeittemperatur plus 10. Für einen Index, welcher die Temperatursumme berücksichtigt, wurde die Temperatursumme in der Vegetationszeit durch den Vegetationszeitniederschlag dividiert.

4.2 Wahl der Oberhöhenfächer

4.2.1 Einsatz vorhandener Fächer

In Österreich stehen vier Fichten'ertragstafeln (Fi-Hochgebirge, Fi-Bayern, Fi-Bruck und Fi-Weitra) zur Verfügung, die auch in der forstlichen Praxis angewandt werden. Ihre Anwendung wird jeweils innerhalb der Ertragstafelgebiete empfohlen (MARSCHALL 1975). Da sich die Oberhöhenverläufe dieser vier Fächer deutlich voneinander unterscheiden, kommt man bei der Bonitierung eines Bestandes mit den vier Ertragstafeln zu recht unterschiedlichen Bonitäten (ECKMÜLLNER 1992).

Eine Vorstudie, bei der die mittleren Oberhöhen für verschiedene Straten über dem Alter ermittelt und mit einem Chapman-Richardsmodell ausgeglichen wurden, zeigte, daß die Unterschiede für die Krümmung der mittleren Wuchsreihen zwischen

den Ertragstafelgebieten (Abb. 11) viel geringer ist als z.B. für verschiedene Boden-
gruppen (Abb. 12). Da man bei dieser Vorgangsweise ab jenem Alter, wo die besten
Bonitäten genutzt werden, auf jeden Fall zu flache Verläufe erhält, wurde ab dem Alter
75 statt der Höhen über dem Alter die fünfjährigen Zuwächse verwendet. Diese
wurden bei den Erhebungen der Periode 71/80 für alle Fichten okular angeschätzt.
Für den Zuwachs der Oberhöhe wurde das arithmetische Mittel der Höhenzuwächse
der drei Oberhöhenstämme berechnet. Die fünfjährigen Zuwächse wurden für die
einzelnen Alter nach Straten (Bodengruppen bzw. Ertragstafelgebiete) gemittelt, und,
ausgehend von der mittleren Höhe des jeweiligen Stratum im Alter 75, kumulativ
aneinander gereiht. Diese Vorgangsweise ist für Werte einzelner Probeflächen nicht
durchführbar, sondern kann nur Mittelwerte für die Oberhöhe über dem Alter
liefern. Daher wurden auch die Oberhöhen bis zum Alter 75 für die einzelnen Alter
gemittelt. Der regressionstechnische Ausgleich dieser Mittelwerte über dem Alter
erfolgte mit einer Chapman-Richardsfunktion, wobei ein Gewicht eingeführt wurde,
für das die jeweilige Besetzung in den einzelnen Altern eingesetzt wurde.

In Abbildung 12 sind die Verläufe der Braunerden und der Pseudogleye am stärk-
sten gekrümmt. Diese recht ähnlichen Oberhöhenwachstumsverläufe unterscheiden
sich deutlich von den gestreckteren Verläufen für Rendsina und Terra Fusca, wobei
letztere ein deutlich rascheres Oberhöhenwachstum aufweist. Der Mischboden
nimmt hier eine Zwischenstellung ein, wobei er zunächst ein ähnlich gutes Wachstum
wie Terra Fusca aufweist, später jedoch deutlich abfällt, was möglicherweise auf die
geringere Durchwurzelungstiefe dieser Böden im Verhältnis zu Terra Fusca zurückzu-
führen ist. Semipodsole und Podsole weisen in der Jugend ein ähnliches Wachstum
auf, welches jedoch unter dem der Braunerden liegt. Der Podsol fällt im weiteren
Verlauf hinter den Semipodsol zurück.

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, daß selbstverständ-
lich noch eine Reihe weiterer Standortseinflüsse, welche mit dem Boden korreliert
sind, die unterschiedlichen Verläufe beeinflusst. Die Ergebnisse sind aber auch
monokausal durchaus biologisch plausibel. Anders ist dies mit den Ergebnissen der
Wachstumsverläufe für die vier Ertragstafelgebiete nach Inventurdaten. Die mittleren
Krümmungen unterscheiden sich bis zum Alter 70 kaum voneinander (Abb. 12). Von
da an bestehen Unterschiede im Krümmungsverlauf, die jedoch nicht zu den Krüm-
mungverhältnissen der Oberhöhenverläufe der Ertragstafeln selbst passen. So ist z.B.
der Verlauf der Oberhöhe der im Ertragstafelgebiet Fichte-Hochgebirge der am
meisten gekrümmte, wobei der Verlauf der Tafel selbst der gestreckteste ist.

Die Ergebnisse dieser univariaten Vorstudie zeigen auf, daß der großklimatische
Effekt auf das Oberhöhenwachstum – hier am Beispiel vom Wuchsreihenverlauf –, wie
er in der räumlichen Ertragstafeleinteilung ausgedrückt ist, geringer ausgeprägt ist als
z.B. der Effekt der Bodengruppe. Daraus wurde gefolgert, daß die Verwendung von
einer Ertragstafel für gesamt Österreich für einen Parametrisierungsvorgang günstiger
ist als die Anwendung aller vier Tafeln in ein und dem selben Vorgang. Einerseits
erleichtert dieses Vorgehen die Interpretierbarkeit der Ergebnisse, andererseits haben

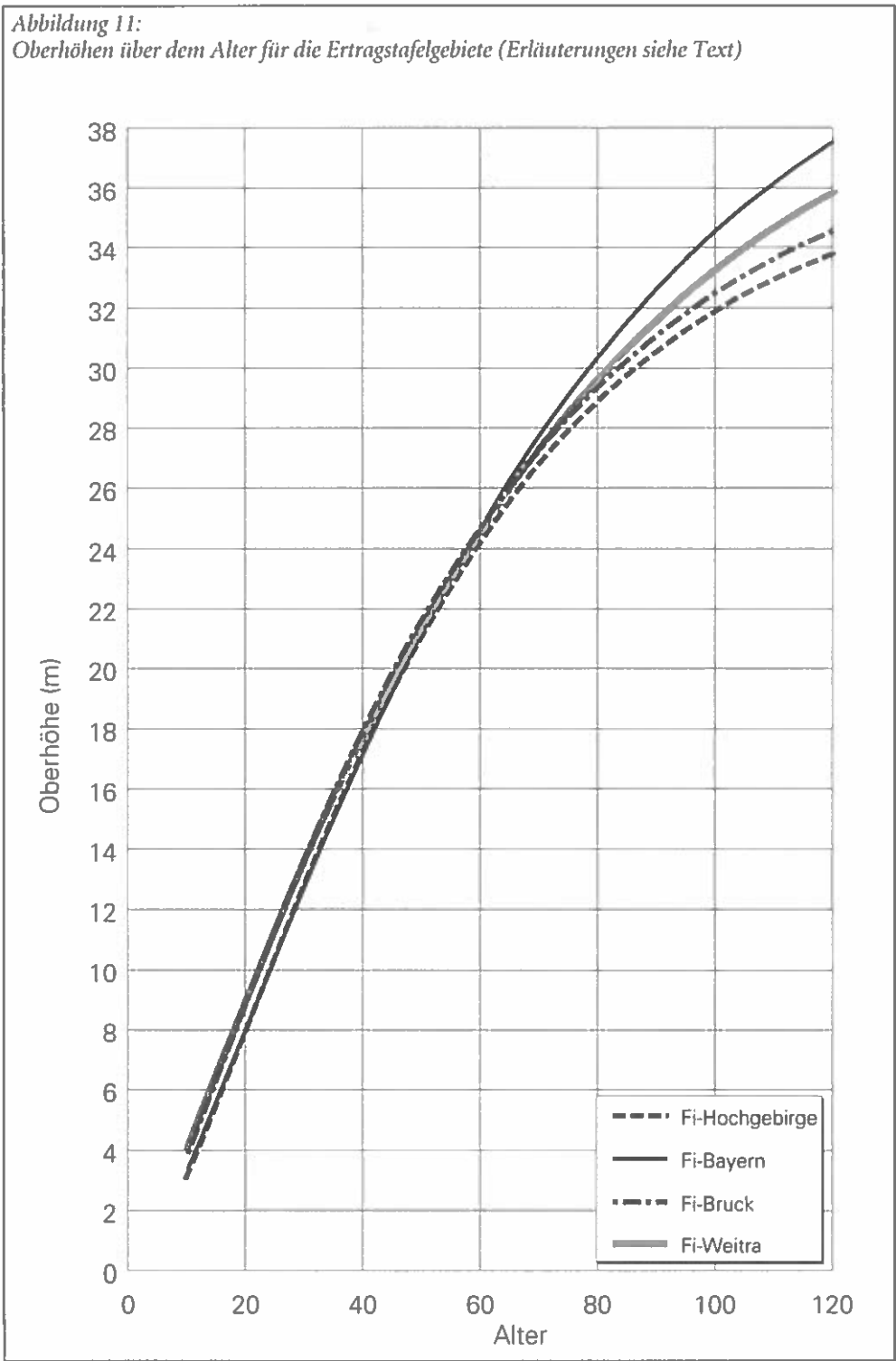
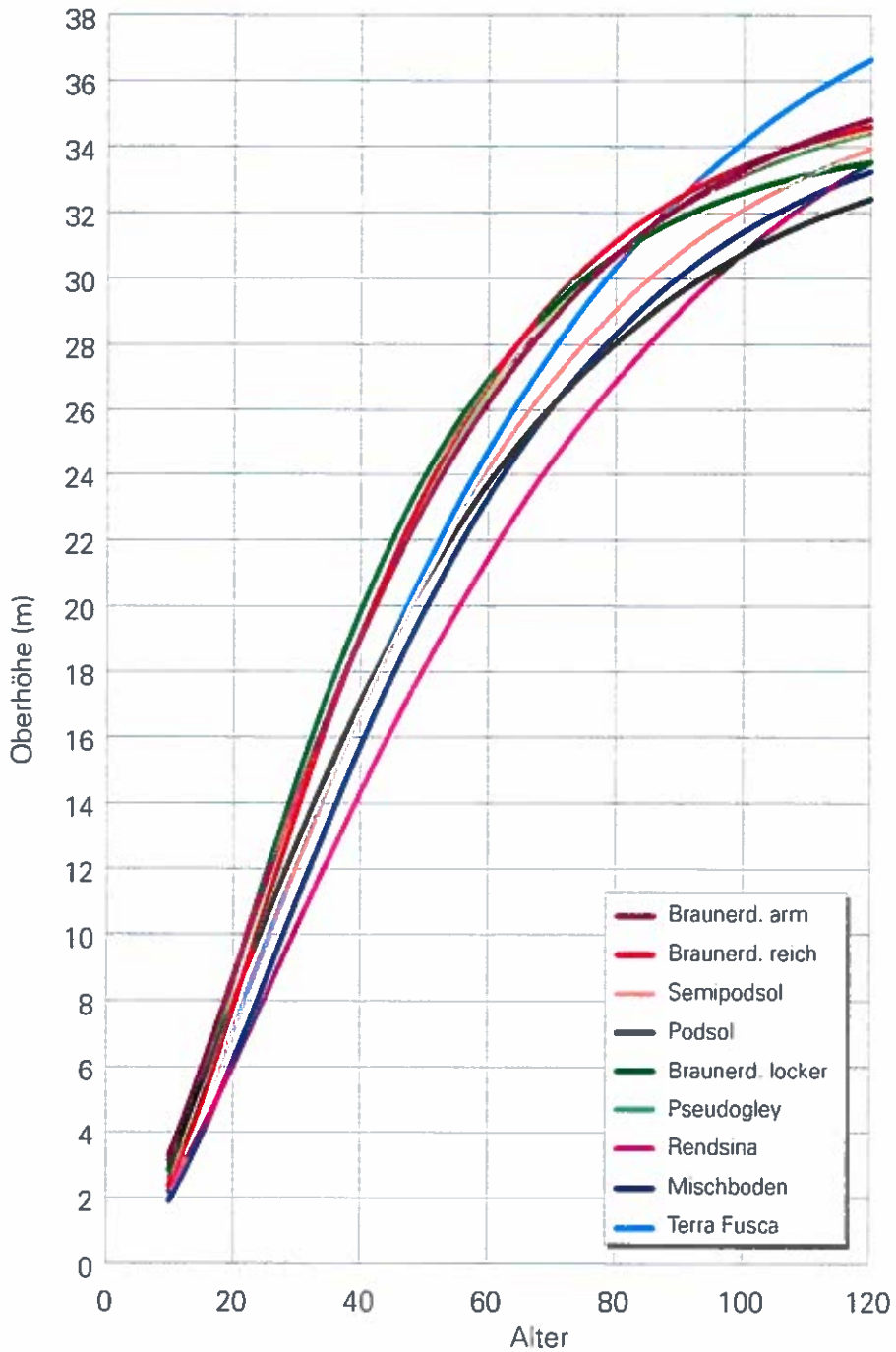


Abbildung 12:
Oberhöhen über dem Alter für die Bodengruppen (Erläuterungen siehe Text)



sich bei der Anwendung bestimmter Ertragstafeln Probleme ergeben, die im folgenden kurz erläutert werden sollen.

Bei der Bonitierung von vor allem jungen Beständen stellte sich heraus, daß sich hier teilweise Bonitäten ergeben, die weit oberhalb der Grenzen der Fächer liegen. Damit stellte sich die Frage nach der Extrapolierbarkeit der verschiedenen Oberhöhenfächer. Die Entstehungsart der vier Ertragstafeln ist recht unterschiedlich, sie wurden aber für die Entwicklung der Oberhöhe über dem Alter auf ähnliche Funktionsschemata umgerechnet (STERBA 1976). Die Funktionsschemata für die Alters-Höhenverläufe folgen der "Parameter Prediction Methode" im Sinne FURNIVAL et AL. (1990), wobei zunächst jede einzelne Oberhöhenentwicklung mit dem Chapman-Richardsmodell ausgeglichen wurde (RAWAT 1973). Anschließend wurden die drei Parameter des Modells (A, k und m) in Abhängigkeit von der Oberhöhe im Alter 100 ausgeglichen. Die Art und Weise bzw. die Ergebnisse dieser zweiten Ausgleichsrechnung entscheidet über die Extrapolierbarkeit der Fächer. Der Ausgleich der Parameter der Chapman-Richardsmodelle erfolgte durch eine Parabel. Dies hat den Nachteil, daß die Parameter einen Extremwert aufweisen. Durch die Lage dieser Extremwerte, die durch Differenzieren der Parabelfunktionen ermittelt wurden, wird die Extrapolierbarkeit der Oberhöhenfächer bestimmt. In Tabelle 28 ist die Lage der Extremwerte für A, k und m in Absolutbonitäten (dGZ) angeführt, für Fi-Bayern in Oberhöhenbonitäten, da die Ausgleichsrechnungen hier von RAWAT (1973) für Oberhöhenbonitäten durchgeführt wurden.

Tabelle 28:

Lage der Extremwerte (Max, Min) für die Parameter A, k und m der Chapman-Richardsmodelle für die vier österreichischen Fichtenertragstafeln (in dGZ-Bonitäten, für Fi-Bayern in Oberhöhenbonitäten)

Ertragstafel	A		k		m	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Bayern		-12.8	22.0		34.4	
Hochgebirge	15.7			-21.4		0.9
Bruck		0.7		4.6		22.4
Weitra		1.4		13.1		18.9

Von größter Bedeutung für die Extrapolierbarkeit der Oberhöhenfächer ist der Parameter A, der die maximal erreichbare Oberhöhe angibt. Für Fichte Hochgebirge liegt das Maximum bei einem dGZ von 15.7, was außerhalb des Tafelbereiches aber noch innerhalb des tatsächlich vorkommenden Bonitätsspektrums liegt. Damit ist die Extrapolierbarkeit nach oben nur bis zu diesem Wert möglich, weil darüber hinaus die Kurven wieder einen niedrigeren Verlauf annehmen. So entfällt dieser Höhenfächer für die Anwendung in den Bonitierungsmodellen. Bei den anderen Fächern liegen die Minima für A außerhalb des angewandten Bereiches.

Für Fichte Bayern liegt das Maximum für den Parameter m, der den Wendepunkt festlegt, innerhalb des Tafelbereiches. Dies hat sich wahrscheinlich aus den Grund-

daten innerhalb des besetzten Wertebereiches so ergeben. Das Maximum für k liegt bei einer Oberhöhenbonität von 22m und beeinflußt zwar etwas die Extrapolation der Tafel Bayern nach unten, ist aber für die Anwendung keine entscheidende Einschränkung, da für diese Arbeit im wesentlichen die Extrapolation nach oben von Bedeutung ist. Damit ist noch eine relativ gute Extrapolation des Fächers Fichte Bayern möglich.

Im Vergleich von Fichte-Bruck mit Fichte-Weitra ist erstere für die Extrapolierbarkeit etwas günstiger zu beurteilen, da die Minima für k und m hier nahezu außerhalb des Fächers liegen, während sie bei Fichte-Weitra eher im Tafelbereich sind. Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß, unter dem Aspekt der Extrapolierbarkeit, die Verwendung der Ertragstafeln Fichte-Bayern und Fichte-Bruck am besten geeignet ist.

Zur Beurteilung der Qualität von Oberhöhenfächern für die Verwendbarkeit in Bonitierungsmodellen ist auch die Datengrundlage, die zur Erstellung der Fächer gedient hat, von entscheidender Bedeutung. Prinzipiell sind drei Datentypen für die Berechnung von Höhenfächern möglich: Dauerversuche, Stammanalysen und Wuchsreihen. Daten von Dauerversuchen spiegeln das Oberhöhenwachstum von Beständen wider. Oberhöhenfächer aus dieser Datengrundlage sind daher zum Bonitieren von Beständen gut geeignet. Stammanalysen geben das Wachstum von Einzelbäumen wieder. Die Frage, inwieweit diese Bäume das Oberhöhenwachstum von Beständen repräsentieren, ist nicht einfach zu beantworten. In der Literatur wird beschrieben, daß ein gewisser Anteil der heutigen Oberhöhenstämme in ihrer Jugend nicht dem Oberhöhenkollektiv angehört hat. Lösungsmöglichkeiten für dieses Problem bieten z.B. MONSERUD (1984a) oder MAGNUSSEN & PENNER (1996) an. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, daß in Oberhöhenfächern, die aus Stammanalysen berechnet und für die keine Methode zur Lösung des aufgezeigten Problems gesucht wurden, im Jugendwachstum ein soziales Umsetzen enthalten ist, woraus sich nach anfänglicher Wachstumsdepression zu steile Wachstumsverläufe in jüngeren Altersklassen ergeben.

Das Abweichen des Wachstums ausgewählter Analysestämme von der Bestandesoberhöhe ist je nach Oberhöhendefinition verschieden zu beurteilen. ZEIDE & ZAKRZEWSKI (1992) weisen nach, daß die Methode, bei der die Anzahl der Oberhöhenstämme für alle Alter konstant ist (z.B. Oberhöhe nach Assmann), die aus den Stammanalysen rekonstruierten Oberhöhen für junge Alter die tatsächliche Oberhöhe unterschätzt. Dieses gilt für Lichtbaumarten stärker als für Schattbaumarten. Die Unterschätzung der Oberhöhe in jungen Jahren führt zu einer Überschätzung der Bonität bei der Anwendung der Fächer für diese Alter. Für die Oberhöhendefinition nach WEISE (1880) (konstanter Prozentsatz der Oberhöhenstämme) gelten die Zusammenhänge in umgekehrter Richtung.

Bei der Verwendung von Dauerversuchsdaten entsteht dieses Problem nicht, vorausgesetzt, daß für die Anwendung der Fächer die selbe Oberhöhendefinition verwendet wird, wie zu deren Erstellung. In der vorliegenden Arbeit wird jedoch für die Anwendung der Fächer die Oberhöhe nach POLLANSCHÜTZ (1973) verwendet, die

als arithmetisches Mittel der 12 stärksten m^2 bestimmt wird. Diese stimmt je nach Stammzahl und Grundfläche der Bestände wechselnd gut mit der Oberhöhe nach Assmann überein. Da die Stammzahl mit zunehmendem Alter abnimmt, nimmt der relative Anteil der Oberhöhenstämme nach Assmann für steigende Alter an der Gesamtstammzahl zu. Die Differenz zwischen Oberhöhe und Mittelhöhe nimmt daher ab. Umgekehrtes gilt für die Oberhöhe nach Pollanschütz: Die Grundfläche nimmt mit steigendem Alter zu und der relative Anteil der Oberhöhenstämme am Gesamtkollektiv ab. Die Differenz zwischen Oberhöhe nach Pollanschütz und der Mittelhöhe nimmt daher mit steigendem Alter zu.

Die Verwendung von Wuchsreihendaten für die Erstellung von Oberhöhenfächern führt bei größerem Alter zu einer Abflachung der Fächer, da die besten Bonitäten früher genutzt werden. Ein weiteres Problem ist, daß bei positiven Wachstumstrends die Fächer auch in der Jugend zu flach werden.

Damit sind für die Parametrisierung von Bonitierungsmodellen Oberhöhenfächer, die aus Daten von Dauerversuchsflächen mit guter Qualität erstellt worden sind, am besten geeignet. Um die Frage nach möglichen Wachstumstrends näher zu untersuchen, ist ein Vergleich der Ergebnisse aus einem "Dauerversuchsfächer" mit den Ergebnissen der Parametrisierung mit einem Oberhöhenfächer, der aus Wuchsreihendaten entwickelt worden ist, interessant. Hier werden die wuchsreihenähnlichen Daten der Inventur den Oberhöhen aus einem "Wuchsreihenfächer" gegenübergestellt. Wenn ein positiver Wachstumstrend vorhanden ist, dann sind "Wuchsreihenfächer" flacher als Fächer aus anderen Datenquellen, weil die jungen Bestände heute schneller wachsen als heute alte Bestände in ihrer Jugend (siehe oben). Damit müßte das Alter, das ein Indikator für Wachstumstrends in Bonitierungsfunktionen nach Ansatz (1) ist, bei der Verwendung eines "Wuchsreihenfächers" weniger stark bzw. gar nicht in die Modelle eingehen als bei anderen Oberhöhenfächern.

Ein Problem bei der Verwendung von Dauerversuchsdaten für die Erstellung von Bonitierungsfächern ist das Fehlen von Daten für niedrige Bonitäten, da auf solchen Standorten keine Dauerversuche angelegt wurden. Die Verläufe der Oberhöhen solcher Fächer für die unteren Bonitäten fallen in den Extrapolationsbereich und liefern daher keine Informationen über den tatsächlichen Wachstumsgang auf geringwüchsigen Standorten. Dagegen ist das Werben von Stammanalysen auf solchen Standorten durchaus möglich. Daher sind die Verläufe von Oberhöhenfächern aus Stammanalysen für die niedrigen Bonitäten günstiger zu beurteilen.

Da für diese Arbeit primär die Extrapolationsmöglichkeiten für die hohen Bonitäten von Bedeutung sind, ist der Einsatz des Oberhöhenfächers Fichte-Bayern, der aus Dauerversuchsflächen entwickelt worden ist, zur Parametrisierung der Bonitierungsfunktionen am günstigsten zu beurteilen. In weiterer Folge könnte die Verwendung eines "Wuchsreihenfächers" die Frage nach möglichen Wachstumstrends klären helfen. Es wird daher zunächst die Parametrisierung mit dem Fächer Fichte-Bayern durchgeführt, da dieser von Dauerversuchsdaten stammt und bezüglich der Extrapolierbarkeit gut geeignet ist.

Als Vergleich für den Einfluß des Alters bietet sich die Ertragstafel Fichte-Bruck, die auch noch ganz gut extrapolierbar ist, ursprünglich aus Wuchsreihendaten erstellt. Diese Feststellung muß hier kurz begründet werden, da die Genese dieser Ertragstafel bei MARSCHALL (1975) nicht genau nachvollziehbar ist. Der Ursprung der Ertragstafel Fichte-Bruck ist die Tafel von RIEBEL & PELLETIER (1929). Diese zwei Tafeln stimmen in der Tat gut überein, wie in Abbildung 13 gezeigt wird. Bei MARSCHALL (1973) finden sich sowohl Stammanalysen als auch Wuchsreihenverläufe für jeweils gleiche Standortseinheiten aus jenem Gebiet, in dem auch die Tafel RIEBEL & PELLETIER erstellt worden war. Die Abbildung 14 zeigt einen Vergleich der Tafel Fichte-Bruck mit den Wuchsreihenverläufen und den Stammanalysen von MARSCHALL. Es zeigt sich deutlich, daß die flacheren Wuchsreihenverläufe gut zur Tafel Bruck passen. Die steileren Stammanalysen schneiden hingegen den Fächer deutlich im Jugendwachstum. Damit ist die Verwendung der Tafel Fichte-Bruck als Wuchsreihenfächer für eine zweite Parametrisierung der Bonitierungsmodelle angezeigt.

4.2.2 Die Entwicklung neuer Oberhöhenfächer

Da der Einfluß der Parametrisierung von Höhenfächern in Bonitierungsmodellen mit den zwei obengenannten Ertragstafeln nicht überprüft werden kann, weil weder die hier angewandten Verfahren bekannt, noch die Datengrundlagen vorhanden sind, werden in diesem Kapitel mit publizierten Daten von Dauerversuchsflächen auf bayerischen Hochleistungsstandorten (RÖHLE, 1995) möglichst unterschiedliche Modelle parametrisiert.

Die aus diesen Modellen berechneten Oberhöhenbonitäten sollen dann in den Bonitierungsmodellen als abhängige Variable eingesetzt werden, um die Abhängigkeit der Ergebnisse vom verwendeten Fächer feststellen zu können. Dabei soll im wesentlichen die Art und Weise, in der das Alter - bei Verwendung verschiedener Oberhöhenfächer - in die Bonitierungsfunktionen eingeht, beurteilt werden. Das bedeutet, daß hier keine umfassende Aufarbeitung der Literatur über die Parametrisierung und Validierung von Höhen- und Site-Index-Modellen durchgeführt werden soll, sondern einige Aspekte, die möglicherweise zu verzerrten Schätzungen von Bonitäten vor allem in jüngeren Beständen führen, behandelt werden sollen.

In diesem Kapitel werden daher verschiedene Modelle parametrisiert und einige dabei auftretenden Probleme diskutiert. Diese sind:

- Wahl der abhängigen Variablen bei der Erstellung der Fächer (FRIES 1966, CURTIS et AL. 1973, HÄGGLUND 1981).
- Autokorrelation und Heteroskedastizität (MONSERUD 1984a, GOELZ & BURK 1992, GEOGOIRE et AL. 1995).
- Verzerrte Bonitätsschätzungen und Schätzgenauigkeit vor allem für junge Altersklassen (z.B. MONSERUD 1984a, CIESZEWSKI & BELLA 1989).
- unterschiedliches Extrapolationsverhalten.

Diese vier Problemkreise stehen zum Teil miteinander in unmittelbarem Zusammenhang und werden daher gemeinsam behandelt.

Der Einfluß der Wahl der abhängigen Variablen (Höhe oder Höhenbonität) bei der Erstellung der Fächer nach (3) und (4) wird in der Literatur seit 40 Jahren diskutiert und wurde bereits im Abschnitt 2.1 kurz behandelt. In Nordamerika ist es oft üblich, mit demselben Datenmaterial beide Fächer zu parametrisieren (HÄGGLUND, 1981), da den zwei Fächern zwei unterschiedliche Fragestellungen zugrunde liegen (GOELZ & BURK, 1992):

- Schätzung der Höhe zu einem Bezugsalter bei gegebener Höhe zu einem anderen Alter f_i Höhenbonitätsmodell (SiMod)
- Schätzung der Höhe zu einem beliebigen Alter bei gegebener Höhe im Bezugsalter f_i Höhenwachstumsmodell (OhMod)

Abbildung 13:
Vergleich der Höhenfächer der Tafel Riebel-Pelleter mit der Tafel Fichte-Bruck

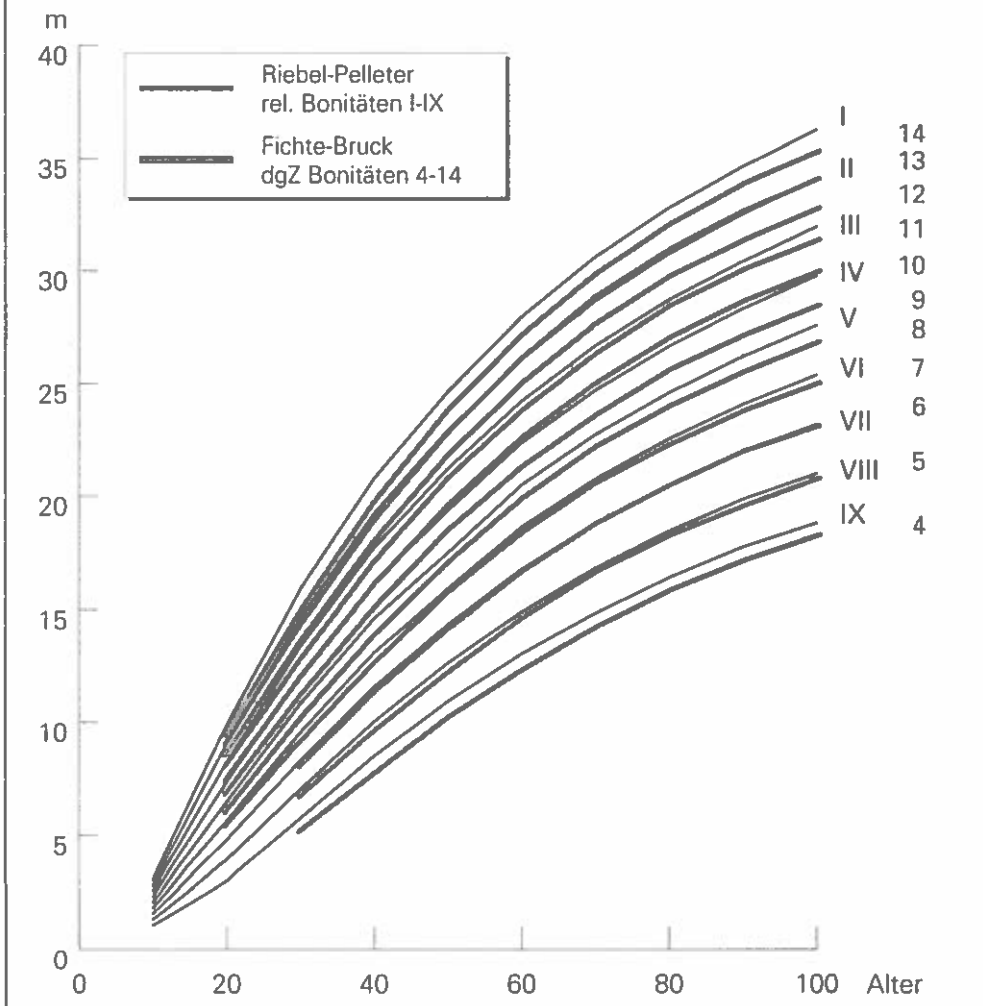
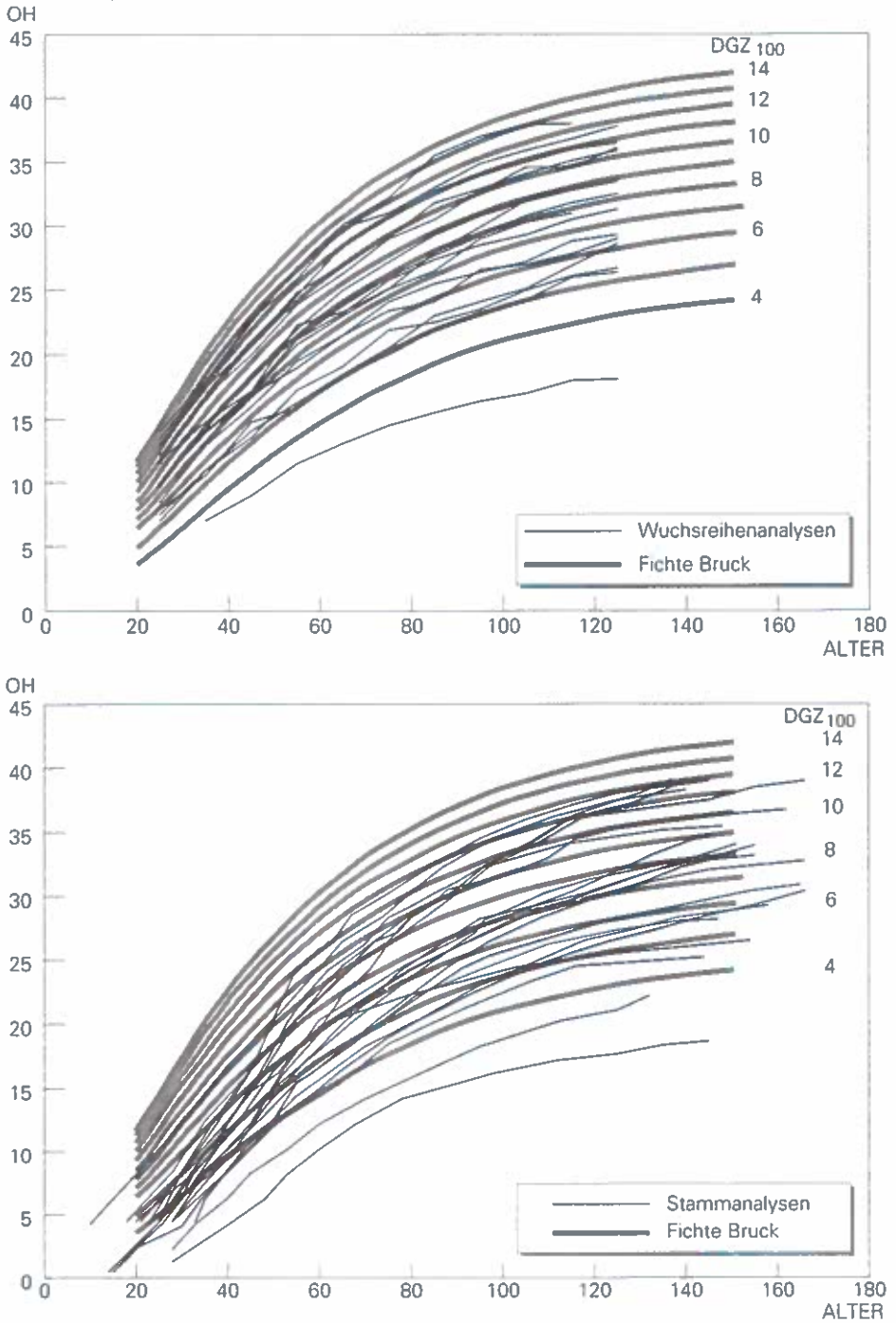


Abbildung 14:

Vergleich des Höhenfächers der Tafel Fichte-Bruck mit den Wuchsreihenverläufen und den Stammanalysen von Marschall (1973)



Um den Unterschied zwischen der direkten Schätzung der Bonität aus einem SiMod und der indirekten Schätzung der Bonität aus einem OhMod für ein spezielles Datenmaterial deutlich machen zu können, wird ein einziges Modell, welches sowohl als OhMod als auch als SiMod verwendbar ist, eingesetzt. Würden zwei verschiedene Modelle verwendet werden, dann wäre zusätzlich zu dem Effekt der verschiedenen abhängigen Variablen noch der Effekt der verschiedenen Modelle zu berücksichtigen. Ein Modell, welches sowohl die Parametrisierung des Höhenbonitätsmodelles als auch des Höhenwachstumsmodelles ermöglicht, wurde von CIESZEWSKI & BELLA (1989) publiziert. Es setzt auf der "half-saturation function" von TAIT et AL. (1988) auf und lautet:

$$H = \frac{((h_x + (20b_2 / A_i^{(1+b_1)})) + ((h_x - (20b_2 / A_i^{(1+b_1)}))^2 + 80b_2 h_x X^{(-1-b_1)}))^{-2} / (2 + (80b_2 X^{(-1-b_1)}))}{((h_x + (20b_2 / A_i^{(1+b_1)})) + ((h_x - (20b_2 / A_i^{(1+b_1)}))^2 + 80b_2 h_x X^{(-1-b_1)}))^{-2}} \quad (9)$$

H	Höhe für beliebiges Alter t bei OhMod, Oberhöhenbonität mit Bezugsalter Ai bei SiMod
h _x	Oberhöhenbonität mit Bezugsalter X bei OhMod, Höhe für beliebiges Alter X bei SiMod
X	Bezugsalter bei OhMod, Alter bei h _x bei SiMod
t	Alter für H bei OhMod, Bezugsalter bei SiMod
Ai	Bezugsalter für beide Modelle

In Folge wird das OhMod nach (9) mit (9.1) und das SiMod mit (9.2) bezeichnet.

Eine ganz andere Lösung, welche die Frage nach der Wahl der abhängigen Variablen umgeht, bieten GOELZ & BURK (1992) an. Sie entwickeln ein Differenzgleichungsmodell, welches auf der Chapman-Richardsfunktion aufbaut:

$$H_2 = H_1 ((1 - \exp(-b_1 ((H_1 / A_1)^{b_2}) A_1^{b_3} A_2)) / (1 - \exp(-b_1 ((H_1 / A_1)^{b_2}) A_1^{b_3} A_1)))^{b_4} \quad (10)$$

H ₁	Oberhöhe im Alter A ₁
H ₂	Oberhöhe im Alter A ₂
A ₁ , A ₂	jeweiligen Alter
b ₁	Parameter

Für dieses Differenzgleichungsmodell werden nicht nur die Kombinationen von aufeinander folgenden Messungen verwendet, sondern von allen möglichen Paaren. Das bedeutet, daß für eine Versuchsfläche mit 10 Aufnahmen 90 Kombinationen von Alter und Höhen in die Berechnung eingehen. Ein Vergleich des Modelles (10) mit gewöhnlichen Höhenwachstumsmodellen (z.B. PAYANDEH & WANG, 1994, siehe unten (11)) soll die Vorgangs- bzw. Wirkungsweise des Differenzverfahrens mit sämtlichen Kombinationen veranschaulichen:

Normalerweise wird bei einem OhMod die Höhe in einem beliebigen Alter in Abhängigkeit von einem Bezugsalter sowie von der Höhe in diesem Bezugsalter (S)

gesetzt. Die Vorgangsweise bei Modell (10) ist im Prinzip ähnlich, nur daß es nicht bloß ein Bezugsalter gibt, sondern jedes Alters-Höhen-Paar einmal als Bezugsalter bzw. Bezugshöhe im Parametrisierungsvorgang dient.¹ Damit geht jeder Höhenwert (mit seinem Meßfehler) einmal als abhängige und im selben Parametrisierungsvorgang auch als unabhängige Variable ein. Dies entspricht der gleichzeitigen Regression von x auf y und von y auf x (GOELZ & BURK, 1996). Damit ist bei dieser Vorgangsweise die Frage nach der Wahl der abhängigen Variablen irrelevant, da jede Höhe und damit auch die Bonität als abhängige und unabhängige Variable verwendet werden. Zusätzlich wird durch die Verwendung aller möglichen Kombinationen ein etwaiger Bias vermieden, der durch die Tatsache bedingt ist, daß die Höhenwerte als unabhängige Variable mit einem Meßfehler behaftet sind (GOELZ & BURK, 1996).

Bevor auf die anderen angeführten Probleme im Zusammenhang mit der Parametrisierung von Höhenwachstums- und Bonitätsmodellen eingegangen wird, werden noch zwei weitere Modelle, die dann parametrisiert werden, kurz angeführt:

Ein Höhenwachstumsmodell, welches wie die beiden oben genannten Modelle wenig Parameter besitzt und bei der Durchführung der nichtlinearen Regression gut konvergiert, ist jenes von PAYANDEH & WANG (1994), welches wie Modell (10) auf der Chapman-Richardsfunktion aufsetzt:

$$H = b_1 S^{b_2} (1 - \exp(b_3 A))^p \quad (11)$$

mit $p = \ln(S^{1-b_2} / b_1) / \ln(1 - \exp(b_3 A_i))$

H Oberhöhe
S Oberhöhenbonität
A Alter
 A_i Bezugsalter
 b_i Parameter

Gute Höhenbonitätsmodelle sind in der Literatur kaum vorhanden, so daß neben dem bereits angeführten Modell von CIESZEWSKI & BELLA (1989) ein etwas älteres Modell von MONSERUD (1984a) verwendet wurde. Es handelt sich dabei um ein additives Modell nach DAHMS (1975, cf. MONSERUD, 1984a), das im Gegensatz zu allen vorgenannten Modellen nicht durch die entsprechende Höhe im Bezugsalter gezwungen wird.

$$S = b_0 + b_1 A \ln(A) + b_2 \ln(A)^2 + b_3 H + b_4 H/A \quad (12)$$

H Oberhöhe
S Oberhöhenbonität
A Alter
 b_i Parameter

Bei der Modellierung von Meßreihendaten ist das Problem der Autokorrelation zu berücksichtigen. Dafür sind die Residuen über dem Alter beispielhaft für das Modell (12) in Abbildung 15 (links) dargestellt. Die Abhängigkeit der Residuen vom jeweiligen Vorwert ist hier deutlich zu sehen. Autokorrelation führt zu einer verzerrten

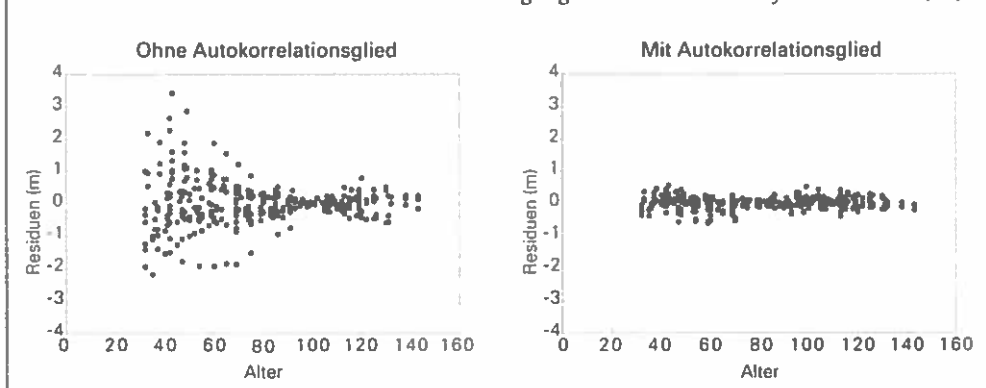
¹ Das bedeutet, daß Modell (10) nicht für ein spezielles Bezugsalter parametrisiert wird, sondern für jedes Bezugsalter die gleichen Parameter besitzt. Diese Bezugsaltersunabhängigkeit (GOELZ & BURK 1992) ist eine positive Eigenschaft, da es keine sinnvolle Erklärung für die Abhängigkeit des Oberhöhenwachstums von einem mit Einschränkungen frei gewählten Bezugsalter gibt.

Schätzung der Vertrauensintervalle der Parameter (BLEYMÜLLER et AL., 1987). Durch die Berücksichtigung der Autokorrelation im Modell wird die Varianz der Schätzungen verringert. Da die Meßintervalle nicht allzu stark schwanken, wird die Einführung eines Autoregressivparameters erster Ordnung (r , Residuum der jeweils vorangegangenen Beobachtung) in die Modelle zur Korrektur dieser verletzten Regressionsbedingung als ausreichend erachtet (GREGIORE et AL., 1995). Obwohl CIESZEWSKI & BELLA (1989) für ihr Modell zur Lösung des Autoregressionsproblems statt einer Minimum Least Square Schätzung eine eigene Loss-Funktion angeben, wurde auch hier im Sinne der Einheitlichkeit die oben genannte Vorgangsweise gewählt. Diese ist für das Differenzgleichungsmodell (10) um einen zweiten Autoregressivparameter (g) zu erweitern (GOELZ & BURK, 1992, 1996).

Die Autoregressivparameter waren in allen Fällen hochsignifikant, die deutliche Verbesserung der Residuen, die damit erreicht werden konnte, ist ebenfalls beispielhaft für alle Modelle für Modell (12) in Abbildung 15 (rechts) dargestellt. Die Varianz der Residuen ist aber auch nach Berücksichtigung der Autokorrelation nicht homogen über dem Alter, wie es für Alters-Höhenmodelle typisch ist. Dieser Heteroskedastizität wurde mit einer schrittweisen Gewichtung begegnet (MONSERUD, 1984a). Als Gewicht wurde der Kehrwert der jeweils für zehnjährige Perioden ermittelten Varianz genommen. Für das Differenzgleichungsmodell (10) wurde die von GOELZ & BURK (1992) vorgeschlagene Gewichtungsfunktion eingesetzt.

Abbildung 15:

Residuen über dem Alter ohne und mit Berücksichtigung der Autokorrelation für das Modell (12)



Die Ergebnisse der Parametrisierung der Modelle für das Bezugsalter 100 (Ausnahme Modell (10)) sind in Tabelle 29 zusammengestellt. Die Parameter sind alle signifikant, die hohen Bestimmtheitsmaße (nahezu 1) sind durch die hochsignifikanten Autoregressivparameter mitverursacht, da die Residuen der Vorerhebung (Res_{t-1}) sehr eng mit Res_t korreliert sind. Daher sind in der Tabelle 29 auch die Bestimmtheiten ohne Autokorrelationsglieder angeführt. Hier zeigt sich, daß die OhMod (9.1), (10) und (11) deutlich höhere Bestimmtheiten aufweisen als die SiMod ((9.2 und (12)). Diese Tatsache weist lediglich darauf hin, daß sich die Höhen aus den

OhMod mit größerer Genauigkeit schätzen lassen als die Bonitäten aus den SiMod. Daraus kann nicht auf die Genauigkeit der indirekten Bonitätsschätzung aus den OhMod geschlossen werden. Die Frage Genauigkeit der Bonitätsschätzung wird weiter unten behandelt werden.

Für die Beurteilung der Qualität von Bonitätsschätzungen aus SiMod wie aus OhMod ist der Verlauf der Bonitäten, aus den Daten der Parametrisierung geschätzt und über dem Alter aufgetragen, von großer Bedeutung. Dabei ist zu beachten, daß für die Schätzung der Bonität die Autokorrelationsglieder nicht verwendet werden können (MONSERUD, 1984a).

Tabelle 29:

Ergebnisse der Parametrisierung der fünf Modelle ((9.1) - (12)).

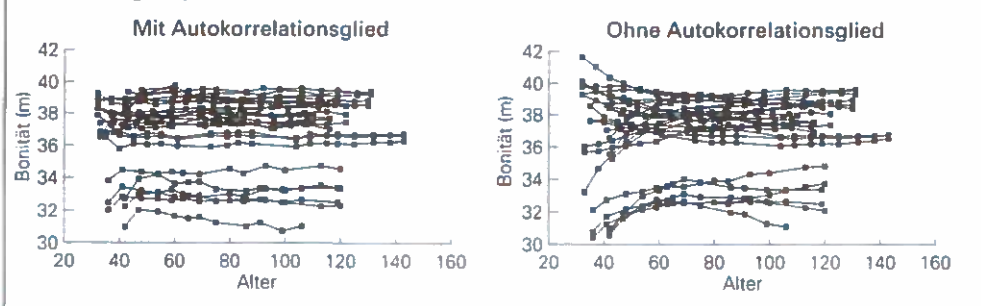
b₀ - b₄ ... Parameter, ρ und γ ... Autoregressionsparameter, B_{auto} ... Bestimmtheit incl. Autoregressionsparameter, B ... Bestimmtheit ohne Autoregressionsparameter, (9.1) ... OhMod nach CIESZEWSKI & BELLA (1989), (9.2) ... SiMod nach CIESZEWSKI & BELLA (1989)

Modell	b0	b1	b2	b3	b4	r	g	B _{auto}	B
(9.1)	-	0.3727	598.12	-	-	0.8392	-	0.999	0.994
(9.2)	-	0.3921	627.75	-	-	0.7864	-	0.995	0.860
(10)	-	0.00933	1.0540	0.3410	1.2272	0.4933	0.4612	0.999	0.990
(11)	-	2.4629	0.8303	-0.0156	-	0.8478	-	0.999	0.994
(12)	58.069	-3.0945	0.0158	1.0271	-1.9955	0.8314	-	0.995	0.912

Das gilt für die indirekte Schätzung aus dem OhMod, aber auch für die direkte Schätzung aus dem SiMod, da ja für den Schätzvorgang kein Autokorrelationsglied zur Verfügung steht. Dies ist von Bedeutung, da der Verlauf der Bonitäten für die SiMod mit und ohne Autokorrelationsglieder stark voneinander abweicht, wie es beispielhaft für Modell (9.2) in Abbildung 16 dargestellt ist. Ist der Verlauf der Bonitäten über dem Alter incl. Autokorrelationsglied zufriedenstellend (was bei der sehr hohen Bestimmtheit nicht anders zu erwarten ist), so zeigt das Modell ohne Autokorrelationsglied Überschätzungen und Unterschätzungen der höheren und

Abbildung 16:

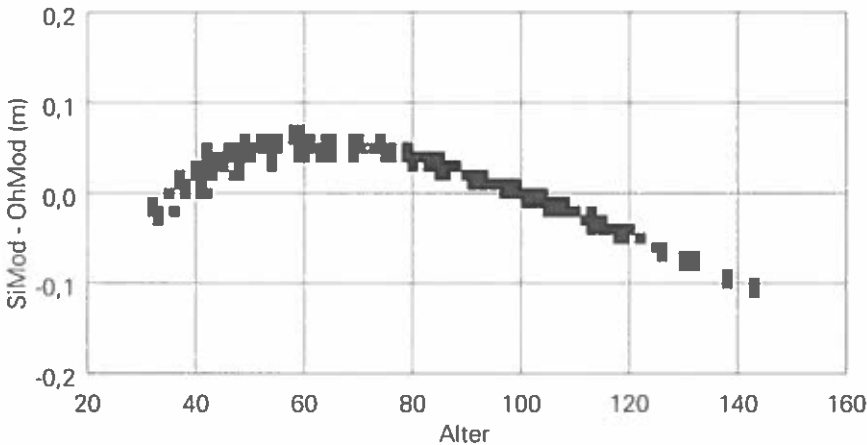
Vergleich des Verlaufes der geschätzten Bonitäten über dem Alter mit und ohne Autokorrelationsglied für das Modell (9.2)



mittleren Bonitäten für die jüngeren Alter, die niedrigen Bonitäten für die gleichen Alter unterschätzt das Modell offensichtlich.

Für den Vergleich der Modelle (9.1)-(12), in Bezug auf die Fragestellung nach möglichst unverzerrten Schätzungen vor allem für jüngere Alter, wird die Schätzung der Bonitäten über dem Alter wie in Abbildung 16 (rechts) ohne Autoregressionsglied herangezogen. Zunächst soll in diesem Zusammenhang die Frage nach der Auswirkung der Wahl der abhängigen Variablen beantwortet werden. Der Unterschied für die geschätzten Bonitäten zwischen den beiden Modellen (9.1) und (9.2) ist so gering, daß nur bei entsprechender Skalierung der Differenzen die Unterschiede aufzeigt werden können (Abb. 17). Zwischen Alter 40 und 100 (im Bezugsalter müssen die Bonitäten ident sein) schätzt das OhMod höhere Bonitäten mit der maximalen Differenz im Alter 60 (sie beträgt aber nur 0.07 Bonitäten), ab dem Alter 100 liefert das SiMod etwas höhere Bonitäten.

Abbildung 17:
Differenzen zwischen den geschätzten Bonitäten aus dem SiMod (9.2) und dem OhMod (9.1) über dem Alter



Obwohl ein eindeutiger Trend in den Differenzen erkennbar ist, sind diese absolut so gering, daß sie praktisch kaum ins Gewicht fallen. Diese Aussage gilt selbstverständlich nur für das benutzte Datenmaterial. Insgesamt ist die Schätzung beider Modelle, wie in Abbildung 16 am Beispiel (9.2) bereits aufgezeigt, aber nicht zufriedenstellend.

Um den optischen Vergleich der vier Modelle (9.2)-(12) zu erleichtern, wurden die Abweichungen der ohne Autokorrelationsglied geschätzten Bonitäten von den gemessenen Bonitäten (in folge als Residuen bezeichnet) für zehnjährige Altersgruppen und drei Bonitätsstufen (31.0-34.9 fi niedere, 35.0-37.9 fi mittlere, 38.0-39.9 fi hohe Bonität) gemittelt. Die Einteilung in diese drei Bonitätsstufen hat sich für die Trennung zwischen erster und zweiter Gruppe durch eine eindeutige Abgrenzung in der Daten-

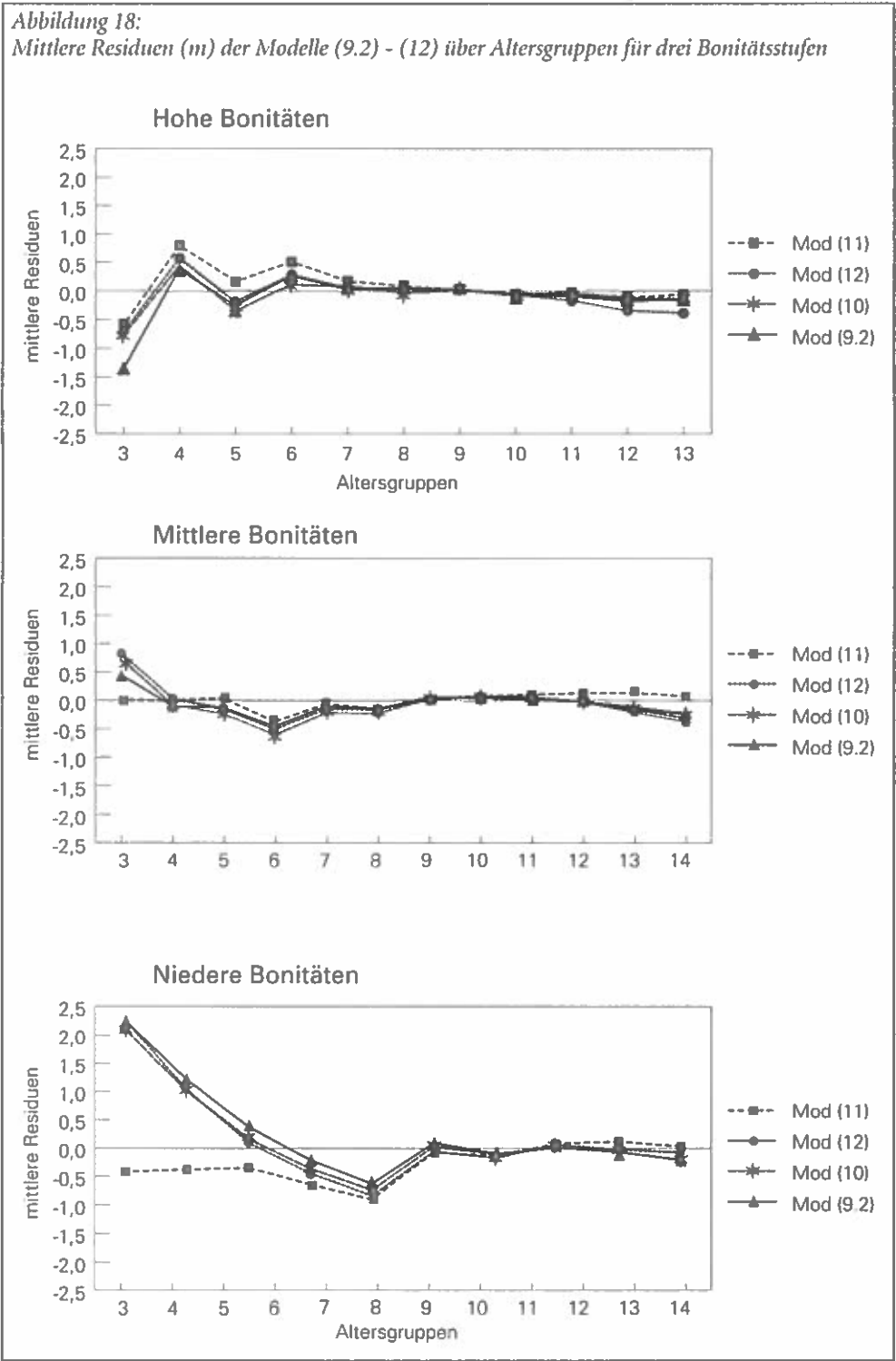
grundlage ergeben (vgl. Abb. 3, Seite 15), die Trennung zwischen zweiter und dritter Gruppe ist so erfolgt, daß zwei etwa gleich große Teile entstehen. Die Bezeichnungen niedere, mittlere und hohe Bonitäten sind nicht absolut, sondern in Bezug auf das Datenmaterial gewählt, in dem absolut betrachtet nur einige mittlere und hauptsächlich hohe Bonitäten vertreten sind. Diese Tatsache spielt später für das Extrapolationsverhalten eine wichtige Rolle.

Die Abbildung 18 zeigt die mittleren Residuen über den Altersgruppen für die drei Bonitätsstufen. Die negativen Residuen für die niedrigste Altersgruppe bei den hohen Bonitäten weist auf eine Überschätzung der Bonität bei allen Modellen in der jüngsten Alterklasse hin, wobei das Modell (9.2) die stärkste Überschätzung aufweist und das Modell (12) die schwächste. Mit zunehmenden Alter werden die Schätzungen besser, wobei Modell (12) bis etwa zum Alter 80 etwas unterschätzt, während die anderen Modelle für die hohen Bonitäten bis zum Alter 80 sowohl über wie auch unterschätzen. Für die höchsten Alter fällt das Modell (10) in dieser Bonitätsgruppe durch eine leichte Überschätzung auf. Bei den mittleren Bonitäten sind die Schätzungen für alle Modelle besser, wobei Modell (12) die geringsten Verzerrungen aufweist. Sehr deutlich zeigt sich auch die Überlegenheit des Modelles (12) bei den niedrigen Bonitäten, wo der deutlichen Unterschätzung der Bonitäten in jüngeren Altersklassen gegenüber den anderen Modellen eine verhältnismäßig geringe Überschätzung durch Modell (12) gegenübersteht.

Das bedeutet, daß sich das lineare, additive Modell (12) von allen anderen deutlich unterscheidet, indem es die geringsten Verzerrungen für die einzelnen Altersgruppen und Bonitäten aufweist. Es zeigt die beste Anpassung an das Datenmaterial. Der Grund dafür dürfte in der Verwendung von fünf additiven Parametern liegen, die zwar im Vergleich zu den multiplen bzw. Exponentialmodellen nicht so gut biologisch interpretierbar, dafür aber in dem Anpassungsvermögen flexibler sind. Die biologische Interpretierbarkeit und die geringere Anzahl von Parametern ist zumindest bei diesem Datenmaterial mit einer gewissen Starrheit der Modelle verbunden.

Ein weiteres Beurteilungskriterium der verschiedenen Modelle sind die Schätzgenauigkeiten. Aus der Literatur ist bekannt, daß vor allem für junge Alter die Genauigkeit oft recht gering ist (HEGER, 1972, HÄGGLUND, 1975, LLOYD & HAFLEY, 1977, MCQUILKIN & ROGERS, 1978, NIGH & SIT, 1996). Die nachstehende Vorgangsweise ist keine exakte statistische Validierung der Modelle, da dafür die Residuen nicht direkt verwendet werden dürften, weil auch hier Autokorrelation und Heteroskedastizität zu berücksichtigen wären (NIGH & SIT, 1996) und daher eigene Modelle für die Fehlerstruktur zu erstellen wären. Deshalb wurden auch die oben beschriebenen Verzerrungen in den einzelnen Bonitätsstufen nicht auf ihre statistische Signifikanz geprüft. Trotzdem erscheint es zulässig, für einen groben Vergleich der einzelnen Modelle die mittleren Standardabweichungen der Residuen, für einzelne Altersgruppen getrennt berechnet, gegenüberzustellen (Tabelle 30).

Für alle Modelle gilt, daß die Standardabweichungen mit zunehmendem Alter abnehmen und beim Indexalter 10 das Minimum haben, wie es bereits aus Abbildung



16 (ohne Autokorrelation) hervorgeht und für SiMod wie auch für OhMod typisch ist. Es zeigt sich wieder die Überlegenheit des Modelles (12) für die jungen Altersgruppen von 30 bis 60 Jahren (Gruppen 3-5) mit der deutlich relativ geringsten Standardabweichung in der jüngsten Gruppe. Die größte Standardabweichung für diese jungen Alter hat das Modell (9.2). Für die Alter 60-80 hat das Modell (12) etwas größere Standardabweichungen als die anderen Modelle. Für die weiteren Alter sind die Unterschiede zwischen den Modellen unbedeutend.

*Tabelle 30:
Standardabweichungen der Residuen nach Altersgruppen für die Modelle (9.2) - (12)*

Modell	Altersgruppen											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
(9.2)	2.06	1.39	0.71	0.68	0.41	0.32	0.17	0.11	0.23	0.35	0.34	0.21
(10)	1.85	1.29	0.66	0.72	0.43	0.32	0.18	0.12	0.25	0.40	0.37	0.21
(11)	1.82	1.31	0.68	0.69	0.39	0.32	0.17	0.11	0.23	0.35	0.34	0.26
(12)	1.13	1.14	0.65	0.84	0.46	0.32	0.18	0.12	0.25	0.37	0.36	0.21

Als letzter Aspekt für die Beurteilung der Modelle wird das Extrapolationsverhalten der Bonitätsfächer verglichen. Die Modelle wurden aus einem engen Bonitätspektrum erstellt, welches die höheren Bonitäten recht gut abdeckt, aber keine Probestflächen unter einer Oberhöhenbonität kleiner 31 m im Alter 100 aufweist. Aber auch die allerhöchsten Bonitäten, wie sie im Datenmaterial der Inventur vorkommen, sind in den Dauerversuchsdaten nicht vertreten. Daher spielt das Extrapolationsverhalten der Modelle für die spätere Verwendung in den Standorts-Bonitätsmodellen eine wichtige Rolle. In der Abbildungen 19 sind die vier Bonitätsfächer einander gegenübergestellt.

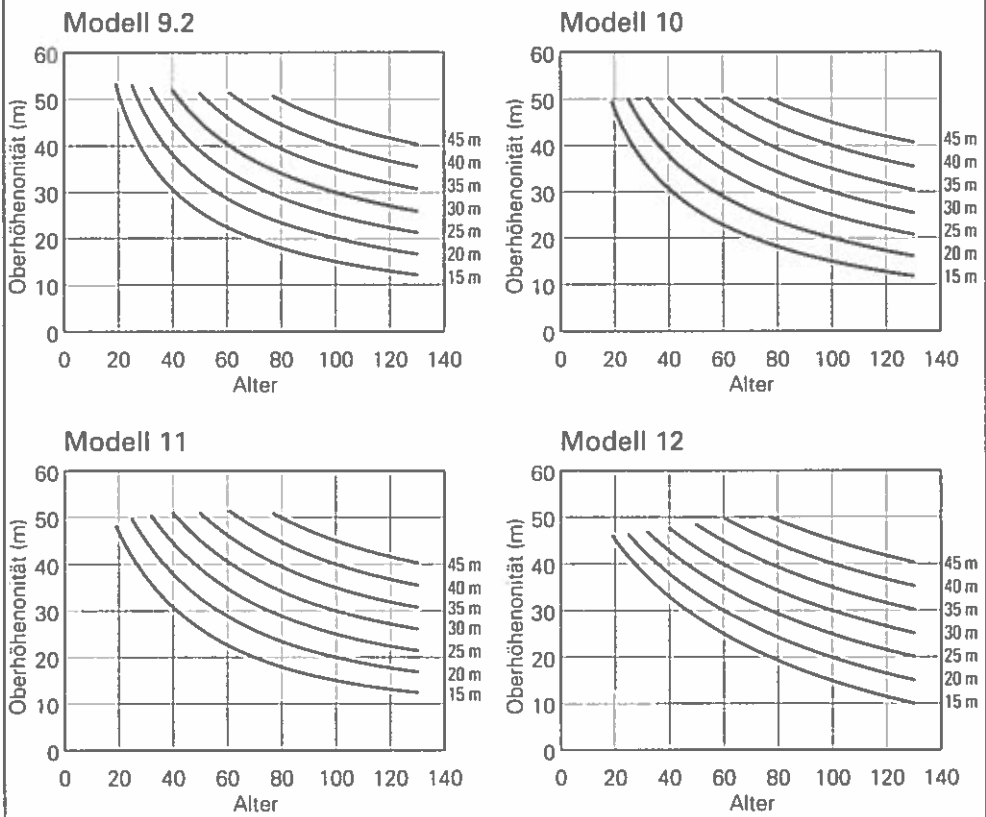
Der Vergleich aller Modelle zeigt, daß die Übereinstimmung im Bereich zwischen Bonitäten von 30-40 m, für den Daten bei der Parametrisierung vorhanden waren, erwartungsgemäß am größten ist. Die zur Modellbildung herangezogenen Daten erfordern bei der Anwendung eine recht weite Extrapolation zu den niedrigeren Bonitäten und eine geringere zu den höchsten Bonitäten. Die Modelle (9.2), (10) und (11) zeigen über den gesamten Bonitätsbereich eine recht gute Übereinstimmung. Die nur geringen Unterschiede sind in den Randbereichen deutlicher ausgeprägt und zeigten sich bereits bei der Residuenstudie (vgl. Abb. 18). So liegen etwa bei den besten Bonitäten in jungen Jahren für Modell (9.2) die Werte über jenen aller anderen Modelle - hier war die Verzerrung der Residuen für (9.2) am größten. Ansonst sind die drei Modelle nahezu deckungsgleich. Die gering ausgeprägte niedrigere Schätzung von Modell (10) für die niedrigeren Bonitäten und hohen Alter ist ebenfalls bereits an der Residuenstudie erkennbar.

Das Modell (12) unterscheidet sich von den drei anderen Modellen deutlich (Abb. 19 rechts unten). Auch diese Tatsache war bereits an den Residuen erkennbar. Der Verlauf der Kurven dieses Modelles ist im Vergleich zu allen anderen gestreckter.

Damit liegen die Schätzungen für die besten Bonitäten in den jüngeren Altern deutlich unter den Schätzungen der anderen Modelle, während Schätzungen im Bereich der mittleren und niedrigeren Bonitäten für diese Alter über denen der anderen Modelle liegen. In den hohen Altersklassen liegen die Schätzungen gegen die niedrigeren Bonitäten hin zunehmend wieder unter den Schätzungen der anderen Modelle (vgl. Abb. 18 unten). Für ein gutes Modell ist es wichtig, daß es durch die entsprechende Höhe im Bezugsalter 100 geht. Da diese Bedingung im Modell (12) nicht im vornherein festgelegt war, ist es wichtig zu prüfen, ob diese Voraussetzung trotzdem erfüllt ist. In der Abb. 19 zeigt sich, daß die Kurven auch im Extrapolationsbereich genau genug durch die entsprechende Höhe im Bezugsalter gehen.

Nachdem alle Unterschiede der Modelle im Extrapolationsbereich sich bereits im mit Daten besetzten Teil angedeutet haben, kann das Extrapolationsverhalten aller Modelle als zufriedenstellend betrachtet werden. (Es wurden auch Modelle versucht, deren Extrapolationsverhalten ungünstig zu beurteilen war. Auf diese wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen.)

Abbildung 19:
Vergleich der Bonitätsfächer für die Modelle (9.2) - (12), Oberhöhen von 15-45 m



4.3 Modelle für die Beziehung zwischen Oberhöhenbonität und Standort

Für alle Überlegungen bezüglich der Art der Modellierung der Bonitäts-Standortsbeziehung ist für diese Arbeit die Datengrundlage der Ausgangspunkt. Schon bei der Festlegung der Zielsetzung mußte auf die vorhandenen Daten der Inventur Rücksicht genommen werden, da das Design der Inventur lange vor dieser Untersuchung festgelegt worden war. Diese Vorgangsweise entspricht zwar nicht einem normalen Versuchskonzept, ist aber bei vorgegebenem Datenmaterial notwendig. Die Zielsetzung wurde in Kapitel 1 und 2 bereits besprochen und läßt sich wie folgt zusammenfassen:

1. Das Bonitierungsmodell soll die Wirkungen des Standortes auf das Höhenwachstum qualitativ und quantitativ beschreiben, wobei es für einzelne Standortparameter interpretierbar sein soll.
2. Es soll geprüft werden, ob diese Modelle zur Abschätzung der Oberhöhenbonität eingesetzt werden können.
3. Möglichkeiten sollen geprüft werden, eventuell vorhandene Wachstumstrends in Bonitierungsmodellen zu quantifizieren.
4. Die Brauchbarkeit der in Österreich vorhandenen Ertragstafeln für diese Bonitierungsmodelle soll - auch anhand von Alternativen - festgestellt werden.

Von diesen Zielen ausgehend werden im folgenden die Methoden der Modellbildung entwickelt. Aus Punkt 1 geht hervor, daß primär ein empirischer Modellansatz zu wählen ist, da die Wirkungen des Standortes auf das Wachstum erst im Modell gefunden werden sollen. Es ist jedoch klar, daß die Modellierung nicht ohne jedes Vorwissen realisiert werden kann. Schon in der Auswahl der bei der Inventur erhobenen Standortparameter steckt ökologisches Wissen. Ähnliches gilt auch für die klimatologischen Kenngrößen, insbesondere auch für die Umwandlungen von Neigung und Exposition, wo bereits Wirkungstransformationen vorweggenommen sind. Dem empirischen Charakter des Modells entsprechend wird für die Entwicklung zumindest teilweise die schrittweise lineare Regression eingesetzt.

Die für ganz Österreich repräsentative Datengrundlage erlaubt die Verwendung der schrittweisen Regression, da die Gefahr von Artefakten durch die große Anzahl von Beobachtungen, im Vergleich zu anderen, nicht repräsentativen Daten, gering ist. Die Tatsache, daß das Modell für die Anwendung räumlich nicht extrapoliert werden muß, da die Daten ganz Österreich abdecken, spricht auch für die empirische Vorgangsweise. Um die Aussagekraft des Modelles zu erhöhen, wird es anhand der Daten der Inventurperiode 1986/90 überprüft, wo nahezu gleich viele Oberhöhenbestände mit Fichte wie in der Periode 1971/80 zur Verfügung stehen. (Da die Daten für die Modellvalidierung mit der gleichen Methode erhoben wurden wie die Daten, die für die Parametrisierung verwendet werden, wurde die Beschreibung dieser Daten weggelassen.)

Die schrittweise Regressionsrechnung soll jedoch nicht uneingeschränkt zur Anwendung kommen. Um die ebenfalls in Punkt 1 angesprochene Interpretierbarkeit zu erreichen, muß darauf geachtet werden, daß Interkorrelationen vermieden werden, die das Modell destabilisieren und eine biologisch sinnvolle Interpretation vereiteln können. Mittels des Variance Inflation Factors (VIF) kann das Ausmaß der Interkorrelationen geprüft werden. Bei VIF's, die größer als 5 sind (VAN LAAR, 1991), wird eine der interkorrelierten Variablen (die mit der kleineren partiellen Korrelation) aus dem Modell herausgenommen.

Diese Vorgangsweise beinhaltet das schon in den vorangegangenen Abschnitten ange-deutete Testen von Standortvariablen auf Signifikanz. So sollen z.B. aus den Wirkungs-transformationen für die Neigung und Exposition jene durch das Modell bestimmt werden, die den höchsten t-Wert aufweisen. Auch die klimatologischen Werte werden transformiert, wobei davon ausgegangen wird, daß das Wachstum bei einer bestimmten Ausprägung des Standortparameters ein Maximum aufweist bzw. über dem Parameter einen paraboloiden Verlauf annimmt. Um dabei Multikollinearität zu vermeiden, wurde statt einem Polynom zweiter Ordnung folgende Form gewählt:

$$Wt = (X_i - X_{\max})^2 \quad (13)$$

Wt	Wirkungstransformation
X_i	Ausprägung des Standortparameters auf der i-ten Probestfläche
X_{\max}	Ausprägung des Standortparameters, bei dem die maximale Bonität auftritt

X_{\max} wird dabei durch eine Regression, in der zunächst ein lineares und ein quadratisches Glied vorkommt, bestimmt. Der Vertrauensintervall für den Koeffizienten der Wirkungstransformation ist bei dieser Vorgangsweise falsch, da die Variation, die bei der Schätzung von X_{\max} auftritt, vernachlässigt wird. Da die Beziehungen jedoch aus biologischen Gründen nicht linear sind, und die Verwendung von Polynomen zweiter Ordnung zu sehr hohen Interkorrelationen führt, die Aussagen über die Modellstabilität und damit auch die Interpretation erschwert, wurde trotzdem die Vorgangsweise nach (13) gewählt. Sie stellt jedoch einen Schwachpunkt der Modellierung dar.

Synergistische oder antagonistische Effekte von zwei Standortparametern werden durch Wechselwirkungsterme abgebildet. Es sollen jedoch nur einige biologisch sinnvolle Wechselwirkungen im Modell auf Signifikanz getestet werden. Wenn dabei VIF's größer 5 auftreten, so werden entweder nur der Wechselwirkungsterm oder die beiden Parameter getrennt im Modell belassen.

Wie bereits im Kapitel Problemstellung angedeutet, kann eine gute Vorstratifizierung bei genügend großem Datenmaterial zu besseren Modellen führen als die Verwendung des gesamten Materials gemeinsam. Diese Vorgangsweise bietet sich bei der Verwendung des Datenmaterials der Inventur an und wurde auch von HÄGGLUND & LUNDMARK (1977) für Inventurdaten eingesetzt, die den Vegetationstyp für die Vorstratifizierung gewählt haben. Bei der Wahl der Stratifizierungsmerkmale ist zu beachten, daß durch unterschiedlich besetzte Straten bestimmte Wirkungszusam-

menhänge in einem gemeinsamen Modell nicht zum Tragen kommen. Es könnte auch durch die entgegengesetzte Wirkungsweise eines Standortparameters in zwei Straten bei Verwendung von nur einem Modell die Wirkung nicht abgebildet werden. Das bedeutet, daß bei der Vorstratifizierung Teile mit möglichst homogenen Wirkungsmechanismen für das Wachstum gesucht werden müssen.

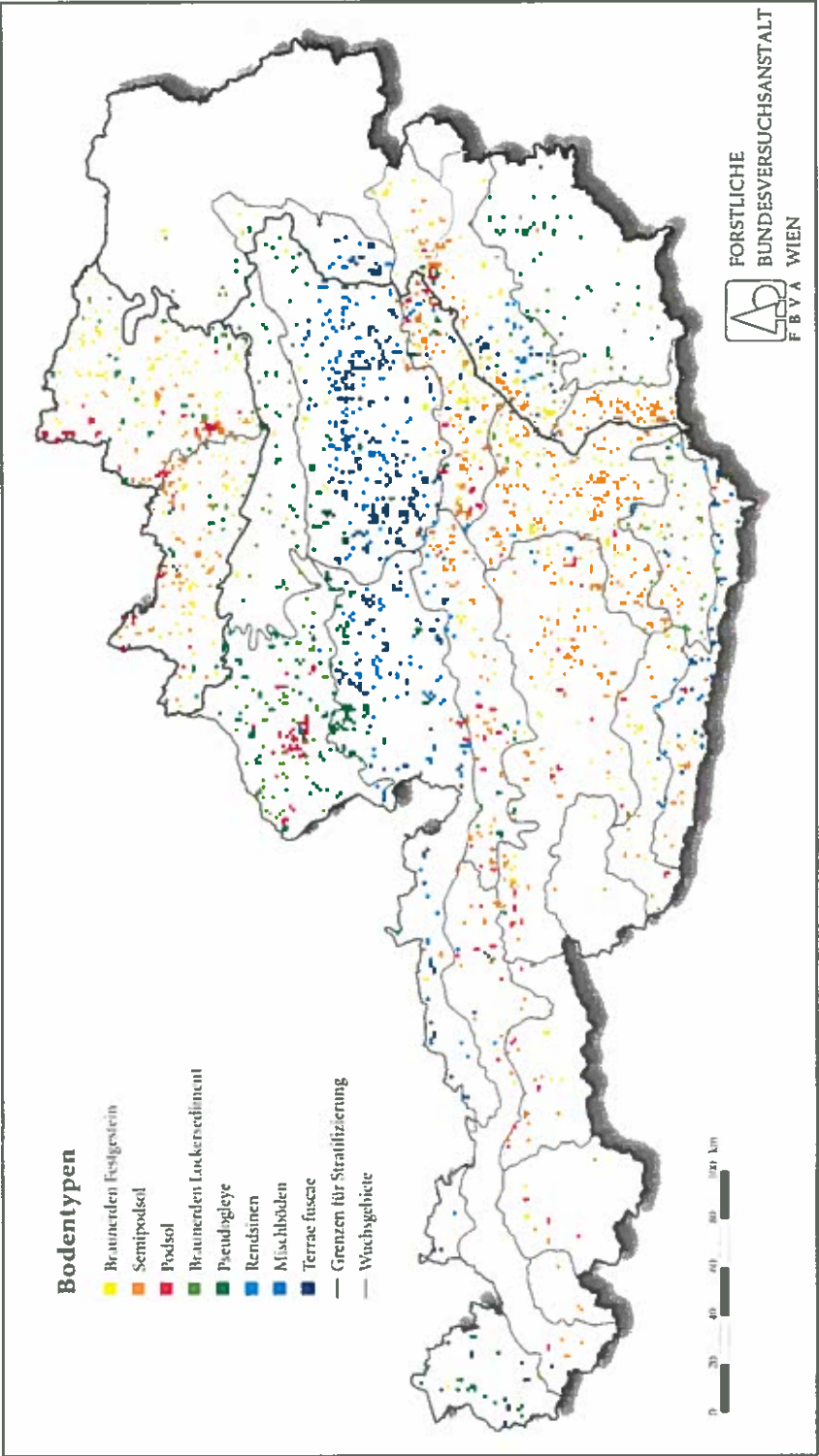
Für österreichische Verhältnisse erscheint eine primäre Stratifizierung nach dem bodenbildendem Substrat (Silikat oder Karbonat) als zielführend, wie Untersuchungen der Österreichischen Waldbodenzustandsinventur ergaben. (MUTSCH, 1992, HERZBERGER, 1996). Da im Rahmen der Forstinventur für Lockersedimentbraunerden und Pseudogleye (Gruppen 8 -14) keine Zuordnung in eine dieser beiden Gruppen möglich ist, wurde eine dritte Gruppe gebildet (sogenannte intermediäre Böden). Da nach dieser Stratifizierung vor allem für die silikatischen Böden noch immer sehr viele Daten vorhanden waren, konnte sekundär eine räumliche Stratifizierung auf Basis der Wuchsgebiete von KILIAN et AL. (1994) vorgenommen werden. Dabei wurde die böhmische Masse (Wuchsgebiete 9.1 und 9.2) von der alpinen Region getrennt. In der böhmische Masse wurden die intermediäre und die silikatische Gruppe wieder zusammengefaßt, da hier ausschließlich silikatisches Material vorkommt. Bei den Silikatböden in den Alpen wurde der trockenere und wärmere Osten (Wuchsgebiete 5.2-5.4) vom Rest getrennt, da dort möglicherweise angespannte Wasserhaushaltsverhältnisse für die Fichte zu erwarten sind. Die ebenfalls wärmeren und trockeneren Innenalpen (Wuchsgebiet 1.1 und ev. 1.2) konnten nicht abgetrennt werden, da hier kaum Fichtenoberhöhenbestände liegen. Die Karte in Abbildung 20 zeigt die Bodengruppen der Oberhöhenbestände und die gewählten Grenzen für die räumliche Stratifizierung.

Ein Problem, welches oft in Zusammenhang mit Standorts-Leistungsmodellen auftritt, ist die Verwendung qualitativer Standortvariablen. Eine Reihe von Parametern wurde auf nominalem bzw. ordinalem Skalenniveau erhoben. Einerseits ist bekannt, daß diese oft hochaggregierten Standortvariablen, wie z.B. Vegetationstyp oder Wasserhaushalt mehr Erklärungspotential für großräumige Standorts-Leistungsbeziehungen liefern als niederaggregierte, aufwendig zu erhebende Variable wie etwa die Nährstoffgehalte in bestimmten Bodenhorizonten (z.B. HERZBERGER, 1996). Andererseits ist die Verwendung dieser qualitativen Information in Regressionsmodellen methodisch mit Problemen verbunden. Zwei Lösungswege werden in der Literatur angeführt:

- Der Einsatz von Dummy-Variablen (DRAPER & SMITH, 1981, S. 241 ff.)
- Quantitative Skalierung der qualitativen Information (MOOSMAYER & SCHÖPPER, 1972, ANDERS et AL., 1985, KAHN, 1994, MOOSMAYER et AL., 1996)

Diese Quantifizierungen werden durchgeführt, weil bei vielen Ausprägungen mehrerer qualitativer Variablen die Anzahl der Dummy-Variablen groß wird und vor allem bei kleineren Datengrundlagen Ausreißer in schwach belegten Ausprägungsstufen Artefakte hervorrufen bzw. singuläre Matrizen entstehen können. Die Quantifizierungen beruhen bei MOOSMAYER et AL. (1996) auf einer gutachtlichen

Abbildung 20:
Die Bodengruppen der Oberhöhenbestände mit den Grenzen der räumlichen Stratifizierung



Rangordnung der Variablenausprägung in Bezug auf die Wirkung auf das Wachstum. Darauf aufbauend werden Verfahren eingesetzt, welche die gutachtliche Rangordnung untermauern und sie auf metrisches Niveau anheben sollen. MOOSMAYER et AL. (1996) verwenden dazu regressionstechnische Methoden. In der Arbeit von KAHN (1994) werden zur Festlegung der metrischen Skala publizierte Konvertierungsskalen (CHEN & HWANG, 1992, cf. KAHN, 1994) eingesetzt. Anschließend werden unimodale Wirkungsfunktionen im wesentlichen wieder gutachtlich parametrisiert. Bei diesen Methoden spielt das ökologische Vorwissen eine entscheidende Rolle. Sie sind daher nicht gut mit der Zielsetzung vereinbar, nach der ökologisches Vorwissen nur dort eingesetzt werden soll, wo die rein empirische Vorgangsweise nicht zielführend ist.

Die maßvolle Verwendung von Dummy-Variablen in Regressionsmodellen, die mit Daten der Inventur parametrisiert werden, ist nach Ansicht des Autors durchaus sinnvoll. Die Wirkung einer Dummy-Variablen in einem Regressionsmodell kann mit der einer Vorstratifizierung verglichen werden. Dummies bewirken eine Parallelverschiebung des Modells. Der Regressionskoeffizient einer Dummy-Variablen kann beim Wert 1 der Variablen direkt dem konstanten Glied hinzugerechnet werden. Bei der Vorstratifizierung können sich selbstverständlich alle Regressionskoeffizienten ändern. Damit ist es von Bedeutung, welche qualitative Information für die Vorstratifizierung eingesetzt wird und welche als Dummy-Variable in das Modell eingeht.

Die oben begründete Vorgangsweise für die Vorstratifizierung nach Bodentypen- und Wuchsgebieten führt zu einer Herabsetzung der Anzahl notwendiger Dummy-Variablen in den einzelnen Modellen. Schwach besetzte und ähnliche Merkmalsausprägungen von nominalen Variablen werden für die Modellierung zusammengefaßt (siehe Abschnitt 3.1.3). Durch die Einbeziehung von klimatologischen Kennwerten in das Modell brauchen die nominal skalierten Wuchsgebiete, die bei der Parametrisierung der klimatischen Modelle zur Vorstratifizierung eingesetzt wurden, in den Modellen nicht mehr berücksichtigt werden. Alle diese Maßnahmen führen zu einer Herabsetzung der Anzahl von Dummy-Variablen in den einzelnen Modellen. Eine Übersicht für die verbleibende Anzahl für die einzelnen Stratifizierungseinheiten geben die Tabellen 31 und 32.

Tabelle 31:
Anzahl der Dummy-Variablen für die Boden-
gruppen in den drei Substratgruppen

	Karbonat	Intermediär	Silikat
Boden- gruppen	2	3	4

Tabelle 32:
Anzahl der Dummy-Variablen für Vegetations-
typ, Gründigkeit, Relief und Wasserhaushalt

	Vegeta- tionstyp	Gründig- keit	Relief	Wasser- haushalt
Anzahl	5	2	3	2

Eine entscheidende Frage bei der Erstellung von Modellen ist die Wahl des Modelltyps. Im allgemeinen wurden in der Literatur für Bonitierungsmodelle additive Ansätze gewählt (z.B. REHFUESS, 1968, GRANEY & FERGUSON, 1971, MOOSMAYER, 1980, GREEN et AL., 1989, KLINKA & CARTER, 1990, HASSALL et AL. 1994, WANG, 1995, HERZBERGER,

1996). Multiplikative Ansätze bilden jedoch biologische Wirkungsmechanismen oft besser ab (BAULE, 1917, cf. HÄGGLUND & LUNDMARK, 1977). Ein normaler multiplikativer Ansatz ist bei Verwendung von Dummy-Variablen nicht möglich, da bei nominalskalierten Variablen mit mehr als zwei Ausprägungen zumindest eine Dummy-Variable immer gleich null ist und damit ein multiplikatives Modell nicht parametrisierbar ist. Ein Ansatz, der sich auch für Dummy-Variable eignet, ist in Modell (14) wiedergegeben:

$$SI = c_0 * c_1^{f_1} * c_2^{f_2} * \dots * c_n^{f_n} * e \quad (14)$$

SI	Oberhöhenbonität
$c_0 - c_n$	Parameter
$f_1 - f_n$	einzelne Standortvariablen
e	stochastisches Störglied

In diesem Modell sind die Variablen als Exponenten über den Parametern multiplikativ verknüpft. Wenn in diesem Modell Dummy-Variable eingesetzt werden, dann bleibt für den Wert 1 der jeweilige Parameter unverändert, für den Wert 0 wird der Parameter 1, und wirkt damit nicht auf SI. Durch Logarithmieren läßt sich dieses Modell eine einfache additive Form überführen:

$$\ln(SI) = b_0 + b_1 * f_1 + b_2 * f_2 + \dots + b_n * f_n + e' \quad (15)$$

b_i	$\ln(c_i)$
e'	$\ln(e)$

Das Modell (15) unterscheidet sich vom normalen additiven Ansatz nur durch die logarithmische Transformation der abhängigen Variablen und kann mit linearer Regressionsrechnung parametrisiert werden. Für die richtige Interpretation und eventuell mögliche Anwendung der Modelle ist zu beachten, daß zum konstanten Glied die logarithmische Transponierungsdiskrepanz hinzuzuzählen ist. Da bei den Modellen die Residualvarianz immer kleiner als 0.5 war und die Freiheitsgrade größer 30 waren, kann eine einfache Näherungslösung angewandt werden (FLEWELLING & PIENAAR, 1981):

$$q = 0.5 * s^2 \quad (16)$$

q	logarithmische Transponierungsdiskrepanz
s^2	Varianz der Residuen

Da bei den ersten Modellansätzen die Residuen über den geschätzten Bonitäten nicht homogen waren, mußte eine Gewichtung verwendet werden, welche die niedrigen Bonitäten geringer wichtet als die höheren. Als Gewichte wurden die Kehrwerte der Varianz in Abhängigkeit von den geschätzten Bonitäten (in Klassen) verwendet. Das bedeutet, daß die Regressionen zunächst ungewogen durchgeführt wurden, dann wurden die Gewichte berechnet und die Regression ein zweites mal durchgeführt. Da nach der Berücksichtigung der Heteroskedastizität die Vertrauensintervalle der Koeffizienten im allgemeinen kleiner werden, mußte bei der Durchführung der zweiten

Regression wieder eine schrittweise Vorgangsweise gewählt werden, da möglicherweise vorerst knapp nicht signifikante Variable nun signifikant werden konnten.

Die Verwendung von Bonitäten unterstellt die Unabhängigkeit der Standortparameter von der Zeit. Daher wurde auch bei der Herleitung der klimatologischen Kennwerte auf eine zeitliche Komponente verzichtet. In der Zielsetzung wurde jedoch die Untersuchung von Wachstumstrends und ihre möglichen Auswirkungen in Bonitierungsmodellen angestrebt. Da in den Modellen der Standort über der Zeit konstant gehalten wird, wird das Alter der Bestände als Variable, die als Substitut für eine mögliche Veränderung des Standortes über der Zeit steht, eingesetzt. Diese Vorgangsweise hat einerseits den Vorteil, daß a priori keine kausale Zuordnung der Veränderungen zu bestimmten Ursachen notwendig ist, was nach dem bisherigen Wissenstand schwer möglich wäre. Andererseits ist damit die Erstellung von Zukunftsszenarien (z.B. für die Wirkung einer fortschreitenden Erwärmung) mit diesen Modellen ausgeschlossen.

Wenn nun das Alter als "Standortvariable" in die Modelle eingehen soll, muß ein Altersrahmen festgelegt werden, für den die Modelle parametrisiert werden sollen. Dieser wurde mit 30 bis 140 Jahren bestimmt, da für diesen Bereich Daten zur Parametrisierung der SiMod bzw OhMod zur Verfügung standen und daher das Verhalten dieser Modelle nur in diesem Bereich bekannt ist.

Die Zielsetzung dieser Arbeit umfaßt auch einen Vergleich verschiedener Bonitäts- bzw. Höhenwachstumsfächer auf deren Eignung für Bonitierungsmodelle. Damit müssen die Modelle für die gewählten Straten nicht nur einmal parametrisiert werden, sondern öfter. Dabei ist zunächst interessant, inwieweit sich der singifikante Variablensatz von Standortparametern für die einzelnen Fächer voneinander unterscheidet. Besonderer Wert soll aber auf den Vergleich zwischen den Regressionskoeffizienten für das Bestandesalter, das direkt oder in Form von Wechselwirkungen eingehen kann, gelegt werden. Für diesen Vergleich wird der Parametersatz eines Bonitierungsmodelles, wobei sich das Modell (12) anbietet (siehe Abschnitt 4.2), bei der Regression mit den anderen Bonitierungsmodellen fest vorgegeben, um die Vergleichbarkeit bezüglich der Koeffizienten für das Alter zu verbessern.

5. Analysen und Ergebnisse

Die Beschreibung der Ergebnisse für die fünf Modelle der räumlichen und geologischen Stratifizierungen erfolgt im wesentlichen für jedes Modell getrennt. Eine Zusammenschau der Ergebnisse wird dann im Abschnitt 6 durchgeführt. Um diese möglichst gut interpretieren zu können, werden vergleichbare Modelle angestrebt.

Daher wurden in Vorstudien für die Temperatur, dem in Österreich wichtigsten Standortparameter für das Wachstum, einheitliche Parameter für alle fünf Modelle

gesucht. Zur Wahl standen die Seehöhe (als indirekter Temperaturweiser), die Jahrestemperatur, die Vegetationszeittemperatur, die Dauer der Vegetationszeit und die Temperatursumme in der Vegetationszeit (in Folge als Temperatursumme bezeichnet). Es zeigte sich, daß die einfachen Korrelationskoeffizienten zwischen der Oberhöhenbonität und den einzelnen Temperaturgrößen sehr nahe beisammen liegen, in den multiplen Modellen sind jedoch die partiellen Korrelationen für die Temperatursumme und für die Dauer der Vegetationszeit höher als die partiellen Korrelationen bei den anderen Temperaturgrößen. Die Wahl zwischen Dauer der Vegetationszeit und der Temperatursumme fiel auf zweitere, da die Temperatursumme biologisch die etwas höhere Aussagekraft besitzt. Die anderen Temperaturgrößen wurden bei den schrittweisen Regressionen nicht verwendet.

Ähnlich wie die Vorgangsweise für die Auswahl der Temperaturgrößen wurde auch die Form, in der das Alter in die Modelle eingeht, in Voruntersuchungen festgelegt. Es zeigte sich, daß das Alter in der schrittweisen Regression fast ausschließlich als Wechselwirkung mit einer Temperaturgröße einging, während es dann alleine nicht mehr signifikant war. Um die Modelle einfach zu gestalten, wurde auch für die Wechselwirkungen mit dem Alter die Temperatursumme herangezogen. Um eine flexible Anpassung zu ermöglichen, wurden in allen Modellen die Terme

$$\text{Temperatursumme} \cdot \text{Alter} \quad \text{und} \quad \text{Temperatursumme} / \text{Alter}$$

verwendet und auf Signifikanz getestet. Dabei ergibt sich jedoch das Problem, daß diese beiden Variablen relativ stark interkorreliert sind. In den Vorstudien ergaben sich Variance Inflation Factors für diese beiden Variablen zwischen 5 und 10. Um die Stabilität der Modelle zu prüfen, werden die Modelle zusätzlich auch ohne die Variable *Temperatursumme / Alter* gerechnet, um die Stabilität der Regressionskoeffizienten in den zwei Modellen zu prüfen.

Bei der größtenteils empirischen Vorgangsweise der Parametrisierung kommt der Modellvalidierung eine wichtige Bedeutung zu. Diese wird in zwei Schritten durchgeführt. Zunächst werden die Modelle (71/80) auf die Daten der Periode 86/90 angewendet und die Abweichungen der geschätzten von den beobachteten Bonitäten analysiert. Daraus können Schlußfolgerungen für die Anwendbarkeit der Modelle gezogen werden. In einem zweiten Schritt werden mit den Validierungsdaten eigene Modelle (Validierungsmodelle) parametrisiert und mit den ursprünglichen Modellen verglichen. Dabei werden den Modellen für die Temperatur- und Alterswirkung die gleichen Variablen wie bei der Parametrisierung der Modelle (71/80) vorgegeben. Die Bestimmung von X_{\max} aus (13) wird nicht von den ursprünglichen Modellen übernommen, sondern erfolgt durch die Validierungsdaten selbst. Für die restlichen Parameter wird eine normale schrittweise Regression durchgeführt. Waren Standortparameter knapp nicht signifikant, die sich im ursprünglichen Modell als signifikant erwiesen haben, wurden sie auch in das Validierungsmodelle hereingenommen. Diese Vorgangsweise mit eigenen Validierungsmodellen dient der Verbesserung der biologischen Interpretation. Parameter, die in gleicher oder ähnlicher Weise in beide Modelle eingehen,

können mit größerer Sicherheit als tatsächliche Wirkungen von Standortparametern auf die Oberhöhenbonität interpretiert und analysiert werden, als Parameter, die nur im ursprünglichen Modell vertreten sind. Hier ist zu prüfen, ob es sich nicht nur um Artefakte handelt, die sich aus einer speziellen, numerisch zufälligen Datenstruktur ergeben.

Im folgenden Abschnitt 5.1 werden die Ergebnisse der Regressionen für die einzelnen Straten für die nach Modell (12) abgeleitete Oberhöhenbonität beschrieben. Wie sich im Abschnitt 4.2.2 erwiesen hat, bildet das Modell (12) das Datenmaterial der Hochleistungsbestände am besten ab. Versuche, die Bonitierungsmodelle mit Bonitäten aus der Ertragstafel Fichte-Bayern zu parametrisieren, führte zu niedrigeren Bestimmtheitsmaßen. Somit stand die Verwendung der Bonitäten aus (12) für die Parametrisierung fest.

Im Abschnitt 5.2 werden dann die Bonitäten aller anderen Fächer (Modelle (9.2), (10), (11), Fichte-Bayern und Fichte-Bruck) eingesetzt, um den Einfluß des verwendeten Bonitätsfächers auf das Ergebnis der Parametrisierung der Bonitierungsmodelle überprüfen zu können. In Vorstudien hat sich herausgestellt, daß der signifikante Variablensatz für die verschiedenen Fächer nahezu ident ist. Daher wurden die Modelle mit dem gleichen Variablensatz, wie er sich für die Zielvariable Bonität aus Modell (12) ergeben hat, parametrisiert. Somit können die Unterschiede der Regressionskoeffizienten für jeweils gleiche Variable gut interpretiert werden, wobei vor allem auf jene Variablen Wert gelegt wird, die das Alter enthalten.

5.1 Ergebnisse der Modelle für die Oberhöhenbonität in Abhängigkeit vom Standort

5.1.1 Bonitierungsmodell für silikatische Böden für die Alpen und das Alpenvorland ohne Alpenostrand (Silikat-Alpen)

Dieses große Stratum umfaßt Standorte auf silikatischen Festgestein ohne Pseudogley in den Wuchsgebieten der Innentalen, Zwischenalpen, nördlichen und südlichen Randalpen und des Alpenvorlandes. Insgesamt stehen dafür 1110 Oberhöhenbestände zur Verfügung. Versuche, dieses große Gebiet zu unterteilen, waren nicht erfolgreich, da sich entweder die Modelle vom Gesamtmodell nicht wesentlich unterscheiden haben, oder, wie für das Alpenvorland, zu wenige Daten für ein eigenes Modell vorhanden waren.

Die Ergebnisse der Parametrisierung sind in Tabelle 33 angeführt. Hier sind neben den Regressionskoeffizienten die standardisierten Koeffizienten (Beta-Werte) angegeben, um den Einfluß der einzelnen Variablen auf die Oberhöhenbonität untereinander vergleichen zu können.

Im linken Teil sind die Ergebnisse des Modelles inklusive der Variablen Temperatursumme / Alter angeführt, im rechten Teil die Ergebnisse für das Modell ohne dieser Variablen.

In das Modell gehen fünf metrische Variable und fünf Dummy-Variable ein. Insgesamt erklärt das Modell 53% der Gesamtvariation. Die größte Wirkung auf die

Tabelle 33:

Ergebnisse für das Modell (71/80) Silikat Alpen, Einheit der Zielvariablen:

$\ln(\text{OhBon})$ in Metern, * ... mit Berücksichtigung der logarithmischen Transponierungsdiskrepanz, $T_{\text{sum}} 2600 \dots (\text{Temperatursumme} - 2600)^2$, Alt ... Alter, $\text{Sin}(\text{Ex}-45) \dots \text{Sin}(\text{Exposition}-45) \cdot \text{Tan}(\text{Neigung})$, $R^2 \dots$ adjustiertes Bestimmtheitsmaß, Std. Err. Est. ... Standardfehler der Schätzung, N ... Anzahl der Datensätze, Koeff. ... Regressionskoeffizient, Sig. T ... Signifikanz von T, VIF ... Variance Inflation Factor

Variable	Modell mit Temperatursumme / Alter				Modell ohne Temperatursumme / Alter			
	$R^2 = 0.53$	Std Err. Est. = 0.12	N = 1110		$R^2 = 0.53$	Std Err. Est. = 0.12	N = 1110	
Variable	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF
Konstante	3.971	-	0.000	-	3.786	-	0.000	-
Konstante*	3.978	-	-	-	3.793	-	-	-
Tsum 2600	-2.24E-7	-0.84	0.000	6.3	-1.79E-7	-0.68	0.000	1.3
Tsum*Alt	-2.28E-6	-0.62	0.000	5.3	-1.72E-6	-0.47	0.000	1.4
Tsum/Alt	-2.39E-3	-0.19	0.000	6.3	-	-	-	-
Sin(Ex-45)	0.024	0.05	0.027	1.0	0.024	0.05	0.026	1.0
Neigung	4.33E-4	0.05	0.021	1.1	5.44E-4	0.07	0.034	1.1
Unterhang	0.030	0.05	0.016	1.1	0.029	0.05	0.020	1.1
fr. Kräuter	0.134	0.13	0.000	1.1	0.133	0.13	0.000	1.1
Oxalis	0.086	0.24	0.000	1.3	0.089	0.25	0.000	1.3
Hochstaud.	0.087	0.08	0.000	1.1	0.092	0.08	0.000	1.1
mäß. trock.	-0.039	-0.06	0.008	1.1	-0.040	-0.06	0.008	1.1

Bonität hat die Temperatursumme und deren Wechselwirkungen mit dem Alter. Relativ knapp signifikant sind der Sinus der Exposition und die Neigung. Von den Dummy-Variablen bewirkt der Vegetationstyp frische Kräuter die größte Verschiebung des Bonitätsniveaus, daneben geht der Oxalis- und der Hochstaudentyp ein. Vom Relief geht der Unterhang positiv ein, der mäßig frische Wasserhaushalt hat einen negativen Koeffizienten. Auffallend ist, daß keine Dummy-Variable für den Bodentyp und auch keine Ariditätskennziffer signifikant sind.

Die Regressionskoeffizienten im Modell ohne die Variable *Temperatursumme / Alter* (rechter Teil der Tab. 33) sind mit Ausnahme der Koeffizienten von Variablen, die die Temperatursumme beinhalten, nahezu ident mit dem linken Modell. Der große Unterschied für die Variablen mit der Temperatursumme ist selbstverständlich, von den anderen Koeffizienten unterscheidet sich noch am meisten jener der Neigung. Insgesamt ist das Modell jedoch stabil gegenüber dem Weglassen einer Variablen. Dies ist insofern von Bedeutung, als die VIF's für die Temperatursummenvariablen im linken Modell auf Multikollinearität hinweisen, die, ohne große Auswirkungen auf das Gesamtmodell, durch Weglassen einer Variablen behoben werden kann. Das linke Modell mit den Interkorrelationen ist später auch für die Interpretation der Wirkung des Alters in Bonitierungsmodellen von Bedeutung.

Die Residuenstudie, wie sie in Abb. 21 dargestellt ist, soll weitere Informationen über die Qualität des Modells liefern. Hier werden die Residuen über den Einfluß-

größten Alter, Temperatursumme und Vegetationszeitniederschlag aufgetragen und den Residuen der Validierung (beobachtete Bonitäten der Daten (86/90) minus nach Modell (71/80) geschätzten Bonitäten) gegenübergestellt. Es fällt auf, daß die Residuen der Validierung eher in den positiven Bereich fallen, was sich auch in einem signifikanten Ergebnis eines paarweisen t-Tests für beobachtete versus geschätzte Bonitäten der Validierungsdaten zeigt. Ansonst ist der Verlauf der Residuen über den verschiedenen Einflußgrößen zufriedenstellend. Keine der abgebildeten Residuenverläufe zeigt einen linearen Trend, was durch Regressionsanalysen der Residuen bestätigt wird. Der unregelmäßige Verlauf der Residuen über dem Alter im Modell (71/80), tritt bei der Validierung nicht auf. Es wurde daher auch nicht versucht, diesen Verlauf durch den Einsatz eines höhergradigen Polynoms zu entfernen. Dies würde auch auf Kosten der Vergleichbarkeit mit den anderen Modellen gehen. Die Validierungsresiduen lassen über der Temperatursumme eine leichte S-Form erkennen. Diese ist bei später beschriebenen Modellen deutlicher, und wird dort genauer beschrieben werden.

In der Tabelle 34 sind in gleicher Art wie in Tabelle 33 die Ergebnisse der Parametrisierung des Validierungsmodelles aufgelistet. Das Bestimmtheitsmaß des Validierungsmodelles ist mit 0.52 praktisch gleich groß wie jenes des Modelles (71/80). Es zeigt sich auch, daß der signifikante Variablensatz ähnlich jenem des Modelles (71/80) ist. Auch hier geht keine Ariditätskennziffer und kein Bodentyp ein. Die Temperatursumme besitzt mit 2800 ein ähnliches Maximum wie (71/80). Die eingehenden Vegetationstypen sind ident, für das Relief ist statt dem Unterhang der

Tabelle 34:

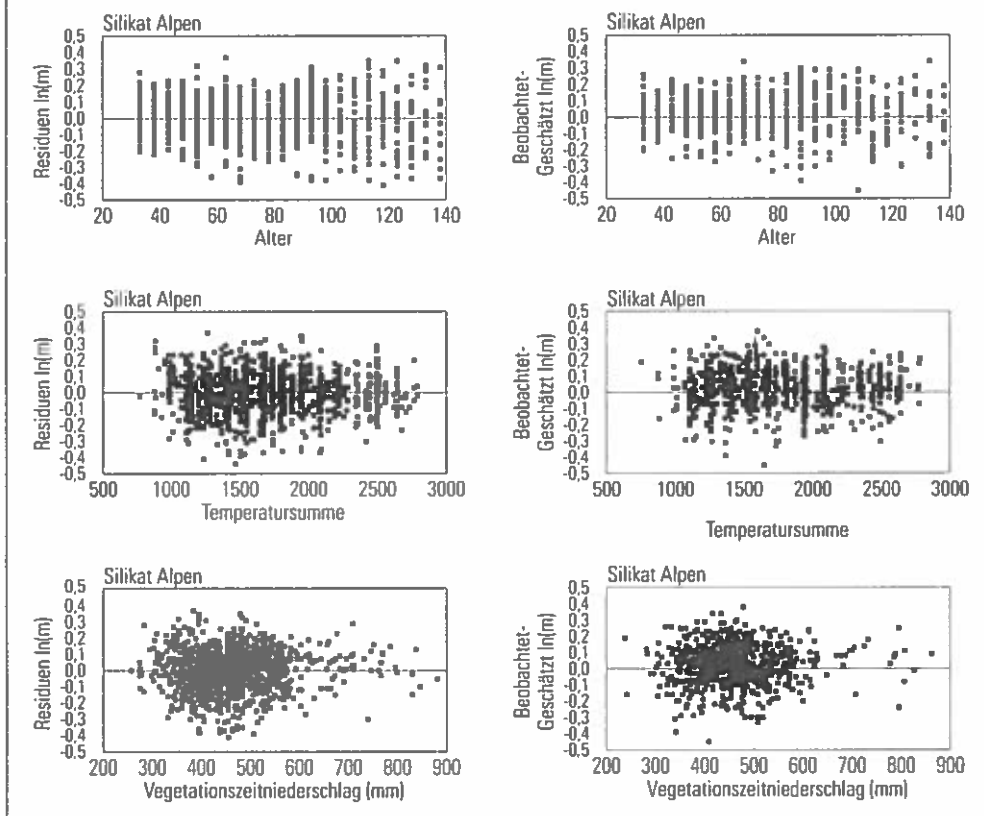
Ergebnisse für das Validierungsmodell Silikat-Alpen Einheit der Zielvariablen:

*ln(OhBon) in Metern, * ... mit Berücksichtigung der logarithmischen Transponierungsdiskrepanz, Tsum 2800 ... (Temperatursumme - 2800)², Alt ... Alter, Cos(Ex) ... Cosinus(Exposition)*Tangens(Neigung), andere Bezeichnungen wie in Tabelle 33*

Variable	Modell mit Temperatursumme / Alter				Modell ohne Temperatursumme / Alter			
	R ² = 0.52	Std Err. Est = 0.11	N = 711		R ² = 0.50	Std Err. Est = 0.12	N = 711	
Variable	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF
Konstante	4.163	-	0.000	-	3.801	-	0.000	-
Konstante*	4.170	-	-	-	3.808	-	-	-
Tsum 2800	-1.99E-7	-0.99	0.000	6.5	-1.26E-7	-0.63	0.000	1.2
Tsum*Alt	-2.57E-6	-0.75	0.000	5.3	-1.46E-6	-0.42	0.000	1.2
Tsum/Alt	-4.50E-3	-0.43	0.000	7.4	-	-	-	-
Cos(Ex)	-0.024	-0.05	0.068	1.0	-0.020	-0.04	0.147	1.0
Oberhang	-0.076	0.07	0.008	1.0	-0.080	0.07	0.006	1.0
fr. Kräuter	0.087	0.08	0.002	1.1	0.072	0.07	0.011	1.1
Oxalis	0.087	0.25	0.000	1.1	0.089	0.27	0.000	1.1
Hochstaud.	0.086	0.08	0.004	1.1	0.075	0.07	0.013	1.0
sehr frisch	0.053	0.04	0.105	1.0	0.061	-0.05	0.072	1.0

Abbildung 21:

Residuen über dem Alter, der Temperatursumme und dem Vegetationszeitniederschlag für das Modell Silikat-Alpen. Links: Residuen des Modelles (71/80), rechts: Residuen der Validierung



Oberhang im Validierungsmodell signifikant. Statt dem mäßig frischen Wasserhaushalt für das Modell (71/80) hat hier der sehr frische Wasserhaushalt die deutlich höchste Signifikanz unter den Wasserhaushaltsvariablen, wobei sich das Vorzeichen des Regressionskoeffizienten, wie auch beim Relief, umdreht. Ein Unterschied besteht für die Wirkung der Exposition. Im Modell (71/80) geht der Sinus der Exposition minus 45° ein, im Validierungsmodell der Kosinus mit negativem Vorzeichen. Die Neigung geht im Validierungsmodell gar nicht ein. Für die Interpretation dieses nicht übereinstimmenden Ergebnisses ist zu berücksichtigen, daß die Wirkung der Exposition in beiden Modellen einen niedrigen Beta-Wert besitzt.

Die Regressionskoeffizienten der einzelnen Variablen weichen für die beiden Modelle in unterschiedlichem Ausmaß voneinander ab. Diese Tatsache wird bei der Interpretation im Abschnitt 6.2 näher diskutiert werden.

Die Stabilität gegenüber der leichten Multikollinearität des Validierungsmodelles kann auf die gleiche Art wie für das Modell (71/80) gezeigt werden (Tab. 34, rechter Teil). Auch in diesem Modell sind die Regressionskoeffizienten der Variablen nur gering von den Interkorrelationen beeinflusst.

5.1.2 Bonitierungsmodell für silikatische Böden am Alpenostrand (Silikat-Alpenostrand)

Dieses Gebiet umfaßt die Hauptwuchsgebiete 5 (östliche Randalpen) und 8 (sommerwarmer Osten), wobei nur Standorte auf silikatischem Festgestein ausgenommen der Pseudogleye in diesem Modell verwendet werden. Es wird mit Silikat-Alpenostrand abgekürzt, da im sommerwarmen Osten nur sehr wenige Fichtenoberhöhenbestände in dieses Stratum fallen. Die Anzahl der Oberhöhenbestände ist in diesem viel kleineren Gebiet im Vergleich zum Modell Silikat-Alpen mit 289 Beständen relativ gering. Es wurde vom letzten Modell abgetrennt, da die Fichte hier nahe ihrer östlichen Verbreitungsgrenze in Österreich liegt, und durch die geringe Anzahl von Oberhöhenbeständen in diesem Gebiet in einem Gesamtmodell der Alpen den Zusammenhängen an der östlichen Verbreitungsgrenze nicht ausreichend Rechnung getragen würde.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 35 in gleicher Art für das letzte Modell zusammengefaßt. Das Bestimmtheitsmaß ist mit 0.66 höher als im Modell Silikat-Alpen. Wie im vorherigen Modell Silikat-Alpen hat die Temperatursumme die größte Wirkung auf die Bonität (höchstes Beta für Tsum 3000). Das maximale Wachstum liegt bei großen Temperatursummen, wobei eine Interpretation die Tatsache berücksichtigen muß, daß auch der hier eingehende Vegetationszeitniederschlag einen Trend über der Seehöhe aufweist. Daher kann das sich in der Regression ergebende Maximum für die

Tabelle 35:

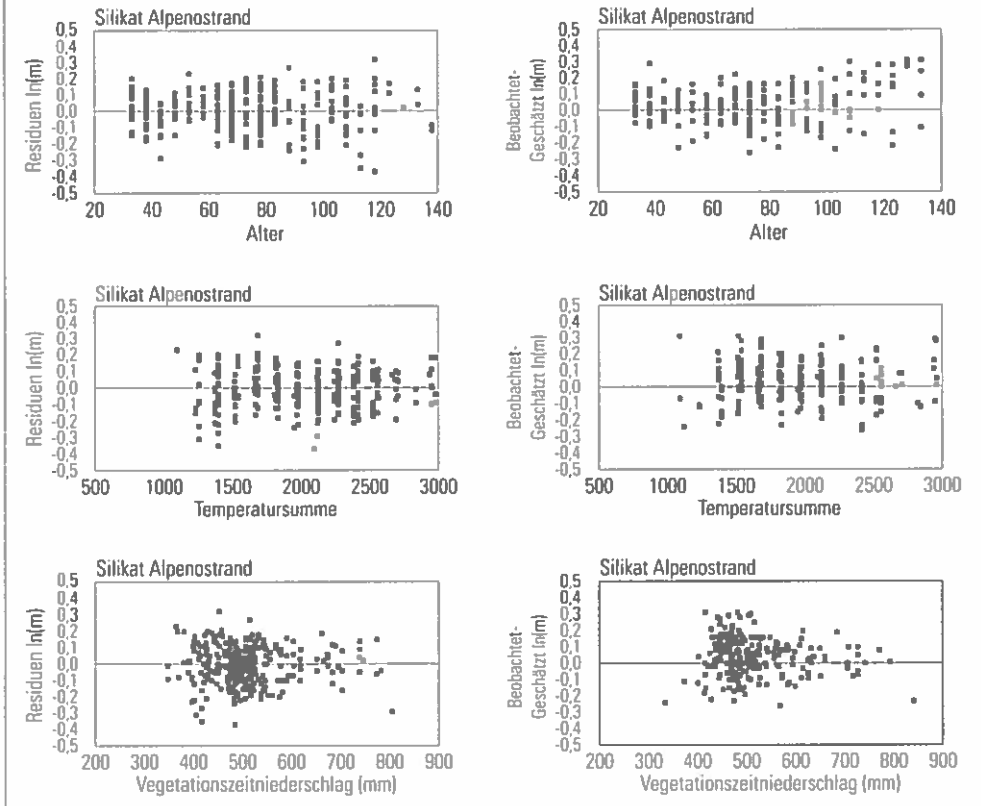
Ergebnisse für das Modell (71/80) Silikat-Alpenostrand, Einheit der Zielvariablen:

*ln(OhBon) in Metern, * ... mit Berücksichtigung der logarithmischen Transponierungsdiskrepanz, Tsum 3000 ... (Temperatursumme - 3000)², Alt ... Alter, Cos(Ex) ... Cos(Exposition)*Tan(Neigung), Nied. 780 ... (Vegetationszeitniederschlag - 780)², andere Bezeichnungen wie in Tabelle 33*

	Modell mit <i>Temperatursumme</i> / <i>Alter</i>				Modell ohne <i>Temperatursumme</i> / <i>Alter</i>			
	R ² = 0.66	Std Err. Est = 0.11	N = 289		R ² = 0.65	Std Err. Est = 0.11	N = 289	
Variable	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF
Konstante	4.261	-	0.000	-	3.877	-	0.000	-
Konstante*	4.267	-	-	-	3.883	-	-	-
Tsum 3000	-2.16E-7	-0.93	0.000	8.9	-1.39E-7	-0.60	0.000	1.3
Tsum*Alt	-2.77E-6	-0.71	0.000	6.9	-1.64E-6	-0.42	0.000	1.2
Tsum/Alt	-4.59E-3	-0.38	0.000	10.2	-	-	-	-
Cos(Ex)	-0.051	-0.09	0.008	1.0	-0.055	-0.10	0.005	1.0
Nied. 780	-8.16E-7	-0.16	0.000	1.3	-9.96E-7	-0.20	0.000	1.2
fr. Kräuter	0.155	0.20	0.000	1.1	0.150	0.20	0.000	1.3
Oxalis	0.131	0.35	0.000	1.6	0.132	0.35	0.000	1.6
Vergrasung	0.104	0.14	0.000	1.2	0.093	0.12	0.001	1.2
Hochstaud.	0.169	0.16	0.000	1.2	0.181	0.17	0.000	1.2
mäß. trock.	-0.063	-0.11	0.004	1.2	-0.063	-0.11	0.005	1.2

Abbildung 22:

Residuen über dem Alter, der Temperatursumme und dem Vegetationszeitniederschlag für das Modell Silikat-Alpenostrand. Links: Residuen des Modelles (71/80), rechts: Residuen der Validierung



Temperatursumme nicht für sich alleine interpretiert werden. Im Unterschied zum Modell Silikat-Alpen geht der Vegetationszeitniederschlag hochsignifikant ein, womit die Lage nahe der Trockengrenze für die Fichte abgebildet wird. Die Exposition geht mit dem Kosinus und negativem Vorzeichen relativ deutlich ein. Für die Vegetationstypen und den Wasserhaushalt ist das Modell dem vorhergehenden recht ähnlich.

Das Modell erweist sich gegenüber der durch die zwei Wechselwirkungen von Temperatursumme und Alter verursachten Multikollinearität als stabil. Die Regressionskoeffizienten der Variablen, die nicht die Temperatursumme oder das Alter enthalten, werden durch das Weglassen einer interkorrelierten Variablen wenig beeinflusst.

In der Abbildung 22 sind wieder die Residuen über verschiedenen Einflußfaktoren dargestellt. Wie schon im letzten Modell liegen die Validierungsresiduen im Schnitt über der Null-Linie, die entlogarithmierte Differenz zwischen beobachteten und geschätzten Mittelwerten ist mit 1.1 m im paarweisen Test hochsignifikant. Der Verlauf der Validierungsresiduen zeigt über dem Alter eine Zunahme unter und ober-

halb von etwa 60 Jahren, ein quadratischer Ausgleich dieser Residuen ist hochsignifikant. Wie schon im letzten Modell ist wieder ein S-förmiger Verlauf der Validierungsresiduen über der Temperatursumme vorhanden, der hier in einem kubischen Ausgleich signifikant ist. Die anderen Residuen zeigen in Regressionen über den Einflußfaktoren keine signifikanten Koeffizienten.

Die Ergebnisse der Parametrisierung der Validierungsdaten sind in Tabelle 36 aufgelistet. Das Bestimmtheitsmaß ist mit 0.66 gleich groß wie im Modell (71/80). Der deutlichste Unterschied zu dem Modell (71/80) liegt im Einfluß des Alters, was schon aus der Residuenstudie hervorgegangen ist. Die Variable *Temperatursumme / Alter* ist im Modell (71/80) signifikant mit negativen Vorzeichen. Im Validierungsmodell ist diese Variable für das 95% Niveau knapp nicht signifikant, wobei aber das Vorzeichen positiv ist. Die maximale Bonität liegt hier bei der Temperatursumme 2600 und damit unter dem Wert des Modelles (71/80), das Maximum für den Niederschlag liegt mit 760 mm etwas höher. Bei den Vegetationstypen geht die Vergrasung nicht in das Modell ein, die Regressionskoeffizienten der anderen Typen sind niedriger. Der Einfluß der Exposition ist in beiden Modellen ähnlich, wobei im Validierungsmodell noch zusätzlich die Neigung eingeht.

Das im Modell auftretende Problem der Multikollinearität hat analog zu den anderen Modellen keinen Einfluß auf die Modellstabilität.

Tabelle 36:

Ergebnisse für das Validierungsmodell Silikat-Alpenostrand, Einheit der Zielvariablen:

*ln(OhBon) in Metern, * ... mit Berücksichtigung der logarithmischen Transponierungsdiskrepanz, Tsum 2600 ... (Temperatursumme - 2600)2, Alt ... Alter, Cos(Ex) ... Cos(Exposition)*Tan(Neigung), Nied. 780 ... (Vegetationszeitniederschlag - 620)2, andere Bezeichnungen wie in Tabelle 33*

	Modell mit Temperatursumme / Alter				Modell ohne Temperatursumme / Alter			
	R ² = 0.66	Std Err. Est = 0.10	N = 209		R ² = 0.66	Std Err. Est = 0.10	N = 209	
Variable	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF
Konstante	3.603	-	0.000	-	3.731	-	0.00	-
Konstante*	3.608	-	-	-	3.736	-	-	-
Tsum 2600	-1.53E-7	-0.43	0.000	4.6	-1.96E-7	-0.56	0.000	1.6
Tsum*Alt	-8.80E-7	-0.30	0.000	4.3	-1.26E-6	-0.43	0.000	1.1
Tsum/Alt	1.59E-3	0.17	0.084	5.7	-	-	-	-
Cos(Ex)	-0.066	-0.12	0.005	1.0	-0.063	-0.12	0.007	1.1
Neigung	1.71E-3	-0.18	0.000	1.2	1.57E-3	0.17	0.000	1.1
Nied. 620	-2.68E-6	-0.19	0.000	1.4	-2.49E-6	-0.17	0.000	1.4
fr. Kräuter	0.075	0.10	0.034	1.2	0.090	0.12	0.009	1.2
Oxalis	0.083	0.25	0.000	1.3	0.085	0.26	0.000	1.3
Hochstaud.	0.067	0.05	0.200	1.0	0.070	0.05	0.188	1.0
mäß. trock.	-0.049	-0.09	0.035	1.1	-0.048	-0.09	0.043	1.1

5.1.3 Bonitierungsmodell für das Mühl- und das Waldviertel (Mühl/Waldviertel)

In diesem Modell werden alle Standorte des Mühl- und Waldviertels zusammengefaßt. Eine Trennung zwischen silikatischem Festgestein und Lockersedimentböden bzw. Pseudogleyen wird nicht vorgenommen, da mit Sicherheit alle Böden der böhmischen Masse silikatisch sind und daher keine Notwendigkeit besteht, eine intermediäre Gruppe auszuscheiden. Damit stehen 486 Fichtenoberhöhenbestände für das Modell zur Verfügung. Dieses Gebiet unterscheidet sich von dem vorhergehenden, daß es bei teilweise noch geringeren Vegetationszeitniederschlägen deutlich kühler ist als der Alpenostrand.

Tabelle 37:
Ergebnisse für das Modell (71/80) Mühl/Waldviertel, Einheit der Zielvariablen:
ln(OhBon) in Metern, * ... mit Berücksichtigung der logarithm. Transponierungsdiskrepanz,
Tsum 2400 ... (Temperatursumme - 2400)2, *Alt* ... Alter, *Cos(Ex-45)* ... *Cos(Exposition-45°)*Tan*
(Neigung), *Arid. 5.1* ... (Temperatursumme / Vegetationszeitniederschlag - 5.1)2, *Boden 10* ... Braunerde
und Parabraunerde auf Löß, andere Bezeichnungen wie in Tabelle 33

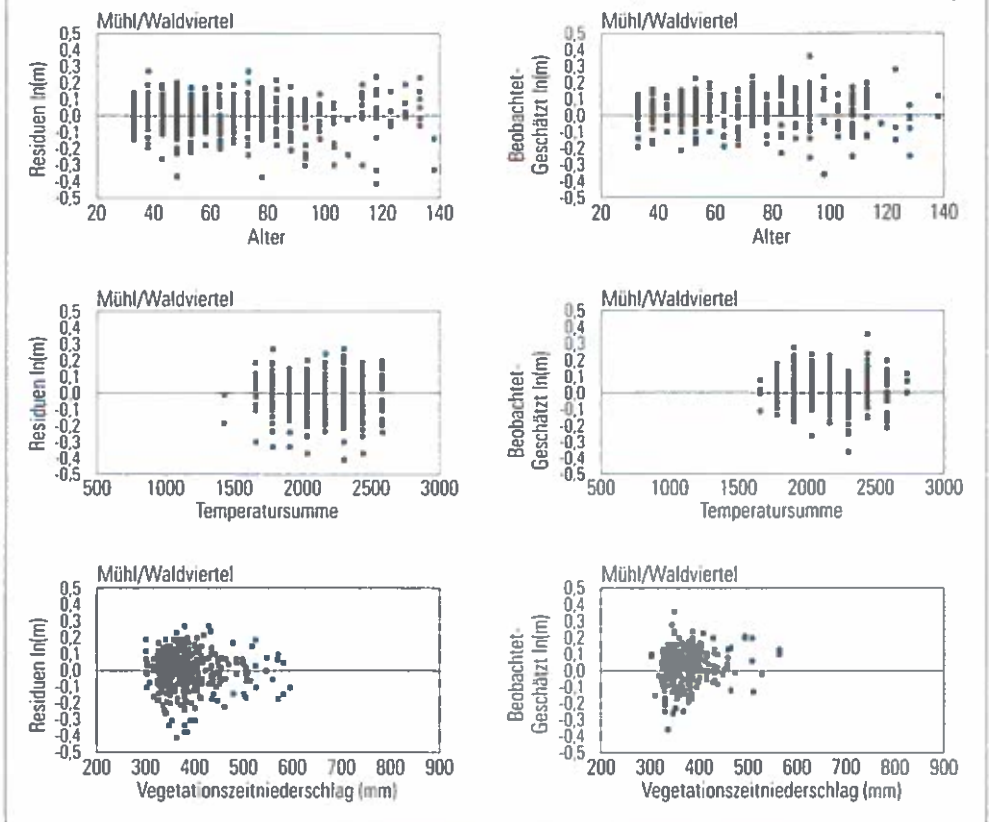
Variable	Modell mit <i>Temperatursumme</i> / <i>Alter</i>				Modell ohne <i>Temperatursumme</i> / <i>Alter</i>			
	R ² = 0.46	Std Err. Est = 0.09	N = 486		R ² = 0.46	Std Err. Est = 0.09	N = 486	
	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF
Konstante	3.760	-	0.000	-	3.751	-	0.000	-
Konstante*	3.764	-	-	-	3.756	-	-	-
Tsum 2400	-2.53E-7	-0.29	0.000	2.8	-2.48E-7	-0.28	0.000	1.3
Tsum*Alt	-1.62E-6	-0.60	0.000	6.1	-1.59E-6	-0.59	0.000	1.0
Tsum/Alt	-1.14E-4	-0.01	0.883	7.0	-	-	-	-
Cos(Ex-45)	-0.053	-0.07	0.038	1.0	-0.053	-0.07	0.037	1.0
Arid. 5.1	-9.65E-3	-0.11	0.005	1.5	-9.77E-3	-0.12	0.004	1.4
Boden 10	0.053	0.11	0.005	1.3	0.053	0.11	0.005	1.3
Oberhang	-0.085	-0.09	0.007	1.0	-0.085	-0.09	0.007	1.0
Unterhang	0.064	0.10	0.006	1.1	0.063	0.10	0.006	1.1
Oxalis	0.068	0.26	0.000	1.1	0.068	0.27	0.000	1.1
Hochstaud.	0.063	-0.11	0.001	1.1	0.063	0.11	0.001	1.1

In der Tabelle 37 sind die Ergebnisse der Parametrisierung angeführt. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0.46 und ist damit niedriger als bei den zwei vorherigen Modellen. Die Variablen mit der *Temperatursumme* haben auch hier die größte Wirkung auf die Oberhöhenbonität. Im Vergleich zu den vorherigen Modellen hat jedoch statt der *Temperatursumme* die abgeleitete Variable *Temperatursumme* * *Alter* den höchsten Wert für Beta, während die Variable *Temperatursumme* / *Alter* nicht signifikant ist. Der Vegetationszeitniederschlag geht direkt knapp nicht ein, statt dessen ist die Ariditätskennziffer (*Temperatursumme* / Vegetationszeitniederschlag) signifikant. Das Relief geht mit Ober- und Unterhang ein. Zwei Dummy-Variable für die Vegetation (*Oxalis* und *Hochstauden*) schieben das Bonitätsniveau nach oben. Die beiden Modelle mit und ohne der Variablen *Temperatursumme* / *Alter* unterscheiden sich für das Mühl/Waldviertel kaum, da diese Variable nicht signifikant ist.

Die Abbildung 23 zeigt wieder die Residuen über den Einflußgrößen Alter, Temperatursumme und Vegetationszeitniederschlag. Auch hier sind, wie in den anderen Modellen, die beobachteten Werte signifikant höher als die geschätzten. Der S-förmige Verlauf der Validierungsresiduen über der Temperatursumme ist auch hier optisch gut zu erkennen. Dieser weist auf eine andere Wirkung der Temperatursumme, ev. gemeinsam mit dem Alter, im Validierungsmodell hin. Die anderen Residuenplots zeigen keine auffallenden Trends.

Abbildung 23:

Residuen über dem Alter, der Temperatursumme und dem Vegetationszeitniederschlag für das Modell Mühl/Waldviertel. Links: Residuen des Modelles (71/80), rechts: Residuen der Validierung



Die Ergebnisse des Validierungsmodelles sind in der Tabelle 38 angeführt. Das Bestimmtheitsmaß ist mit 0.49 geringfügig über dem des Modells (71/80). Statt der Ariditätskennzahl geht im Validierungsmodell der Vegetationszeitniederschlag ein. Da dieser im Modell (71/80) knapp nicht signifikant war, wurde ausprobiert, ob das Modell (71/80) trotzdem mit dem Validierungsmodell vergleichbar ist. Dafür wurde mit den Daten (71/80) ein Modell gerechnet, bei dem der Vegetationszeitniederschlag in das Modell gezwungen wurde. In einem Vergleich der Regressionskoeffizienten zwischen den

Modellen mit der Aridität bzw. mit dem Vegetationszeitniederschlag stellte sich heraus, daß die Verwendung der zwei verschiedenen Feuchtekennzahlen einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Regressionskoeffizienten der anderen Variablen hat. Das bedeutet, daß das Validierungsmodell mit Vegetationszeitniederschlag mit dem Modell (71/80) in der ursprünglichen Form (mit Ariditätskenzahl) vergleichbar ist.

Wie die Validierungsresiduen gezeigt haben, ist der Vergleich der Regressionskoeffizienten für die Temperatursumme besonders wichtig. Diese hat im Validierungsmodell absolut einen deutlich kleineren Regressionskoeffizienten als im Modell (71/80), während die Wechselwirkung *Temperatursumme * Alter* einen ähnlich großen Koeffizient besitzt. Diese Zusammenhänge sind auch in den vorhergehenden Modellen feststellbar, wo die Plots der Validierungsresiduen über der Temperatursumme ebenfalls einen S-förmigen Verlauf aufweisen. In diesem Zusammenhang wird bei der Interpretation auch zu beachten sein, daß im Modell Mühl/Waldviertel die Temperatursumme im Vergleich zur Wechselwirkung mit dem Alter einen deutlich geringeren Beta-Wert hat. Damit unterscheidet es sich von den vorangehenden Modellen, wo jeweils die Temperatursumme allein den größten Beta-Wert hat.

Tabelle 38:
*Ergebnisse für das Validierungsmodell Mühl/Waldviertel, Einheit der Zielvariablen: ln(OhBon) in Metern, * ... mit Berücksichtigung der logarithmischen Transponierungsdiskrepanz, Tsum 2300 ... (Temperatursumme - 2300)2, Alt ... Alter, Nied. 550 ... (Vegetationszeitniederschlag - 550)2, andere Bezeichnungen wie in Tabelle 33*

	Modell mit <i>Temperatursumme</i> / <i>Alter</i>				Modell ohne <i>Temperatursumme</i> / <i>Alter</i>			
	R ² = 0.49	Std Err	Est = 0.09	N = 328	R ² = 0.49	Std Err.	Est = 0.09	N=328
Variable	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF
KKonstante	3.841	-	0.000	-	3.784	-	0.000	-
Konstante*	3.845	-	-	-	3.788	-	-	-
Tsum 2300	-1.92E-7	-0.14	0.008	1.7	-1.41E-7	-0.10	0.013	1.0
Tsum*Alt	-1.61E-6	-0.67	0.000	3.8	-1.43E-6	-0.59	0.000	1.1
Tsum/Alt	-7.71E-4	-0.09	0.257	4.0	-	-	-	-
Nied. 550	-1.89E-6	-0.17	0.000	1.0	-1.88E-6	-0.17	0.000	1.0
Oberhang	-0.044	-0.06	0.0962	1.0	-0.044	-0.07	0.098	1.0
fr. Kräuter	0.123	0.12	0.004	1.3	0.119	0.11	0.006	1.0
Oxalis	0.090	0.35	0.000	1.1	0.089	0.34	0.000	1.1
Hochstaud.	0.048	0.08	0.043	1.1	0.045	0.08	0.054	1.1

Der Bodentyp 10 und die Exposition gehen im Validierungsmodell nicht ein. Der Kosinus der Exposition - 45° hat zwar unter den Expositionstransformationen die relativ größte Signifikanz, sie ist aber mit 0.25 gering. Auch beim Relief sind die Zusammenhänge im Validierungsmodell schwächer ausgeprägt als im Modell (71/80). Bei den Vegetationstypen geht zusätzlich zum Oxalis- und zum Hochstaudentyp noch der frische Kräutertyp ein.

Insgesamt zeigt das Validierungsmodell für das Mühl-/Waldviertel im Vergleich zu den anderen beiden Modellen auf Silikat die größten Abweichungen vom Modell (71/80), was für die Interpretation des Modelles von Bedeutung ist.

5.1.4 Bonitierungsmodell für intermediäre Böden ohne Mühl- und Waldviertel (Intermediär)

In diesem Modell werden die Lockersedimentbraunerden und die Pseudogleye in ganz Österreich mit Ausnahme des Mühl- und Waldviertels zusammengefaßt. Diese Gruppe ist entstanden, da für diese Böden durch die Inventurerhebung keine eindeutige Zuordnung zu Silikat oder Karbonat erfolgt ist. In der Periode 71/80 wurden in diesem Stratum 467 Fichtenoberhöhenbestände aufgenommen, von denen die meisten außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes der Fichte liegen.

In der Tabelle 39 sind die Ergebnisse der Parametrisierung des Modelles angeführt. Das Bestimmtheitsmaß ist mit 0.38 gering. Das Maximum für die Temperatursumme liegt bei 3400 und damit außerhalb der vorkommenden Temperatursummen, die Variable *Temperatursumme/Alter* ist nicht signifikant. Von den metrischen Variablen sind noch die Ariditätskennziffer *Temperatursumme/Vegetationszeitniederschlag* und der Sinus der Exposition signifikant. Die Vegetationstypen gehen ähnlich wie in den anderen Modellen ein.

Wie in den anderen Modellen auch, sind die beobachteten Oberhöhenbonitäten für die Validierungsdaten höher als die geschätzten (Abbildung 24). Die Validierungsresiduen zeigen über der Temperatursumme wieder einen leicht S-förmigen Verlauf.

Tabelle 39:

Ergebnisse für das Modell (71/80) Intermediär, Einheit der Zielvariablen:

ln(OhBon) in Metern, * ... mit Berücksichtigung der logarithmischen Transponierungsdiskrepanz, *Tsum 3400* ... $(\text{Temperatursumme} - 3400)^2$, *Alt* ... Alter, *Sin(Ex)* ... $\text{Sin}(\text{Exposition}) \cdot \text{Tan}(\text{Neigung})$, *Arid. 3.0* ... $(\text{Temperatursumme} / \text{Vegetationszeitniederschlag} - 3.0)^2$, *Seichtgr.* ... Gründigkeit bis 30 cm, andere Bezeichnungen wie in Tabelle 33

Variable	Modell mit <i>Temperatursumme / Alter</i>				Modell ohne <i>Temperatursumme / Alter</i>			
	$R^2 = 0.38$	Std Err. Est = 0.10	N = 467		$R^2 = 0.38$	Std Err. Est = 0.10	N = 467	
Variable	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF
Konstante	3.822	-	0.000	-	3.772	-	0.000	-
Konstante*	3.827	-	-	-	3.777	-	-	-
Tsum 3400	-5.90E-8	-0.44	0.000	5.3	-5.28E-8	-0.39	0.000	1.7
Tsum*Alt	-1.37E-6	-0.60	0.000	7.0	-1.24E-6	-0.54	0.000	1.1
Tsum/Alt	-5.32E-4	-0.07	0.460	8.3	-	-	-	-
Sin(Ex)	0.059	0.08	0.025	1.0	0.060	0.08	0.022	1.0
Neigung	6.85E-4	0.09	0.023	1.3	6.95E-4	0.10	0.021	1.3
Arid. 3.0	-4.48E-3	-0.15	0.001	1.6	-4.75E-3	-0.16	0.000	1.5
fr. Kräuter	0.042	0.10	0.030	1.3	0.043	0.09	0.026	1.3
Oxalis	0.068	0.27	0.000	1.4	0.069	0.26	0.000	1.4
Hochstaud.	0.048	0.08	0.049	1.2	0.049	0.08	0.041	1.1

Auffallend ist die Krümmung des Verlaufes der Validierungsresiduen über dem Vegetationszeitniederschlag, wobei der Regressionskoeffizient für einen quadratischen Ausgleich der Residuen aber nicht signifikant ist.

Die Ergebnisse der Parametrisierung des Validierungsmodelles zeigen für einige Variable Unterschiede auf. Schon das Bestimmtheitsmaß ist mit 0.34 deutlich unter dem ohnehin schon geringen Maß des Modelles (71/80). Bei diesem geringen Erklärungspotential geht die Temperatursumme und die Ariditätskennziffer nur mehr quadratisch ein und nicht in der Wirkungstransformation nach (13). Die Variable *Temperatursumme / Alter* ist im Gegensatz zum Modell (71/80) signifikant. Die Vegetationstypen und der Sinus der Exposition gehen in ähnlicher Form wie im Modell (71/80) ein. Die Seichtgründigkeit mit dem auffallend niedrigen Regressionskoeffizient im ursprünglichen Modell geht im Validierungsmodell nicht mehr ein. Dafür sind der Oberhang und der sehr frische Wasserhaushalt signifikant. Trotz des niedrigen Bestimmtheitsmaßes ist auch das Validierungsmodell gegenüber der Multikollinearität stabil, wie der Vergleich der beiden Modelle in Tabelle 40 zeigt.

Abbildung 24:

Residuen über dem Alter, der Temperatursumme und dem Vegetationszeitniederschlag für das Modell Intermediär. Links: Residuen des Modelles (71/80), rechts: Residuen der Validierung

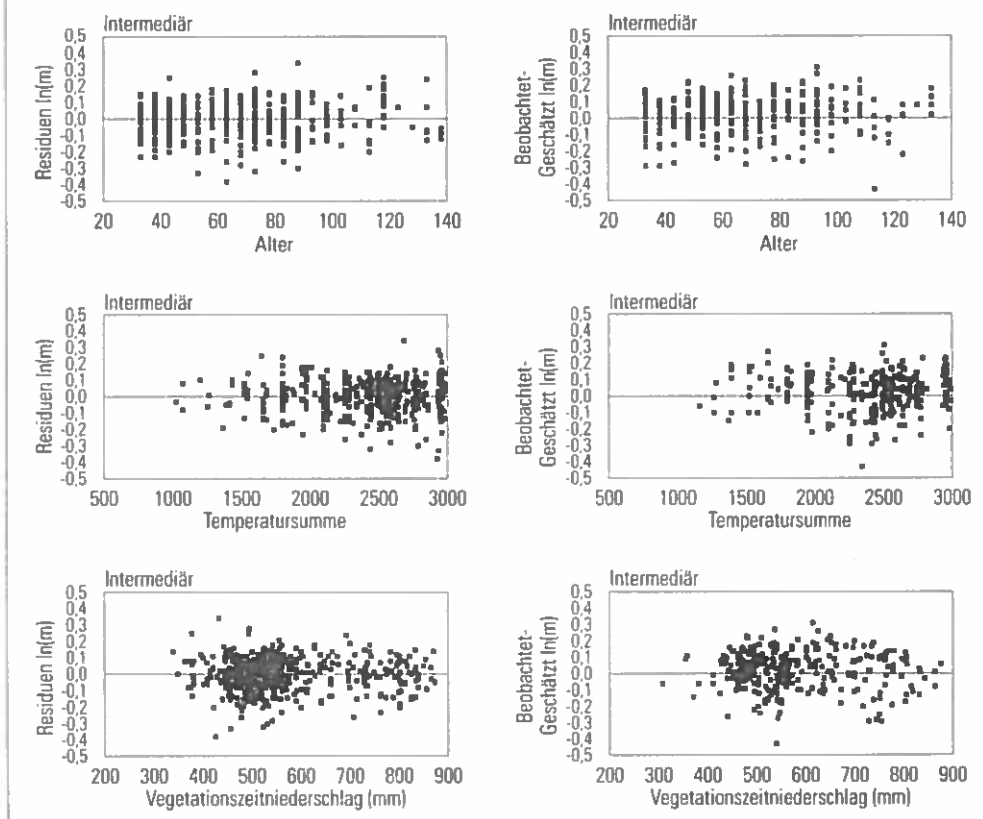


Tabelle 40:

Ergebnisse für das Validierungsmodell Intermediär, Einheit der Zielvariablen:

$\ln(\text{OhBon})$ in Metern, * ... mit Berücksichtigung der logarithm. Transponierungsdiskrepanz, Tsum ... Temperatursumme, Alt ... Alter, Sin(Ex) ... Sin(Exposition)*Tan(Neigung), Arid. ... Temperatursumme / Vegetationszeitniederschlag, andere Bezeichnungen wie in Tabelle 33

Variable	Modell mit <i>Temperatursumme / Alter</i>				Modell ohne <i>Temperatursumme / Alter</i>			
	R ² = 0.34	Std Err. Est. = 0.11	N = 301		R ² = 0.34	Std Err. Est. = 0.11	N = 301	
Variable	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF
Konstante	3.398	-	0.000	-	3.410	-	0.000	-
Konstante*	3.404	-	-	-	3.416	-	-	-
Tsum	2.50E-4	0.76	0.000	9.4	1.36E-4	0.41	0.000	2.9
Tsum*Alt	-1.87E-6	-0.84	0.000	8.2	-1.06E-6	-0.47	0.000	1.2
Tsum/Alt	-3.28E-3	-0.43	0.004	10.1	-	-	-	-
Sin(Ex)	0.088	0.13	0.009	1.0	0.087	0.12	0.011	1.0
Arid.2	-2.30E-3	-0.20	0.009	2.7	-2.24E-3	-0.20	0.012	2.7
Oberhang.	0.070	-0.10	0.033	1.1	0.063	0.09	0.060	1.1
fr. Kräuter	0.103	0.24	0.000	1.4	0.092	0.21	0.000	1.4
Oxalis	0.065	0.25	0.000	1.6	0.063	0.24	0.000	1.6
Hochstaud.	0.076	0.20	0.000	1.4	0.076	0.20	0.000	1.4
sehr frisch	0.043	0.11	0.026	1.1	0.046	0.10	0.040	1.1

5.1.5 Bonitierungsmodell für karbonatische Böden (Karbonat)

Im letzten Modell werden die karbonatischen Böden behandelt. Diese sind in Österreich auf verschiedene Gebiete aufgeteilt, die räumlich nicht zusammenhängen. Der Hauptteil der Fichtenoberhöhenbestände auf Karbonat liegt in den nördlichen Rand- und Zwischenalpen. Aber auch in den Südalpen (Wuchsgebiet 6.1) und am Alpenostrand (hauptsächlich im Wuchsgebiet 5.3) sind jeweils Gebiete mit karbonatischem Festgestein, auf denen Fichtenoberhöhenbestände stocken. Die letzteren zwei Gebiete sind jedoch zu klein, um für sie eigene Modelle zu erstellen, obwohl vor allem im Osten andere Wirkungszusammenhänge infolge der deutlich geringeren Niederschläge im Verhältnis zu den Staulagen der Randalpen zu erwarten sind.

Das Bestimmtheitsmaß für das Modell Karbonat (71/80) beträgt 0.46 (Tabelle 41) und liegt damit unter den Modellen für silikatisches Festgestein. Die Temperatursumme hat den kleinsten Regressionskoeffizienten aller Modelle, obwohl die Spreizung der Temperatursumme groß ist. Die Wechselwirkung *Temperatursumme * Alter* hat in diesem Modell den höchsten Wert für Beta, die Variable *Temperatursumme / Alter* geht signifikant ein. Die Aridität ist signifikant und hat einen ähnlich großen Regressionskoeffizient wie im Modell Mühl/Waldviertel. Wie im Stratum Intermediär geht auch hier der Sinus der Exposition ein.

Das Modell Karbonat ist das einzige, bei dem zwei Bodentypen hochsignifikant sind. Da in diesem Stratum nur drei Bodentypen vorkommen, unterscheidet sich

damit das Bonitätsniveau für alle Bodengruppen signifikant voneinander. Als weitere Dummy-Variablen gehen noch der Oberhang, die seichtgründigen Standorte und der mäßig frische Wasserhaushalt ein. Der Vegetationstyp *Oxalis* spielt im Verhältnis zu den anderen Modellen eine geringere Rolle. Dafür haben die Vergrasungen einen auffallend niedrigen Regressionskoeffizienten.

Tabelle 41:

Ergebnisse für das Modell (71/80) Karbonat, Einheit der Zielvariablen:

$\ln(\text{OhBon})$ in Metern, * ... mit Berücksichtigung der logarithmischen Transponierungsdiskrepanz, Tsum 5500 ... $(\text{Temperatursumme} - 5500)^2$, Alt ... Alter, Sin(Ex) ... Sin(Exposition)*Tan(Neigung), Arid. 2.7 ... $(\text{Temperatursumme} / \text{Vegetationszeitniederschlag} - 2.7)^2$, Boden 17 ... Rendsina, Boden 18 ... Mischboden aus Rendsina und Terra Fusca, Seichtgr. ... Gründigkeit bis 30 cm

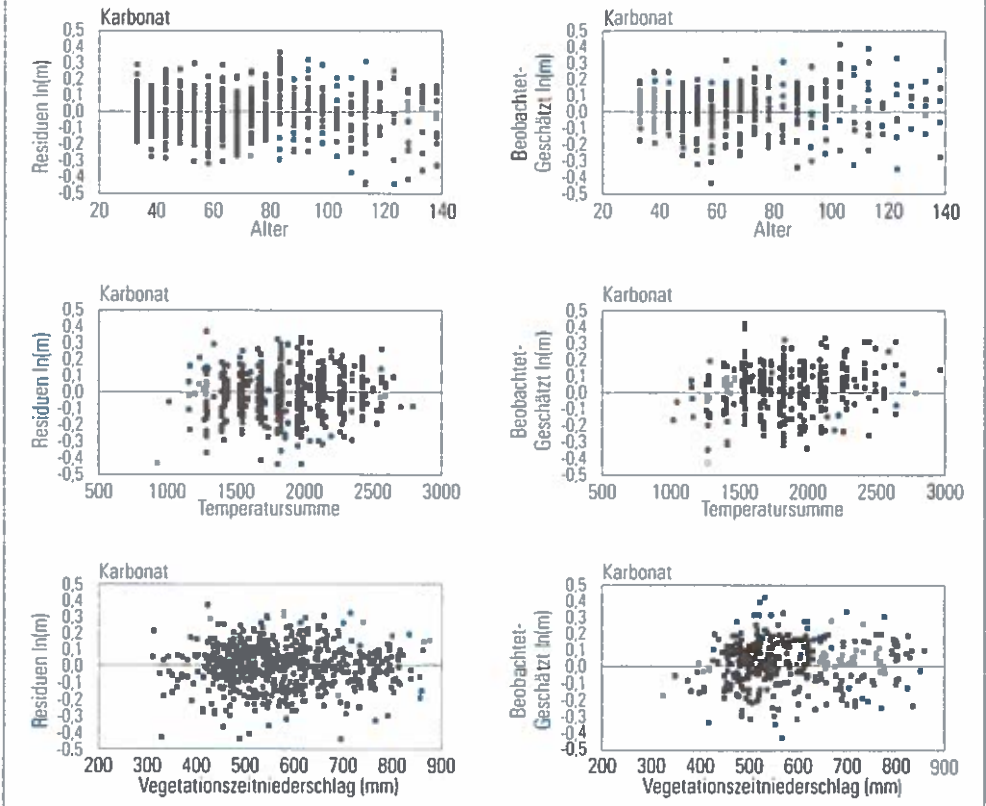
Variable	Modell mit Temperatursumme / Alter				Modell ohne Temperatursumme / Alter			
	R ² = 0.34	Std Err. Est. = 0.11	N = 301		R ² = 0.34	Std Err. Est. = 0.11	N = 301	
Variable	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF
Konstante	4.405	-	0.000	-	4.069	-	0.000	-
Konstante*	4.413	-	-	-	4.077	-	-	-
Tsum 5500	-3.76E-8	-0.53	0.000	6.4	-2.55E-8	-0.36	0.000	1.4
Tsum*Alt	-2.28E-6	-0.71	0.000	8.0	-1.64E-6	-0.51	0.000	1.3
Tsum/Alt	-2.89E-3	-0.23	0.009	8.7	-	-	-	-
Sin(Ex)	0.050	0.09	0.003	1.0	0.055	0.10	0.001	1.0
Arid. 2.7	-0.0107	-0.09	0.007	1.3	-0.0096	-0.08	0.015	1.3
Boden 17	-0.097	-0.26	0.000	1.3	-0.098	-0.26	0.000	1.3
Boden 18	-0.041	-0.12	0.001	1.3	-0.043	-0.12	0.000	1.3
Seichtgr.	-0.079	-0.12	0.000	1.2	-0.082	-0.13	0.000	1.2
Oberhang	-0.075	-0.08	0.008	1.1	-0.068	-0.07	0.015	1.0
<i>Oxalis</i>	0.028	0.08	0.018	1.4	0.031	0.09	0.009	1.3
Vergrasung	-0.150	-0.19	0.000	1.1	-0.151	-0.19	0.000	1.1
maß. frisch	-0.033	-0.08	0.035	1.5	-0.032	0.07	0.042	1.5

Auch für dieses Stratum sind Bonitäten der Validierungsdaten signifikant höher als die geschätzten Werte nach dem Modell (71/80). Auch der S-förmige Verlauf der Residuen über der Temperatursumme ist hier wie schon in den Modellen zuvor vorhanden, aber nicht so deutlich ausgeprägt (Abbildung 25).

Das Validierungsmodell hat ein Bestimmtheitsmaß von 0.53 (Tabelle 42) und liegt damit über dem des Modelles (71/80). Die signifikanten Variablen stimmen gut überein. Die Temperatursumme hat jedoch einen deutlich höheren Regressionskoeffizienten als im Modell (71/80), dafür ist der Koeffizient der Wechselwirkung *Temperatursumme* * *Alter* im Validierungsmodell kleiner. Die Variable *Temperatursumme* / *Alter* ist im Validierungsmodell nicht signifikant. Unterschiede für die Wirkung der Temperatursumme haben sich schon im Verlauf der Validierungsresiduen gezeigt. Die

Abbildung 25:

Residuen über dem Alter, der Temperatursumme und dem Vegetationszeitniederschlag für das Modell Karbonat. Links: Residuen des Modells (71/80), rechts: Residuen der Validierung



Aridität, die Bodentypen und der Wasserhaushalt gehen in beiden Modellen sehr ähnlich ein. Statt der Sinustransformation der Exposition geht der Sinus der Exposition minus 45° ein, statt dem Oberhang ist der Unterhang im Validierungsmodell signifikant. Ein deutlicher Unterschied findet sich bei den Vegetationstypen. Die im Modell (71/80) hochsignifikante Vergrasung geht bei der Validierung nicht ein. Hier unterscheiden sich nur die frischen Kräuter und der Oxalis positiv von den anderen Vegetationstypen.

Beide Modelle dieses Stratum erweisen sich stabil gegenüber der Interkorrelation der Variablen, die die Temperatursumme enthalten, wie sich im Vergleich zu den jeweiligen Modellen ohne der Variablen *Temperatursumme* / *Alter* zeigt.

Tabelle 42:

Ergebnisse für das Validierungsmodell Karbonat, Einheit der Zielvariablen:

$\ln(\text{OhBon})$ in Metern, * ... mit Berücksichtigung der logarithmischen Transponierungsdiskrepanz, Tsum 3000 ... $(\text{Temperatursumme} - 3000)^2$, Alt ... Alter, $\text{Sin}(\text{Ex-45})$... $\text{Sin}(\text{Exposition-45}^\circ)$, *Tan(Neigung), Arid. 3.3 ... $(\text{Temperatursumme} / \text{Vegetationszeitniederschlag} - 3.3)^2$, Boden 17 ... Rend-sina, Boden 18 ... Mischboden aus Rend-sina und Terra Fusca, Seichtgr. ... Gründigkeit bis 30 cm, andere Bezeichnungen wie in Tabelle 33

Variable	Modell mit Temperatursumme / Alter				Modell ohne Temperatursumme / Alter			
	$R^2 = 0.53$	Std Err. Est. = 0.12	N = 369		$R^2 = 0.53$	Std Err. Est. = 0.12	N = 369	
Variable	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF	Koeff.	Beta	Sig. T	VIF
Konstante	3.896	-	0.000	-	3.830	-	0.000	-
Konstante*	3.903	-	-	-	3.837	-	-	-
Tsum 3000	-1.11E-7	-0.50	0.000	6.0	-9.96E-8	-0.44	0.000	1.3
Tsum*Alt	-1.57E-6	-0.46	0.000	6.6	-1.38E-6	-0.41	0.000	1.2
Tsum/Alt	-8.03E-4	-0.07	0.517	8.2	-	-	-	-
Sin(Ex-45)	0.051	0.09	0.013	1.0	0.051	0.09	0.012	1.1
Arid. 3.3	-0.0153	-0.08	0.0472	1.3	-0.0166	-0.09	0.026	1.2
Boden 17	-0.122	-0.28	0.000	1.2	-0.122	-0.28	0.000	1.2
Boden 18	-0.063	-0.17	0.000	1.2	-0.063	-0.17	0.000	1.2
Seichtgr.	-0.097	-0.10	0.005	1.0	-0.097	-0.10	0.005	1.0
Unterhang	0.087	0.14	0.000	1.1	-0.089	-0.14	0.000	1.0
fr. Kräuter	0.049	0.12	0.058	2.9	0.051	0.12	0.047	2.9
Oxalis	0.070	0.20	0.002	3.2	0.072	0.20	0.002	3.2
maß. frisch	-0.087	-0.18	0.000	1.9	-0.086	-0.18	0.000	1.9

5.2 Ergebnisse der Parametrisierung der Modelle bei Verwendung verschiedener Oberhöhenfächer

Der Vergleich für die Ergebnisse der Parametrisierung der Bonitierungsmodelle bei der Verwendung von Oberhöhenbonitäten aus verschiedenen Fächern wird in zwei Abschnitte geteilt. Der erste Teil wurde in einer Voruntersuchung durchgeführt, bei der getestet wurde, ob sich der signifikante Variablensatz für die verschiedenen Bonitierungsfächer voneinander unterscheidet. Das Ergebnis dieser Voruntersuchung besagt, daß sich der Variablensatz zwischen den einzelnen Modellen kaum unterscheidet. Differenzierter müssen etwaige Unterschiede der Regressionskoeffizienten bei Verwendung verschiedener Oberhöhenfächer betrachtet werden. Neben den Variablen, in denen das Alter enthalten ist, hat die Verwendung verschiedener Oberhöhenfächer auch einen Einfluß auf den Regressionskoeffizienten der Temperatursumme. Dies war zu erwarten, da die Temperatursumme allein mit den Wechselwirkungen des Alters ($\text{Temperatursumme} * \text{Alter}$, $\text{Temperatursumme} / \text{Alter}$) eng

zusammenhängt. Die Regressionskoeffizienten der anderen Variablen sind bei Verwendung der verschiedenen Oberhöhenfächer nahezu gleich groß. Variable, die im ursprünglichen Modell (Modell (71/80) mit dem Oberhöhenfächer nach (12) parametrisiert) relativ knapp signifikant waren, können jedoch bei der Verwendung anderer Fächer die Signifikanz einbüßen.

Damit ist eine gute Voraussetzung für den zweiten Teil des Vergleiches geschaffen. In diesem werden die Regressionskoeffizienten jener zwei Variablen verglichen, in denen das Alter vorkommt (*Temperatursumme * Alter* und *Temperatursumme / Alter*). Die Aussagekraft eines solchen Vergleiches wird dadurch verstärkt, daß die anderen Variablen gleich sind. Die Vergleiche der Oberhöhenfächer werden für alle fünf Stratifizierungen (Silikat-Alpen, Silikat-Alpenostrand, Mühl/Waldviertel, Intermediär und Karbonat) durchgeführt.

In Tabelle 43 sind zunächst die Bestimmtheitsmaße für die Verwendung verschiedener Oberhöhenfächer der einzelnen Stratifizierungen angeführt. Es zeigt sich, daß nach dem Modell (12), vier Oberhöhenfächer (Mod. (9.2), (10), (11) und Fi-Bayern) jeweils ein ähnlich großes Bestimmtheitsmaß haben, wobei Modell (10) die höchste Bestimmtheit hat und Fichte-Bayern die geringste dieser Gruppe. Deutlich kleinere Bestimmtheitsmaße weist die Verwendung der Ertragstafel Fichte-Bruck auf.

Die Tabelle 43 gibt auch eine Übersicht über die Regressionskoeffizienten und t-Werte für die Variablen *Temperatursumme * Alter* und *Temperatursumme / Alter* für die fünf Stratifizierungen und die verschiedenen Oberhöhenfächer.

Der Vergleich der Regressionskoeffizienten für die Verwendung verschiedener Oberhöhenfächer zeigt über alle Stratifizierungen einige Gemeinsamkeiten. So sind die Koeffizienten der Variablen *Temperatursumme * Alter* für die Oberhöhenfächer, die selbst aus den Daten der süddeutschen Versuchsfächen erstellt worden sind (Modelle (9.2)-(12)) in allen Stratifizierungen deutlich kleiner als die der zwei Fächer Fichte-Bayern und Fichte-Bruck. Mit Ausnahme des Stratum "Intermediär" für die beiden letztgenannten Fächer sind hier alle Koeffizienten signifikant. Für die einzelnen Modelle (9.2)-(12) läßt sich für alle Stratifizierungen eine ähnliche Reihung der Koeffizienten nach ihrer Größe feststellen. Die kleinsten Koeffizienten treten bei den Modellen (12) und (10) auf, gefolgt von (11) und (9.2).

Für die Variable *Temperatursumme / Alter* kann für die vier Oberhöhenfächer ((9.2)-(12)) bei den Stratifizierungen, wo sie signifikant eingeht (Silikat-Alpen, Silikat-Alpenostrand, Karbonat), die gleiche Reihung festgestellt werden. Die niedrigsten Koeffizienten hat hier das Modell (10), gefolgt von (11), (9.2) und (12). Im Vergleich dazu sind die Koeffizienten für den Fächer Fichte-Bayern deutlich größer. Für das Stratum Mühl/Waldviertel und das Stratum "Intermediär" sind die Koeffizienten signifikant und haben ein positives Vorzeichen, für die anderen Straten sind sie nicht signifikant. Die Regressionskoeffizienten für Fichte-Bruck sind nur bei den Straten Silikat-Alpen und Silikat-Alpenostrand signifikant und liegen dort zwischen Fichte-Bayern und den anderen Fächern.

Tabelle 43:

Bestimmtheitsmaße, Regressionskoeffizienten und t-Werte für die Variablen Temperatursumme

* Alter und Temperatursumme / Alter für die fünf Stratifizierungen und die verschiedenen Oberhöhenfächer

Stratifizierung	Fächer	Best.maß	Tsum * Alter	t-Wert	Tsum/Alter	t-Wert
Silikat-Alpen	(12)	0.53	-2.28E-6	-13.0**	-2.39E-3	-3.7**
	(9.2)	0.47	-2.11E-6	-9.7**	-2.93E-3	-3.6**
	(10)	0.48	-2.26E-6	-10.9**	-3.66E-3	-4.8**
	(11)	0.48	-2.14E-6	-10.4**	-3.15E-3	-4.1**
	Fi-Bayern	0.46	-1.52E-6	-7.3**	-6.22E-4	-0.8
	Fi-Bruck	0.40	-1.20E-6	-5.9**	-2.25E-3	-3.0**
Silikat-Alpenostrand	(12)	0.66	-2.77E-6	-7.8**	-4.59E-3	-3.5**
	(9.2)	0.62	-2.58E-6	-6.1**	-4.84E-3	-3.1**
	(10)	0.63	-2.78E-6	-6.8**	-5.81E-3	-3.8**
	(11)	0.62	-2.66E-6	-6.4**	-5.26E-3	-3.5**
	Fi-Bayern	0.60	-1.93E-6	-4.5**	-2.11E-3	-1.3
	Fi-Bruck	0.56	-1.67E-6	-4.0**	-3.70E-3	-4.7**
Mühl/Waldviertel	(12)	0.46	-1.62E-6	-7.3**	-1.14E-4	-0.2
	(9.2)	0.36	-1.40E-6	-4.9**	+3.95E-4	+0.4
	(10)	0.36	-1.58E-6	-5.8**	-5.55E-4	-0.6
	(11)	0.36	-1.51E-6	-5.5**	-2.31E-4	-0.3
	Fi-Bayern	0.36	-7.79E-7	-2.7**	+2.81E-3	+2.8**
	Fi-Bruck	0.25	-6.12E-7	-2.2*	+9.48E-4	+1.0
Intermediär	(12)	0.40	-1.35E-6	-6.3**	-5.83E-4	-0.7
	(9.2)	0.31	-1.21E-6	-4.4**	-1.84E-4	-0.2
	(10)	0.32	-1.38E-6	-5.3**	-1.10E-3	-1.2
	(11)	0.31	-1.31E-6	-4.9**	-7.61E-4	-0.8
	Fi-Bayern	0.30	-5.34E-7	-1.9	+2.46E-3	+2.4*
	Fi-Bruck	0.19	-4.17E-7	-1.5	+6.47E-4	+0.7
Karbonat	(12)	0.46	-2.28E-6	-8.6**	-2.89E-3	-2.6**
	(9.2)	0.34	-1.96E-6	-5.8**	-4.44E-3	-3.1**
	(10)	0.36	-2.37E-6	-7.2**	-6.03E-3	-4.4**
	(11)	0.35	-1.99E-6	-6.1**	-4.48E-3	-3.3**
	Fi-Bayern	0.32	-8.00E-7	-2.4*	+1.09E-4	+0.1
	Fi-Bruck	0.29	-6.63E-7	-2.1*	-1.92E-3	-1.5

6. Interpretation und Wertung

6.1 Allgemeines

Bei der Interpretation der Bonitierungsmodelle muß auf die Größe des Verbreitungsgebietes der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) Rücksicht genommen werden. Nach SCHMIDT-VOGT (1977) ist die Art *Picea abies* heute in ganz Eurasien von Irland bis zum Ochotskischen Meer und von der polaren Nordgrenze bis zu Pflanzungen in Griechenland verbreitet. Das weite Verbreitungsgebiet mit mehreren eiszeitlichen Refugien hat zu einem hohen Polymorphismus mit der Ausbildung zahlreicher Unterarten, Varietäten und Standortsrassen geführt.

Die für Österreich parametrisierten Modelle können regional nur einen kleinen Ausschnitt der Wirkungszusammenhänge zwischen Höhenbonität und Standort der Fichte abdecken. So variieren zwar die Klimacharaktere in Österreich in einem bestimmten Rahmen, Bedingungen wie an den randlichen Vorkommen der Fichte wie zum Beispiel im Osten Sibiriens bei niedrigen Temperaturen und entsprechend kurzen Vegetationszeiten, wo zum Gedeihen der Fichte 370 mm Jahresniederschlag ausreichen (SCHMIDT-VOGT, 1977), sind in Österreich nicht anzutreffen. Trotzdem ist ein Vergleich der Zusammenhänge von Wuchsleistung und Standort, wie sie in Österreich für die verschiedenen klimatischen Bedingungen gefunden werden können, mit Angaben aus der Literatur aus verschiedenen Teilen des Fichtenareals interessant.

Für die standortskundliche Interpretation ist es von Bedeutung, welche Variablen in die Modelle eingehen und welche nicht. Die Variablen, welche für die Modelle eingesetzt wurden, haben verschieden hohe Aggregationsniveaus. Als primäre Variablen wurden Temperatur, Niederschlag und Lageparameter wie Exposition, Neigung und Relief verwendet. Diese Lageparameter sollen, da sie nicht direkt in die klimatologischen Modelle einbezogen wurden, die lokalen Ausprägungen der regionalen Klimawerte beschreiben. Andere primäre Faktoren wie z.B. Strahlung, Wind, Nebelhäufigkeit, Häufigkeit klimatischer Extremereignisse standen in direkter Form nicht zur Verfügung. Sie gehen nur indirekt über die Variablen Temperatur und Relief bzw. über die räumliche Stratifizierung in die Modelle ein. Die Geologie, als wichtiger Primärparameter, war nur teilweise bekannt, weshalb das Stratum "Intermediär" ausgeschieden werden mußte. Als Übergang von primären zu sekundären Standortmerkmalen können der Bodentyp und die Gründigkeit gewertet werden. Diese wurden als Dummyvariable kodiert für die Modelle eingesetzt. Die höchst aggregierten Variablen in den Modellen sind der Vegetationstyp und der unter Berücksichtigung von Lageparametern davon abgeleitete Wasserhaushalt. Die Möglichkeit, Variable durch Verknüpfung selbst höher zu aggregieren, wurde nur für einfache Klimaindices angewendet, wo Niederschlags- und Temperaturwerte zu Ariditäts- bzw. Feuchtekenzahlen zusammengefaßt wurden. Komplexere Aggregationen, wie z.B. die Kombination von Boden und Klimaparametern zu einem Index wurden nicht durchgeführt.

Wegen der gleichzeitigen Verwendung von verschieden hoch aggregierten Standortsparemetern sind im Datenmaterial gewisse Redundanzen vorhanden. Diese haben in den Modellen nur in geringem Ausmaß zu größeren Interkorrelationen geführt. Die höher aggregierten Variablen tragen wie die primären Lageparameter damit auch zur Beschreibung lokaler Standortsausprägungen bei.

Da ein Ziel der Arbeit die empirische Quantifizierung der Wirkungszusammenhänge zwischen Wuchsleistung und Standort ist, wurden möglichst einfache Parameter verwendet, um die anschließende Interpretation der Modelle zu erleichtern. Für die Klimakennwerte ist jedoch zu beachten, daß diese Werte zwar einfache, primäre Standortsparemetern sind, aber aus Modellen (mit unterschiedlicher Qualität) stammen. Insbesondere gilt das für die Werte Temperatursumme und Niederschlag in der Vegetationszeit, die beide aus einer Aneinanderreihung mehrerer Modelle ermittelt wurden.

Der Vielzahl von beschriebenen Standortvariablen steht mit der Oberhöhenbonität nur eine Kennzahl für die Wuchsleistung gegenüber (vgl. FRANZ, 1971). Dies schränkt die Aussagekraft der Modelle ein, da ja neben der Höhenbonität die Wuchsleistung auch noch vom Ertragsniveau bestimmt wird. Als drittes Ertragselement müßte auch noch die Schaftform beachtet werden (SCHMIDT, 1973). Das bedeutet, daß die Modelle nur zur Beurteilung der Höhenwuchsleistung herangezogen werden dürfen.

Bei der Interpretation ist die zeitliche Differenz zwischen der Erhebung der Daten für die Modelle (71/80) und für die Validierungsmodelle zu beachten. Wenn Wachstumstrends vorhanden sind, müßten für eine Validierung die Daten beider Modelle aus der gleichen Zeit stammen. Auf der anderen Seite ermöglicht der spätere Aufnahmezeitpunkt der Validierungsdaten Wachstumstrends zu erkennen. Eine Einschränkung für die Qualität der Validierung ist durch die Verwendung von zwei verschiedenen Höhenmeßgeräten in den zwei Erhebungsperioden gegeben. Die Höhenmessungen in der Periode (71/80) wurden mit dem Blume-Leiss durchgeführt, die der Periode (86/90) mit dem Spiegelrelaskop.

6.2 Interpretation der Modellergebnisse

Die Interpretation der Ergebnisse erfolgt für alle Modelle gemeinsam, damit die Unterschiede zwischen den räumlichen bzw. geologischen Stratifizierungen übersichtlicher dargestellt werden können. Dafür wird die Interpretation für einzelne Variablen bzw. Variablengruppen getrennt durchgeführt. Zunächst werden die Klimavariablen Temperatur und Niederschlag behandelt. Daran anschließend werden die sich aus den Modellen ergebenden Wirkungszusammenhänge der Exposition und Neigung mit der Oberhöhenbonität interpretiert. Danach werden die in Dummy-Variablen kodierten Standortsparemetern diskutiert. Ein spezieller Abschnitt ist der Interpretation des Alters in den Bonitierungsmodellen gewidmet.

6.2.1 Interpretation für die Klimavariablen Temperatur und Niederschlag

Um die Interpretation der Zusammenhänge zwischen der Oberhöhenbonität und den Klimavariablen Temperatursumme und Vegetationszeitniederschlag zu erleichtern, werden in Tabelle 44 die mittleren Ariditäten für die Fichtenoberhöhenbestände in den einzelnen Straten angeführt und in Abbildung 26 die Häufigkeitsverteilungen der Ariditätskennzahlen dargestellt. Hier zeigt sich ein recht unterschiedliches Bild für die einzelnen Stratifizierungen. Im Gebiet Silikat-Alpen reichen die Ariditäten nur bis 6.0 - es ist damit relativ feucht. Das Stratum Mühl-/Waldviertel ist das trockenste, hier fehlen Fichtenbestände mit Ariditäten unter 3.5. Im Gebiet Silikat-Alpenostrand liegen die Ariditäten etwas höher als im Bereich der restlichen silikatischen Alpen. Das Stratum Karbonat hat durch die hauptsächlich randalpine Lage die höchsten Niederschläge und die geringsten Ariditäten. Die intermediären Standorte umfassen eine recht heterogene Gruppe klimatischer Bedingungen. Sie decken als einzige das gesamte Ariditätsspektrum zwischen 2 und 8 ab. Während die Verteilungen der anderen Straten alle etwas linksschief sind, zeigt dieses Stratum eine zweigipfelige Verteilung.

Tabelle 44:

Mittlere Ariditätskennziffern (Temperatursumme in der Vegetationszeit / Vegetationszeitniederschlag) für die einzelnen Straten

Stratum	Silikat-Alpen	Silikat-Alpenostrand	Mühl-/Waldviertel	Intermediär	Karbonat
mittl. Aridität	3.72	3.96	5.69	4.49	3.25

Wie bereits im Abschnitt 5 beschrieben, ist die Temperatursumme zusätzlich in Variablen gemeinsam mit dem Alter eingegangen. Dieser Umstand wird im folgenden berücksichtigt, indem die Wirkungszusammenhänge beispielhaft für alle Stratifizierungen im Silikat-Alpenostrand für die Alter 30 bzw. 140 Jahre dargestellt wird (Abbildung 27). Hier zeigt sich, daß die Bonitäten bei Alter 30 viel höher liegen, und die Krümmung der Höhenbonitäten über Temperatur und Niederschlag deutlicher ausgeprägt ist, im Trend aber mit der Grafik für das Alter 140 übereinstimmen. Daher wurde, um die Vergleiche der einzelnen Stratifizierungen übersichtlicher zu gestalten, ein konstantes Alter verwendet und mit 50 Jahren festgelegt. Eine spezielle Interpretation der Bedeutung des Alters in den Modellen erfolgt in einem eigenen Abschnitt.

In den Abbildungen 28 und 29 sind nun die Verläufe der Oberhöhenbonität über dem Vegetationszeitniederschlag und der Temperatursumme für das Alter 50 dargestellt, wobei neben den Modellen (71/80) jeweils die Ergebnisse der Validierungsmodelle gezeigt werden. Alle Grafiken wurden für einen frischen Mittelhangstandort mit dem Vegetationstyp Oxalis bei Gründigkeit über 30 cm, Ostexposition mit 30% Neigung erstellt, um möglichst einheitliche Vergleichsmöglichkeiten zu schaffen. Die absoluten Höhen der Bonitäten sind trotzdem nicht exakt miteinander vergleichbar, da in den verschiedenen Straten nicht alle Variablen eingehen, die hier angeführt sind. Dies trifft für die Neigung und die Gründigkeit zu. Für das Stratum Karbonat mußte

Abbildung 26:
Häufigkeiten der Ariditätskennzahl (Temperatursumme in der Vegetationszeit / Vegetationszeitniederschlag) für die einzelnen Stratifizierungen

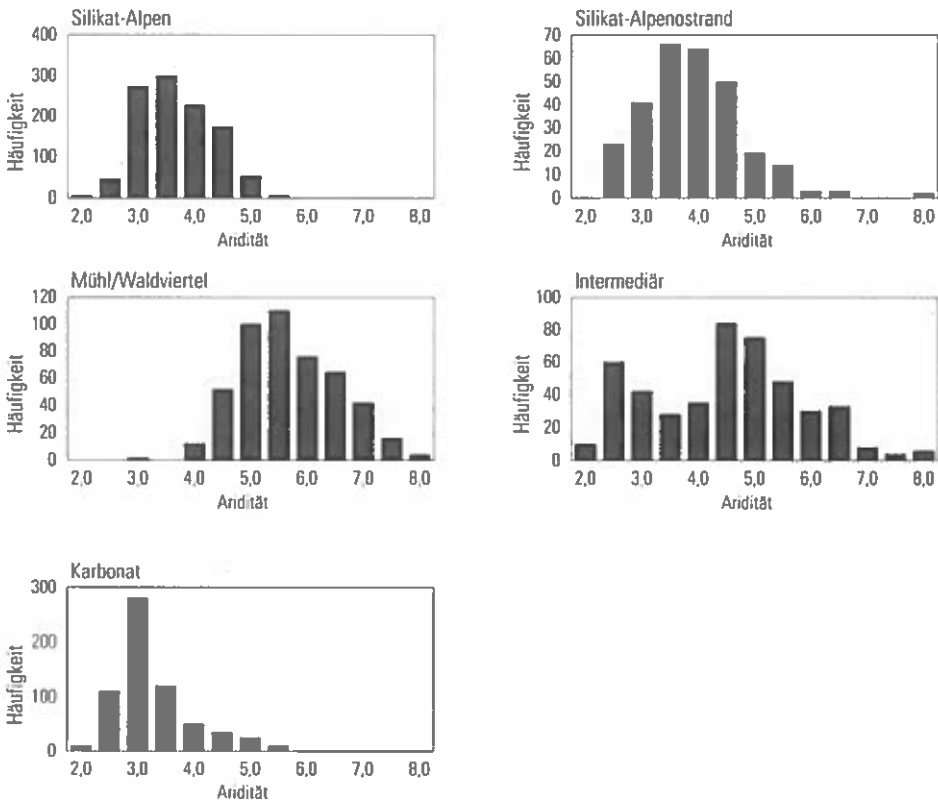
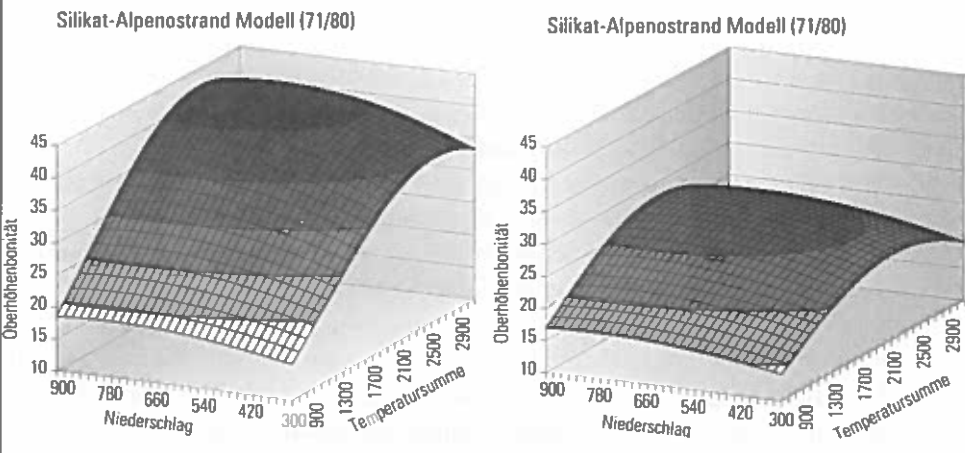


Abbildung 27:
Oberhöhenbonität (m) über dem Vegetationszeitniederschlag (mm) und der Temperatursumme für Silikat-Alpenostrand für das Alter 30 und 140



im Gegensatz zu den anderen Straten ein Bodentyp festgelegt werden, da sich hier die drei Bodengruppen im Bonitätsniveau voneinander unterscheiden. Die absoluten Höhen der Bonitäten können daher nicht miteinander verglichen werden, der Trend der Oberhöhen über den Klimavariablen ist jedoch für eine vergleichende Interpretation geeignet, da keine Wechselwirkungen zwischen den Variablen, die nicht in allen Modellen eingehen, und den Klimavariablen enthalten sind.

Die Abbildungen sind alle gleich skaliert, um sie besser untereinander vergleichen zu können. Der Verlauf der Oberhöhe über den Klimavariablen ist jedoch auf jenen Teil beschränkt, der mit Daten für die Temperatursumme bzw. die Vegetationszeit besetzt ist. Da nicht alle Kombinationen aus Temperatursumme und Niederschlag im Datenmaterial vorhanden sind, ist nicht der gesamte gezeigte Bereich besetzt. Der sehr trockene Bereich, der sich in den 3D-Grafiken rechts hinten befindet mit einer Aridität von 10 (3000/300), sowie die linke vordere Ecke, die extrem feuchte Klimaverhältnisse beschreibt (Aridität 1), sind für alle Modelle unbesetzt. Die daran anschließenden Klimabedingungen sind je nach Stratum unterschiedlich stark besetzt (siehe Abbildung 26).

In Abbildung 28 sind die Modelle mit silikatischen Böden zusammengefaßt, wobei auf der linken Seite jeweils die Modelle (71/80) dargestellt sind und auf der rechten Seite die Validierungsmodelle. Deutlich kann hier ein Unterschied zwischen dem Einfluß der Temperatursumme in der Vegetationszeit und dem des Vegetationszeitniederschlages erkannt werden. Die Wirkung der Temperatur auf die Oberhöhenbonität ist viel stärker als die des Niederschlages. Dies gilt allgemein für die Modifizierung der Vegetation und damit auch für das Wachstum von Bäumen in Gebirgslagen mit gemäßigt humidem Klima (NEBE, 1992). Besonders deutlich kommt dieser Umstand im Modell Silikat Alpen zum Vorschein, da hier der Niederschlag überhaupt nicht eingeht. Die kontinentalen Innenalpen (Wuchsgebiete 1.1 und 1.2), die in diese Stratifizierung fallen, sind zwar Gebiete mit größerer Aridität, dort stocken jedoch kaum Fichtenoberhöhenbestände (siehe Abbildung 1).

Der Verlauf der Oberhöhe über der Temperatursumme ist in allen drei Straten ähnlich, geringe Differenzen sind jedoch erkennbar. Das Modell Silikat-Alpenostrand hat in den feuchten Lagen einen etwas steileren Gradienten für die Abnahme der Oberhöhe über der Temperatursumme als das Modell Silikat-Alpen. Für die trockenen Lagen ist der Gradient dafür flacher. Das Modell Mühl/Waldviertel ist nur in einem relativ kleinen Bereich besetzt und zeigt damit nur einen geringen Abfall der Oberhöhen mit sinkenden Temperatursummen der Vegetationszeit.

Auffallend für die silikatischen Straten ist, daß die Oberhöhe ab einer bestimmten Temperatursumme unabhängig vom Vegetationszeitniederschlag nicht weiter zunimmt, sondern nach einem Maximum wieder abfällt. NEBE (1968) kommt zu ähnlichen Ergebnissen für die Bonität der Fichte in ganz Europa. Im feuchten Bereich (linker Teil der Grafiken) wäre eine weitere Zunahme durchaus plausibel. Die Temperatursummen bei maximalen Oberhöhenbonitäten für die drei silikatischen Modelle sind in der Tabelle 45 angeführt. Sie liegen am Alpenostrand mit 2500 (bzw. 2600 für das Validierungsmodell) bei relativ hohen Temperatursummen. Im Mühl/Waldviertel

Abbildung 28:
Oberhöhenbonität (m) über dem Vegetationszeitniederschlag (mm) und der Temperatursumme für die Straten Silikat-Alpen, Silikat-Alpenostrand und Mühl/Waldviertel und das Alter 50

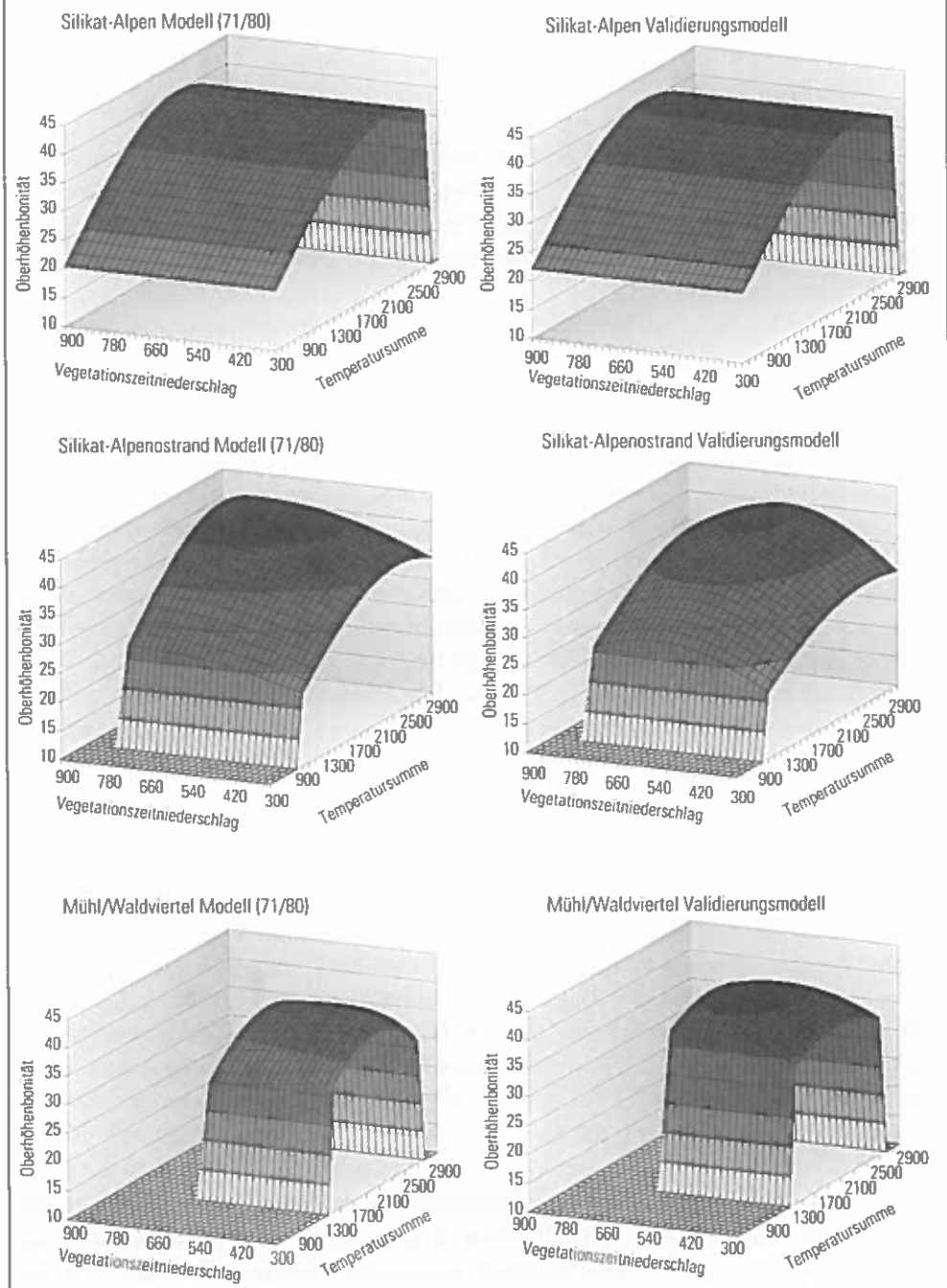


Tabelle 45:

Temperatursummen für die maximalen Oberhöhenbonitäten für die Stratifizierungen Silikat-Alpen, Silikat-Alpenostrand und Mühl/Waldviertel

Stratum	Modell (71/80)	Validierungsmodell
Silikat-Alpen	2200	2300
Silikat-Alpenostrand	2500	2600
Mühl/Waldviertel	2000-2300	2100

ist das Maximum mit etwa 2100 deutlich darunter. Hier ist das Maximum im Modell (71/80) nicht unabhängig vom Vegetationszeitniederschlag, da statt diesem die Aridität in das Modell signifikant eingeht (vgl. Tabelle 37), die eine Verschiebung der maximalen Bonität über der Temperatursumme für verschiedene Vegetationszeitniederschlägen bewirkt.

Über die Ursachen, warum die Zunahme der Temperatursumme ab einem bestimmten Wert zu einer Abnahme der Bonität auch bei hohen Vegetationszeitniederschlägen führt, kann hier nur spekuliert werden. Ein Grund könnte darin liegen, daß bei großen Temperatursummen, denen lange Vegetationszeiten entsprechen, längere Trockenperioden eine stärkere negative Auswirkung auf das Höhenwachstum haben als bei geringeren Temperatursummen. Diese Trockenperioden müssen sich in der Niederschlagssumme der Vegetationszeit nicht widerspiegeln. Dafür spricht auch, daß im Gebiet Silikat-Alpenostrand, welches im wesentlichen die Wuchsgebiete 5.3 und 5.4 umfaßt, möglicherweise infolge der höheren Luftfeuchtigkeit in diesem Gebiet (KILIAN et AL., 1994), das Maximum der Oberhöhenbonität bei größeren Temperatursummen liegt als in den anderen silikatischen Straten.

Anders sehen die Verläufe der Oberhöhenbonitäten in Abbildung 29 aus, wo sie wieder in Abhängigkeit von der Temperatursumme und dem Vegetationszeitniederschlag für die Straten Intermediär und Karbonat dargestellt sind. Hier nimmt die Bonität für feuchte Gebiete mit steigender Temperatursumme zu, ohne ein Maximum zu erreichen, während für aride Gebiete die Oberhöhe ab einer bestimmten Temperatursumme wieder abnimmt. Vor allem im Stratum Karbonat sind relativ mehr Standorte mit niedrigen Ariditäten bei hohen Temperatursummen vorhanden als in den anderen Gebieten. In der Abbildung 30 sind dazu die Vegetationszeitniederschläge über den Temperatursummen für die Straten Karbonat im Vergleich zu Silikat-Alpen aufgezeigt, das von den silikatischen Modellen noch das relativ feuchteste ist. Hier sieht man, daß im Karbonat die Besetzung der hohen Vegetationszeitniederschläge für große Temperatursummen besser ist als im Gebiet Silikat-Alpen. Dieser Umstand ist wahrscheinlich auch eine Ursache, daß im Modell Karbonat die Ariditätskennziffer eingeht, während sie für Silikat-Alpen keine Rolle spielt. Sie legt als Wechselwirkung zwischen der Temperatursumme und dem Vegetationszeitniederschlag den beschriebenen Verlauf der Oberhöhenbonität über den Klimavariablen fest.

Der positive Gradient der Oberhöhenbonität über der Temperatursumme ist in den Straten Intermediär und Karbonat geringer ausgeprägt als in den silikatischen Straten.

Abbildung 29:
Oberhöhenbonität (m) über dem Vegetationszeitniederschlag (mm) und der Temperatursumme für die Straten Intermediär und Karbonat und das Alter 50

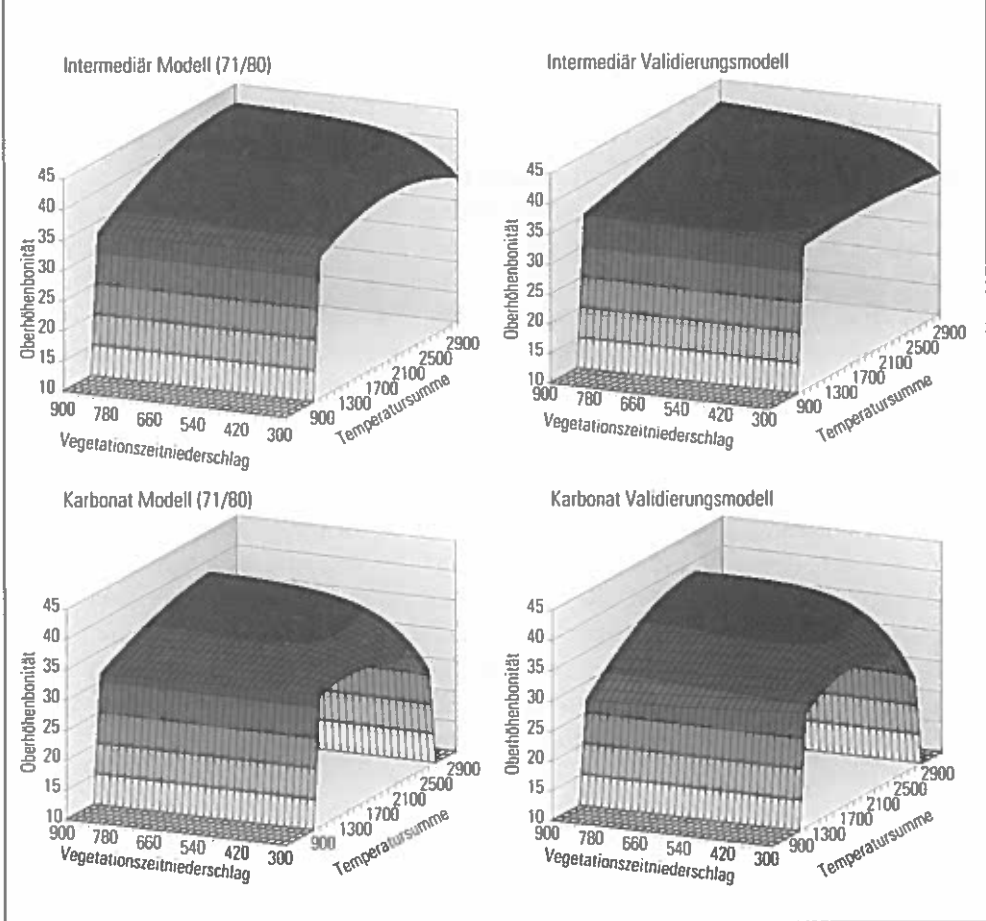
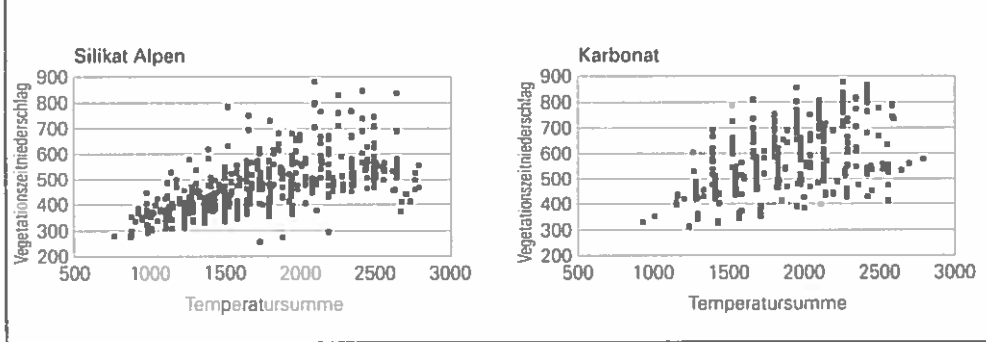


Abbildung 30:
Vegetationszeitniederschlag (mm) über der Temperatursumme für die Straten Silikat-Alpen und Karbonat



Hier sind offensichtlich neben der Temperatur andere begrenzende Standortsfaktoren wirksam. Das Modell Intermediär sollte nicht zu detailliert interpretiert werden, da es sich bei der Validierung am schlechtesten von allen Modellen reproduzieren läßt und auch von allen Stratifizierungen das niedrigste Bestimmtheitsmaß besitzt. Für das Stratum Karbonat kann jedoch angenommen werden, daß hier der Bodentyp gepaart mit der Gründigkeit einen wachstumsbegrenzenden Faktor darstellt, der die Wirkung der Temperatur abschwächt. Diese Parameter werden bei der Besprechung der Dummy-Variablen im Abschnitt 6.1.3 näher behandelt.

Der S-förmige Verlauf der Validierungsresiduen über der Temperatursumme (siehe Abschnitt 5.1.3) ist darauf zurückzuführen, daß die Krümmungen der Oberhöhenbonität über der Temperatursumme für die Modelle (71/80) im allgemeinen etwas stärker sind, als für die Validierungsmodelle. Für das Modell Karbonat ist das Validierungsmodell stärker gekrümmt. Diese Unterschiede gepaart mit leichten Verschiebungen der Temperatursummen für die maximalen Bonitäten (siehe Tabelle 22) führen zu diesem Verlauf.

Für den Einfluß des Niederschlages in den Modellen wurde nicht, wie bei der Temperatur, ein einheitlicher Parameter in Voruntersuchungen für alle Modelle festgelegt. Die einzelnen Variablen wurden alle in den Modellen eingesetzt und auf Signifikanz getestet. Daher ist es interessant, daß nur der Vegetationszeitniederschlag und die Ariditätskennziffer in die Modelle signifikant aufgenommen werden.¹ Der Jahresniederschlag und die anderen Feuchtekenzziffern (nach DE MARTONNE (c.f. FLIRI, 1975), ELLENBERG, 1982 und GAMS (c.f. OZENDA, 1988)) haben offensichtlich auf die Oberhöhenbonität eine geringere Auswirkung als der Vegetationszeitniederschlag und Ariditätskennzahl Temperatursumme / Vegetationszeitniederschlag.

Die Wirkung des Vegetationszeitniederschlages auf die Bonität zeigt für alle Modelle mit Ausnahme von Silikat-Alpen Parallelen. Abnehmende Niederschläge bewirken eine immer stärker werdende Absenkung der Bonität (für die Modelle Karbonat und Intermediär nur bei hohen Temperatursummen). Für die Modelle Silikat-Alpenostrand und Karbonat sind die höchsten Bonitäten ca. ab 600 mm Vegetationszeitniederschlag zu finden, während der Abfall der Bonitäten mit dem Vegetationszeitniederschlag im Mühl/Waldviertel erst bei ca. 470 mm einsetzt. NEBE (1966) gibt für das optimale Wachstum der Fichte Vegetationszeitniederschläge zwischen 490 und 580 mm an. Eine mögliche Begründung für die verschiedenen Ansprüche an Vegetationszeitniederschlag sind die größeren Gründigkeiten der Böden im Mühl/Waldviertel im Vergleich zu den anderen Straten, die in Zusammenhang mit den geringeren Neigungen in diesem Bereich stehen. So beträgt die mittlere Neigung der Fichtenoberhöhenbestände im Mühl/Waldviertel nur 19%, während sie für das Gebiet Silikat-Alpenostrand bei 40% liegt und im Karbonat bei 42%. Ein weiterer Grund dafür werden auch die kontinentaleren Klimabedingungen im Mühl/Waldviertel im Verhältnis zu den Wuchsgebieten 5.3 und 5.4 (Stratum Silikat-Alpenostrand) und zu den randalpinen Lagen des Stratums Karbonat sein. Ähnliche Zusammenhänge finden NEBE & RZEZNIK (1967). Sie beschreiben in dem kontinentalen Klimagebiet

¹ Für den Fall, daß zwei interkorrelierte Variable, die den Niederschlag enthalten haben, in der schrittweisen Regression aufgenommen wurden, wurde die mit der geringeren Signifikanz eliminiert.

Nordfinnlands geschlossene Fichtenbestände noch bei 200 mm Vegetationszeitniederschlag. Weiters nimmt der Bedarf an Vegetationszeitniederschlägen in Europa vom kontinentalen Osten zum atlantischen Westen zu, was als Grund für eine Zuordnung der Fichte zu den Baumarten mit kontinental getönten Klimaansprüchen gilt (NEBE & RZEZNIK, 1967, MAYER, 1980, S. 35). Für mitteleuropäische Klimabedingungen setzten die Autoren die Grenze der Verbreitung der Fichte bei 300 mm Vegetationszeitniederschlag an. Dies paßt gut zur in dieser Arbeit gefundenen Verbreitung der Fichtenoberhöhenbestände, die nur unwesentlich unter 300 mm reicht.

Im allgemeinen passen die Ergebnisse der Validierungsmodelle hinsichtlich der Wirkung der Klimavariablen gut zu denen der Modelle (71/80). Auffallend ist jedoch, daß für das Validierungsmodell Silikat-Alpenostrand die Oberhöhenbonitäten ab einem Vegetationszeitniederschlag von 600 mm wieder abnimmt. Dieser biologisch unplausible Zusammenhang tritt im Modell (71/80) nicht auf. Möglicherweise ist die schwache Besetzung mit Niederschlägen über 600 mm (siehe Abbildung 22) der Grund dafür.

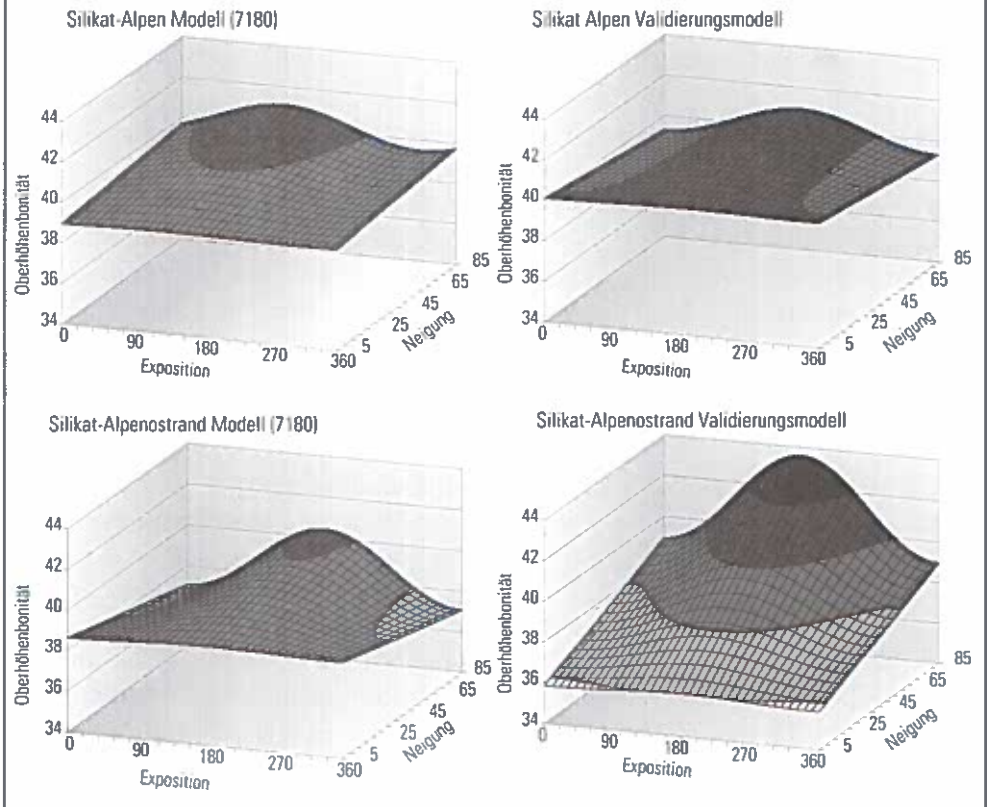
6.2.2 Interpretation für die Variablen Exposition und Neigung

Exposition und Neigung wurden in Form von Wirkungstransformationen in die Modellen eingebracht. Dabei wurde neben der üblichen Transformation von STAGE (1976) auch eine Transformation von ROISE & BETTERS (1981), die in den Tieflagen die Nordexpositionen und in den Hochlagen die Südexposition als Wachstumsoptimum festlegt, in den Modellen auf Signifikanz getestet. Es stellte sich heraus, daß ausschließlich die von STAGE vorgeschlagene Transformation in die Modelle signifikant eingeht. Nur im Stratum Silikat-Alpenostrand ist die Transformation von ROISE & BETTERS in der schrittweisen Regression signifikant bevor der Vegetationstyp Oxalis eingeht. Dieser übernimmt offensichtlich einen Teil der Wirkung dieser Expositionstransformation.

Insgesamt ist die Wirkung der Exposition und der Neigung im Verhältnis zu den vorher besprochenen Klimavariablen gering. Daher mußte in den Abbildungen 31 und 32 auch der Maßstab im Verhältnis zu den Darstellungen der Oberhöhenbonitäten über den Klimavariablen verändert werden, um die Wirkung deutlich sichtbar zu machen. In der Abbildung 31 sind die Oberhöhenbonitäten über der Exposition und der Neigung für die drei silikatischen Straten dargestellt und in Abbildung 32 für das intermediäre und das karbonatische Stratum. Auch hier wurde wie im letzten Abschnitt das Alter mit 50 Jahren festgelegt und die restlichen Standortparameter, soweit sie in die einzelnen Modelle eingingen, wurden für alle Stratifizierungen konstant angenommen. Die Transformation von STAGE bewirkt eine Verstärkung der Wirkung mit zunehmender Neigung. Sie kann dann, soweit die Neigung alleine auch noch eingeht, modifiziert werden.

Für das Stratum Silikat-Alpen ist die Wirkung der Exposition im Verhältnis zu allen anderen Straten am geringsten. Die Differenz zwischen dem Modell (71/80) und dem Validierungsmodell für die maximale Oberhöhenbonität ist mit 90° zwischen Südost

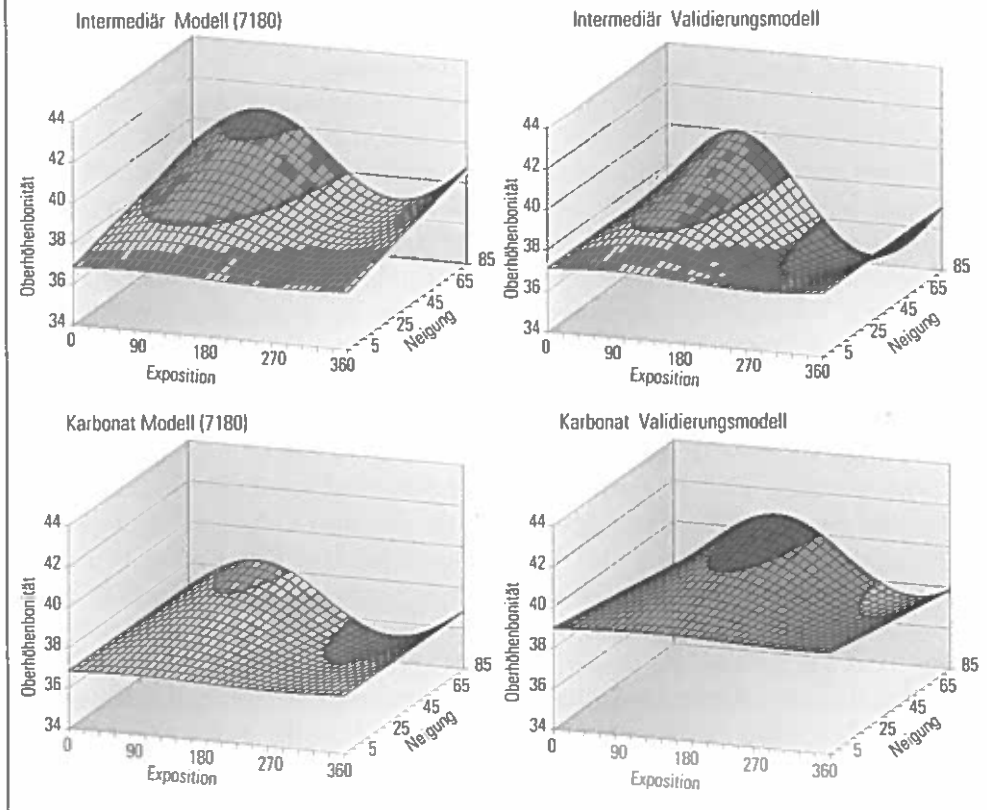
Abbildung 31:
Oberhöhenbonität (m) über Exposition (Grad) und Neigung (%) für die Straten Silikat-Alpen, Silikat-Alpenostrand und Mühl/Waldviertel und das Alter 50



und Südwest am größten. Der Unterschied zwischen maximaler und minimaler Oberhöhenbonität beträgt bei 60% Neigung nur 1 m. Daher sind auch die zwei verschiedenen Maxima für das Modell (71/80) und das Validierungsmodell nicht von großer Bedeutung. Möglicherweise umfaßt dieses Stratum ein so großes Gebiet, so daß kein einheitlicher Trend über der Exposition mit deutlicherer Wirkung gefunden werden kann. Insgesamt ist eine leichte Begünstigung für die Höhenbonität auf südlich orientierten Hängen festzustellen.

Deutlicher ist diese Wirkung für das Stratum Silikat-Alpenostrand ausgeprägt, wo ebenfalls die Südexposition die höchsten Bonitäten aufweist. Die Transformation, welche das Maximum im Südosten aufweist, war in der schrittweisen Regression nur geringfügig weniger signifikant als jene mit dem südlichen Maximum. Die Differenz zwischen Süd- und Nordexposition beträgt für 60% Neigung rund 2.3 m Oberhöhenbonität. Das entspricht einer Differenz von rund 200 für die Temperatursumme, oder ca. 250 m Seehöhe für Lagen über 1000 m in diesem Stratum. Dies stimmt in etwa mit der Größenordnung von in der Literatur beschriebenen Zusammenhängen

Abbildung 32:
Oberhöhenbonität (m) über Exposition (Grad) und Neigung (%) für die Straten Intermediär und Karbonat und das Alter 50



bezüglich der Verschiebung klimatischer Höhenstufen für verschiedene Expositionen überein (FLIRI, 1975). Für das Validierungsmodell ist der sehr starke Einfluß der Neigung erstaunlich, da es sich um das einzige Modell handelt, das so einen Einfluß aufweist, und der auch nicht sinnvoll interpretiert werden kann. Dieses Ergebnis ist kein Produkt einzelner Datenausreißer. Berechnet man das Modell ohne Neigung und trägt anschließend die Residuen über der Neigung auf, so zeigt sich ein linearer Trend über das gesamte Spektrum der Neigung, der durch die Hereinnahme dieser Variablen in das Modell entfernt werden kann.

Das südliche Maximum der Oberhöhenbonität ist wahrscheinlich durch die geringe mittlere Temperatursumme in dieser Stratifizierung (wie auch für Silikat-Alpen) und durch die nicht allzu ariden Verhältnisse hervorgerufen. Die Temperatur steht hier für das Wachstum als begrenzender Faktor im Vordergrund, was sich schon deutlich im letzten Abschnitt gezeigt hat. Die trockenen Lagen, die sich auch im Vegetationstyp und im Wasserhaushalt widerspiegeln, werden durch die Hereinnahme der entsprechenden Dummy-Variablen in das Modell für die Oberhöhenbonität abgebildet

(siehe nächster Abschnitt 6.1.3). Wie schon erwähnt, war das Stratum Silikat-Alpenostrand das einzige, bei dem die Transformation nach ROISE & BETTERS (1981), die bei großen Temperatursummen die Nordexpositionen und in den Hochlagen die Südexposition als Wachstumsoptimum festlegt, ebenfalls signifikant war, jedoch bevor der Vegetationstyp im Modell aufgenommen wurde.

Für das Stratum Mühl/Waldviertel stellen sich die Zusammenhänge zwischen der Exposition und der Oberhöhenbonität anders dar. Hier liegen sowohl im Modell (71/80) wie auch im Validierungsmodell die maximalen Oberhöhenbonitäten im Nordosten und entsprechend die Minima im Südwesten. Die Differenz zwischen Minimum und Maximum beträgt hier bei 60% Neigung mit 2 m Oberhöhenbonität etwas weniger als für das Stratum Silikat-Alpenostrand. Im Mühl/Waldviertel überwiegt für die Wirkung der Exposition offensichtlich der Feuchtigkeitseinfluß jenen der Temperatur. Dieses Ergebnis steht in Zusammenhang zur relativ geringen Spreitung der Temperatursumme (siehe Abbildung 28) und den höchsten Ariditäten in diesem Gebiet (siehe Abbildung 26).

Im Stratum Intermediär ist ein deutliches Maximum der Oberhöhenbonität im Osten zu erkennen. Dieses Stratum hat mit 2.5 bzw 3.5 m Oberhöhe die größten Differenzen zwischen Maximum und Minimum von allen Gebieten für das Modell (71/80) und das Validierungsmodell. Die absolute Größe der Differenz sollte nicht zu stark bewertet werden, da die beiden Modelle die geringsten Bestimmtheiten haben und im Verhältnis zu den anderen Straten am wenigsten gut übereinstimmen. In den beiden Modellen ist aber die Signifikanz der Expositionstransformation mit einem Maximum im Osten durchaus plausibel. Der Schwerpunkt der Besetzung dieses Stratum liegt bei hohen Temperatursummen. Die Aridität der Standorte deckt das gesamte Spektrum ab, wobei die geringen Ariditäten überwiegen. Ein Südmaximum ist wegen der hohen Temperaturen nicht zu erwarten. Die Expositionen Ost und West unterscheiden sich zwar hinsichtlich des potentiellen Strahlungsgenusses nicht, sie sind jedoch in ihrer Wirkung auf Wasser- und Temperaturhaushalt des Standortes verschieden (MAYER, 1976, S 106). Können Osthänge als eher feucht-kühl bezeichnet werden, da die Sonneneinstrahlung erst zu einer Erwärmung der taubesetzten Vegetation führt, sind Westexpositionen bis zur maximalen Sonneneinstrahlung bereits trocken und warm. Westhänge sind daher in der nördlichen Hemisphäre für das Wachstum oft im Minimum (STAGE, 1976, vgl. auch HERZBERGER, 1996). Somit ist das Maximum der Oberhöhenbonität auf Ostexpositionen für ein Gebiet mit breitem Ariditätsspektrum bei durchschnittlich hohen Temperatursummen standortkundlich plausibel.

Das karbonatische Stratum weist ebenfalls ein Ostmaximum der Oberhöhenbonität auf, wobei für das Validierungsmodell das Maximum im Südosten liegt. Im Vergleich zum Stratum Silikat-Alpenostrand, wo ähnliche mittlere Temperatursummen herrschen und das Maximum auf Südexpositionen liegt, ist jedoch hier die Wirkung der Temperatursumme nicht so stark (vgl Abbildungen 28 und 29). Ein Minimum in Richtung Nordexposition ist bei den niedrigen Ariditäten in diesem Gebiet nicht zu

erwarten, so daß das Maximum auf Osthängen biologisch durchaus sinnvoll ist. Die Differenz zwischen der Oberhöhenbonität auf Ost- bzw. auf Westhängen beträgt bei 60% Neigung 2,2 m und ist damit ähnlich groß wie die Differenzen in den anderen Straten.

Die Exposition geht in den verschiedenen Straten in unterschiedlicher Form ein. Einem Maximum der Höhenbonitäten in Südexpositionen für das Stratum Silikat-Alpenostrand stehen die maximalen Höhenwuchsleistungen auf Nord-Osthängen im Mühl/Waldviertel gegenüber. Dies ist ein Hinweis darauf, daß für größere Räume keine einheitlichen Zusammenhänge zwischen Höhenbonität und Exposition bestehen. Es ist auch eine mögliche Erklärung für den nur schwach abgebildeten Zusammenhang von Exposition und Bonität für die relativ große und heterogene Region Silikat-Alpen. Die direkte Wirkung der Neigung ist in den Modellen kaum abgebildet. Sie geht mit Ausnahme des Validierungsmodells für Silikat-Alpenostrand gar nicht oder mit nur sehr geringer Wirkung ein. Als Wechselwirkung mit der Exposition ist sie jedoch in allen Modellen vertreten.

6.2.3 Interpretation für die als Dummy-Variablen kodierte Standortvariablen

Dummy-Variable bewirken eine Parallelverschiebung des gesamten Regressionsmodells, wobei die einzelnen Koeffizienten der Dummy-Variablen zum konstanten Glied dazugezählt werden können, wenn die Dummy-Variable den Wert eins hat. Im Unterschied zu einer Vorstratifizierung bleiben die Koeffizienten der metrischen Variablen konstant. Für das hier angewandte multiplikative Modell (14) bedeuten die Regressionskoeffizienten der Dummy-Variablen eine Veränderung des Prozentsatzes, der in c_0 steckt.

Der Informationsgehalt der Dummy-Variablen ist im Vergleich zu metrischen Variablen gering. Aus den im Abschnitt 4 genannten Gründen wurden sie für die Modelle eingesetzt und liefern auch gewisse Informationen über die Zusammenhänge zwischen der Oberhöhenbonität und dem Standort.

Die bisher besprochenen metrischen Variablen zählen zu den primären Standortsfaktoren. Die als Dummy-Variablen kodierte Standortparameter haben ein unterschiedliches Aggregationsniveau. Das Relief zählt zu den primären Parametern, während der Bodentyp und die Gründigkeit nicht mehr ganz unabhängig von den zuvor besprochenen Standortparametern sind. Das höchste Aggregationsniveau besitzen der Vegetationstyp und der Wasserhaushalt.

Die Regressionskoeffizienten der Dummyvariablen sind in den Tabellen 46 und 47 vergleichend für die einzelnen Straten noch einmal angeführt. Das Relief geht in den meisten Stratifizierungen signifikant ein. Im Vergleich der Modelle (71/80) zu den Validierungsmodellen gehen oft nicht die gleichen Ausprägungen des Reliefs ein, wobei das Vorzeichen der Koeffizienten für den Oberhang plausiblerweise negativ und für den Unterhang positiv ist. Eine Ausnahme davon ist im Validierungsmodell Intermediär zu finden, wo der Oberhang mit positivem Vorzeichen eingeht. Da es sich nicht um einen Datenausreißer handelt, muß dieses unplausible Ergebnis akzeptiert

Tabelle 46:

Regressionskoeffizienten der Dummy-Variablen für die Modelle Silikat-Alpen, Silikat-Alpenostrand und Mühl/Waldviertel, Mod. ... Modell, Val.mod. Validierungsmodell

Stratum	Silikat-Alpen		Silikat-Alpenostrand		Mühl/Waldviertel	
Variable	Mod. 71/80	Val.mod.	Mod. 71/80	Val.mod.	Mod. 71/80	Val.mod.
• Relief						
Oberhang	-	-0.08	-	-	-0.09	-0.04
Unterhang	+0.03	-	-	-	+0.06	
• Vegetation						
frische Kräuter	+0.13	+0.09	+0.16	+0.08	-	+0.12
Oxalis	+0.09	+0.09	+0.13	+0.08	+0.07	+0.09
Vergrasung	-	-	+0.10	-	-	-
Hochstauden	+0.09	+0.09	+0.17	+0.06	+0.06	+0.05
• Wasserhaushalt						
mäßig frisch	-0.04	-	-0.06	-0.05	-	-
sehr frisch	-	+0.05	-	-	-	-
• Bodentyp						
Braunerde auf Löß	-	-	-	-	+0.05	-

Tabelle 47:

Regressionskoeffizienten der Dummy-Variablen für die Modelle Intermediär, Karbonat, Mod. ... Modell, Val.mod. Validierungsmodell

Stratifizierung	Intermediär		Karbonat	
Variable	Mod. 71/80	Val.mod.	Mod. 71/80	Val.mod.
• Relief				
Oberhang	-	+0.07	-0.08	-
Unterhang	-	-	-	+0.09
• Gründigkeit				
seicht	-	-	-0.08	-0.10
• Vegetation				
frische Kräuter	+0.04	+0.10	-	+0.05
Oxalis	+0.06	+0.07	+0.03	+0.07
Vergrasung	-	-	-0.15	-
Hochstauden	+0.04	+0.08	-	-
• Wasserhaushalt				
mäßig frisch	-	-	-0.03	-0.09
sehr frisch	-	+0.04	-	-
• Bodentyp				
Rendsina	-	-	-0.10	-0.12
Mischboden	-	-	-0.04	-0.06

werden, wobei dieses Modell die geringste Bestimmtheit von allen Modellen besitzt. Die Koeffizienten für das Relief liegen zwischen 0.03 und 0.09 und bewirken damit eine Verschiebung der Oberhöhenbonität zwischen 1 m und 3 m. Dabei ist zu bedenken, daß sich mit dem Relief der Wasserhaushalt oder der Vegetationstyp ändern kann, womit solche Differenzen verstärkt werden können. Zu beachten ist, daß infolge des multiplikativen Modellansatzes diese Differenz für höhere Bonitäten größer ist als für niedrigere.

Der Vegetationstyp geht in allen Modellen mit mindestens zwei Ausprägungen ein. Er ist damit im Vergleich zum Bodentyp, der im wesentlichen nur im Stratum Karbonat signifikant ist, offensichtlich von größerer Bedeutung für die Bonität. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch HERZBERGER (1996), der jedoch keine Dummy-Variablen verwendet. Bei ihm zeigen die Zeigerwerte der Vegetation einen deutlich größeren Einfluß als bodenchemische Parameter. Dieses Faktum wird in der Literatur öfter beschrieben (z.B. BROADFOOT, 1969, LA ROI et AL., 1988, JOKELA et AL., 1988, WANG, 1995).

In allen Modellen geht der Oxalistyp positiv ein, wobei er von allen Vegetationstypen die höchste Signifikanz aufweist. Er unterscheidet sich damit von den Bonitäten der restlichen Vegetationstypen am deutlichsten. Der Oxalistyp kommt auf rund der Hälfte aller Fichtenoberhöhenbestände vor, der Astmoos-Heidelbeer-Drahtschmiele (AHD)-Typ auf rund 25% (siehe Tabelle 5). Damit dürfte der Regressionskoeffizient im wesentlichen Ausdruck der Differenz der mittleren Höhenbonität auf Oxalis-Standorten und auf AHD-Standorten bei sonst konstanten Bedingungen sein.² Diese zwei Standorte unterscheiden sich nach HUFNAGEL (1970) durch die bessere Nährstoffsituation der Oxalistypen. Der frische Kräutertyp und der Hochstaudentyp ist in den meisten Modellen ebenfalls signifikant. Ihre Regressionskoeffizienten haben immer ein positives Vorzeichen, und sind ähnlich zu interpretieren wie der Oxalistyp.

Die Vergrasung geht im Stratum Silikat-Alpenostrand und im Stratum Karbonat jeweils nur in die Modelle (71/80) ein. Im silikatischen Stratum ist das Vorzeichen positiv, für Karbonat jedoch negativ. Die Vergrasung deutet im allgemeinen auf höheren Licht und Wärmegenuß hin. Im Stratum Silikat-Alpenostrand sind auf Südexpositionen die maximalen Bonitäten vorhanden, was im Durchschnitt der Standorte dieses Stratums auf die Temperatur als begrenzender Faktor hinweist. Die Vergrasung auf Silikat zeigt auch eine gesteigerte Stickstoffmineralisierung an. Damit ist ein positives Vorzeichen der Vergrasung in diesem Stratum möglich. Im Stratum Karbonat, wo die Aridität deutlicher eingeht als auf Silikat (die maximalen Bonitäten liegen hier trotz ähnlicher Höhenlage auf ostexponierten Hängen) ist die Vergrasung eher als Wärme- und Trockenheitszeiger zu interpretieren. Diese Bedingungen wirken auf Karbonatstandorten negativ auf das Wachstum. Diese Interpretation kann leider nicht durch die Ergebnisse der Validierungsmodelle bestätigt werden, da in diesen die Vergrasung nicht signifikant ist.

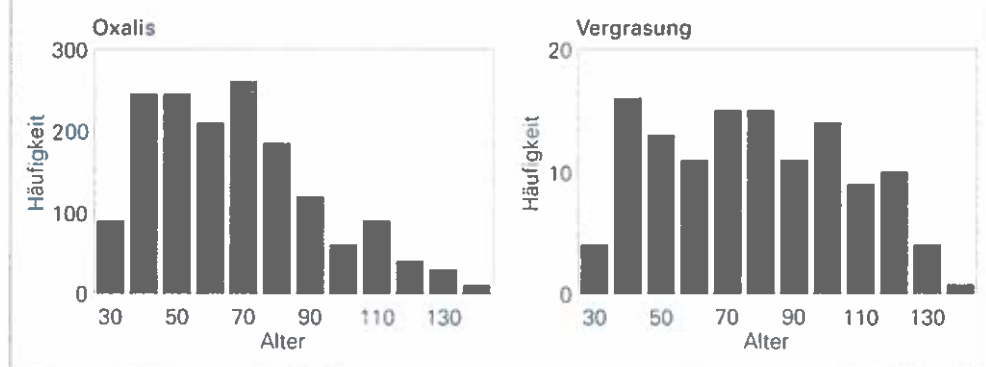
Bei der Interpretation der Vegetationstypen in den Bonitierungsmodellen ist zu berücksichtigen, daß die Vegetation vom Entwicklungszustand des Bestandes

² Der AHD ist im konstanten Glied abgebildet, da er jene Ausprägung des Vegetationstyps war, die nicht in eine Dummy-Variable aufgelöst wurde.

abhängt. In dichten Stangenhölzern ist im allgemeinen keine Bodenvegetation zu finden. Hier wurde versucht, aus der Umgebung den Vegetationstyp abzuleiten. Die Inventur beschränkt also die Klassifizierung des Standortes nach Vegetationstypen nicht auf Zustandsformen, sondern versucht eher ökologische Artengruppen zuzuordnen. Diese sind vom aktuellen Bestandeszustand weitgehend unabhängig. Inwieweit der Vegetationstyp der Inventur vom Alter als Hilfsgröße für die Bestandesentwicklung unabhängig ist, soll in der Abbildung 33 beispielhaft für die Vergrasung und den Oxalstyp gezeigt werden. Beide Vegetationstypen sind in allen Altersgruppen vertreten. Die größere relative Häufigkeit der Vergrasung gegenüber dem Oxalis in den älteren Beständen steht mit den insgesamt schlechteren Bonitäten und damit längeren Umtriebszeiten für vergraste Bestände in Zusammenhang. Inwieweit trotzdem noch ein Teil der Vergrasungen in den Altbeständen aus anderen Vegetationstypen hervorgegangen ist, läßt sich nicht genau feststellen. Sicher ist aber, daß auch in der Stangenholzphase Vergrasungen angesprochen wurden.

Abbildung 33:

Häufigkeiten der Vegetationstypen Oxalis und Vergrasung über dem Alter



Als weiterer Standortparameter, der in Form von Dummy-Variablen im Modell eingesetzt wurde, wird der Wasserhaushalt interpretiert. Dieser Parameter wird bei der Ansprache von anderen bereits genannten Standortvariablen abgeleitet. Der Wasserhaushalt ist damit in den Daten eigentlich redundant und dürfte nicht in die Modelle eingehen, bzw. mit nur großen Interkorrelationen. Er geht aber in nahezu alle Modelle signifikant ein und ist dabei mit anderen Variablen nicht besonders interkorreliert (siehe Abschnitt 5). Diese Tatsache spricht dafür, daß die Variablen, die den Wasserhaushalt bestimmen, in den Modellen nicht in ihrer vollen Wirkung abgebildet werden. Die Redundanz dieses abgeleiteten Parameters könnte auch dadurch eingeschränkt werden, daß sie lokale Ausprägungen von großflächiger angesprochenen Standortparametern (z.B. Relief) oder regional hergeleiteten (z.B. Klimavariablen) näher beschreiben. Das Vorzeichen der Regressionskoeffizienten für mäßig frisch ist immer negativ und für sehr frisch positiv, wobei überwiegend der mäßig

frische Wasserhaushalt eingeht. Damit liegt die maximale Bonität über alle Modelle gesehen im frischen bis sehr frischen Bereich (vgl. MAYER, 1980, S 35ff).

Der Bodentyp geht im wesentlichen nur auf karbonatischen Standorten ein. Dort aber ist die Übereinstimmung zwischen dem Modell (71/80) und dem Validierungsmodell zu beachten. Die Rendsinen weisen in beiden Modellen geringere Oberhöhenbonitäten als die Kalksteinbraunlehme auf. Die Mischböden liegen plausibler Weise zwischen diesen beiden Bodengruppen. Der Grund dafür, daß am Karbonat die Bodengruppen so deutlich eingehen, dürfte in der geringen Feldkapazität der Rendsinen liegen, die für einen guten Wasserhaushalt regelmäßige Niederschläge benötigen (MARGL, 1973). Die Bedeutung des Wasserhaushaltes für Karbonatstandorte ist auch schon bei den Klimavariablen und bei der Exposition sichtbar geworden.

6.2.4 Interpretation des Alters in den Bonitierungsmodellen

Wie im Abschnitt 5 beschrieben, geht das Alter in sämtlichen Stratifizierungen signifikant in die Modelle ein. Dies bedeutet, daß das unterstellte Höhenwachstum der Bonitätsfächer nicht mit dem Höhenwachstum der Fichtenoberhöhenbestände übereinstimmt. Der Grund dafür ist, daß die Standortbedingungen, unter denen die Fächer erstellt wurden, nicht mit denen übereinstimmen, unter denen der Bonitätsfächer angewendet wird. Neben der räumlichen Variation der Standortbedingungen, die solche Differenzen im Höhenwachstumsgang verursachen, haben sich die Indizien für eine Veränderung der Standortsproduktivität über der Zeit vermehrt (SPIEKER & AL., 1996), die auch zu solchen Differenzen führen kann.

Für die folgende Interpretation sind beide, sowohl die räumliche als auch die zeitliche Komponente zu berücksichtigen. Da mehrere Straten, die sich durch bestimmte Standortseigenschaften voneinander abgrenzen, für die Beurteilung des Einflusses des Alters in den Modellen zur Verfügung stehen, kann versucht werden, den räumlichen Aspekt herauszufiltern. Um eine mögliche zeitliche Variation der Standorte beurteilen zu können, sind Erhebungen aus verschiedenen Perioden notwendig. Diese Voraussetzung ist in dieser Untersuchung mit der Einschränkung erfüllt, daß nur zwei Erhebungen zur Verfügung stehen, die auch im Mittel nur 12 Jahre auseinander liegen. Daher wird zusätzlich mit einem Umkehrschluß versucht, die räumliche Variation der Standorte als alleinige Ursachen für die Signifikanz des Alters in den Bonitierungsmodellen zu hinterfragen, indem mehrere Oberhöhenfächer in den Modellen eingesetzt werden.

Neben der Datengrundlage, die zur Erstellung der Oberhöhenfächer dient, hat auch noch die Art der Parametrisierung der eingesetzten Oberhöhenfächer bei gleicher Datengrundlage eine Auswirkung auf die Ergebnisse der Bonitierungsmodelle. Auch diese Tatsache wird im folgenden näher interpretiert werden.

Zunächst wird die Frage behandelt, warum das Alter nicht als eigene Variable in die Modelle eingeht, sondern in Variablen gemeinsam mit der Temperatursumme. Würde das Alter direkt in die Modelle eingehen, dann wäre die Veränderung der Bonität über dem Alter für alle Standortsgüten im logarithmischen Netz konstant. Für das multiplikative Modell (14) wäre sie für höhere Bonitäten größer als für

niedrigere, die prozentuelle Veränderung der Bonität über dem Alter wäre aber für alle Standortsgüten gleich. Da sich jedoch herausgestellt hat, daß die relative Zunahme der Bonität für geringe Standortsgüten kleiner ist als für hohe, muß eine Variable, die eine Kombination aus Alter und Bonität darstellt, die Verhältnisse besser abbilden. Die Temperatursumme ist die StandortsvARIABLE mit der größten Wirkung auf die Oberhöhenbonität. Daher hat sich in Voruntersuchungen die Variable *Temperatursumme*Alter* als jene Transformation des Alters herausgestellt, die die höchste Signifikanz hat. Da die Veränderung der Bonität über dem Alter auch für konstante Temperatursummen nicht linear ist, wurde als zweite Transformation des Alters die Variable *Temperatursumme/Alter* in den Modellen verwendet.

In den Abbildungen 34 und 35 ist der Verlauf der Oberhöhenbonität über der Temperatursumme und dem Alter für die fünf Stratifizierungen aufgetragen. Auch hier wird, wie schon in den Abbildungen davor, die Skalierung zwischen den einzelnen Straten gleich gehalten, aber nur die besetzten Bereiche dargestellt. Für alle Straten zeigt sich eine deutliche Zunahme der Bonität mit sinkendem Alter. In Tabelle 48 sind die jährlichen Zunahmen für die Stratifizierungen zusammengefaßt. Diese Zunahmen werden einerseits für jene Temperatursummen berechnet, bei denen die Bonität im Alter 30 ein Maximum hat, andererseits für eine Temperatursumme von 1400, die noch für alle Straten besetzt ist. Zusätzlich zur absoluten jährlichen Zunahme der Bonität wird auch noch die relative Zunahme bezogen auf die Bonität für das Alter 140 ausgewiesen. Die absoluten Zunahmen betragen zwischen 0.04 und 0.13 m Oberhöhenbonität pro Jahr und stimmen damit gut mit den bei ELFVING et AL. (1995) für Schweden gefundenen Werten von 0.05 bis 0.11 m überein. Die größeren Zunahmen sind bei den höheren Temperatursummen zu finden (bis 0.13 m), während für die Temperatursumme von 1400 der maximale Wert bei 0.07 m liegt. Auch ELFVING et AL. finden im Süden Schwedens, wo sicher höhere Temperatursummen vorhanden sind als im Norden, die größeren Steigerungen. Aber auch die relativen Steigerungen der Bonität (Tabelle 48) sind in den warmen Lagen mit Werten bis zu 0.53% doppelt so groß wie für die Temperatursumme von 1400, wo sie

Tabelle 48:

Jährliche Zunahmen der Bonität zwischen dem Alter 140 und 30 nach Straten für die Temperatursumme, bei der die Bonität im Alter 30 maximal ist bzw. für die Temperatursumme 1400, Mod. ... Modell, Val.mod. ... Validierungsmodell

	für Temperatursumme bei max. Bonität				für Temperatursumme 1400			
	Mod. (71/80)		Val.mod.		Mod. (71/80)		Val.mod.	
	absolut	(%)	absolut	(%)	absolut	(%)	absolut	(%)
Silikat-Alpen	0.13	0.49	0.11	0.40	0.07	0.25	0.06	0.21
Silikat-Osten	0.13	0.53	0.12	0.45	0.06	0.25	0.04	0.18
Mühl/Waldviertel	0.12	0.43	0.11	0.35	0.06	0.25	0.07	0.22
Intermediär	0.10	0.33	0.06	0.19	0.05	0.17	0.05	0.15
Karbonat	0.09	0.36	0.09	0.34	0.06	0.23	0.05	0.20

Abbildung 34:
Oberhöhenbonität (m) über dem Alter und der Temperatursumme für die Straten Silikat-Alpen, Silikat-Alpenostrand und Mühl/Waldviertel und einem Vegetationszeitniederschlag von 400 mm

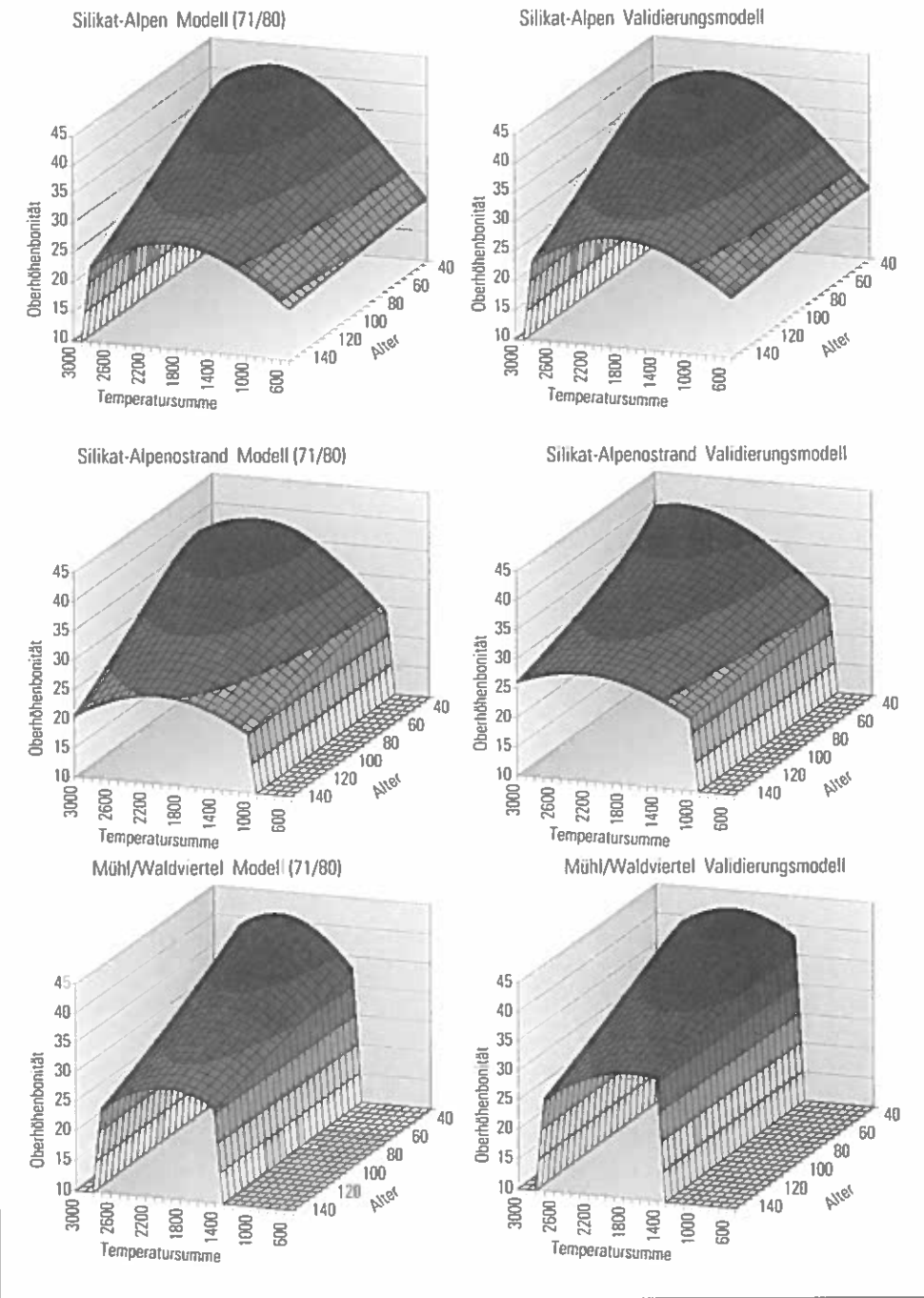
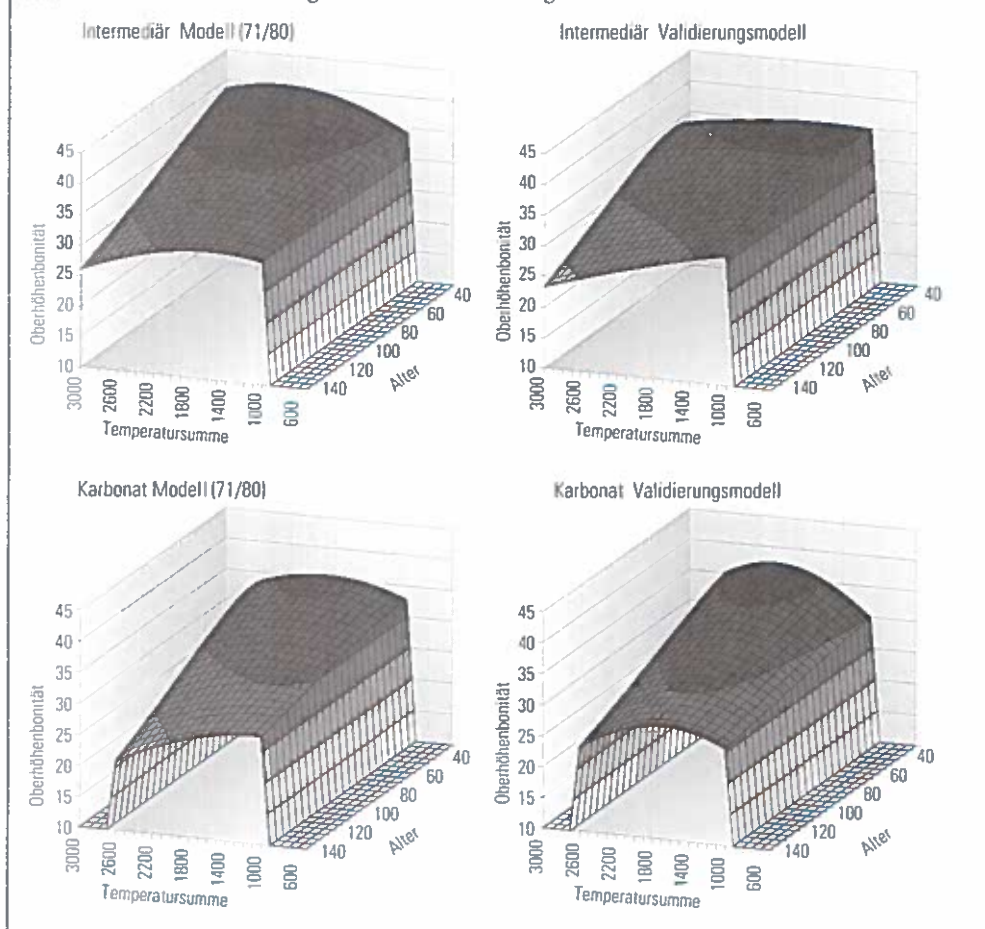


Abbildung 35:

Oberhöhenbonität (m) über dem Alter und der Temperatursumme für die Straten Intermediär und Karbonat und einem Vegetationszeitniederschlag von 400 mm



maximal 0.25% betragen, wobei in einigen Stratifizierungen, wo geringere Temperatursummen besetzt sind, die relativen Zunahmen für diese hohen Lagen noch geringer sind. Eine Bohrkernuntersuchung (SCHADAUER, in Arbeit) kommt für die Zunahme von Jahrringindizes über der Zeit für einzelne Seehöhenstufen zu ähnlichen Ergebnissen.

Die Zunahmen der Bonitäten über dem Alter sind nicht in allen Straten gleich groß. Für Karbonat und Intermediär (wobei letztere nicht so detailliert interpretiert werden soll, da die Modelle hier eine besonders geringe Bestimmtheit aufweisen), ist die Steigerung der Bonität geringer als für die silikatischen Straten. Ein Grund dafür könnte sein, daß auf Karbonat im Durchschnitt das Jugendwachstum langsamer bzw. flacher verläuft als auf Silikat (vgl. Abbildung 12). Daher sind die Abweichungen von noch flacher verlaufendem Wachstum in dem unterstellten Bonitätsfächer geringer.

Abbildung 36:
Oberhöhenbonität (m) über dem Alter und der Temperatursumme für die verschiedenen Bonitätsfächer für das Stratum Silikat-Alpen

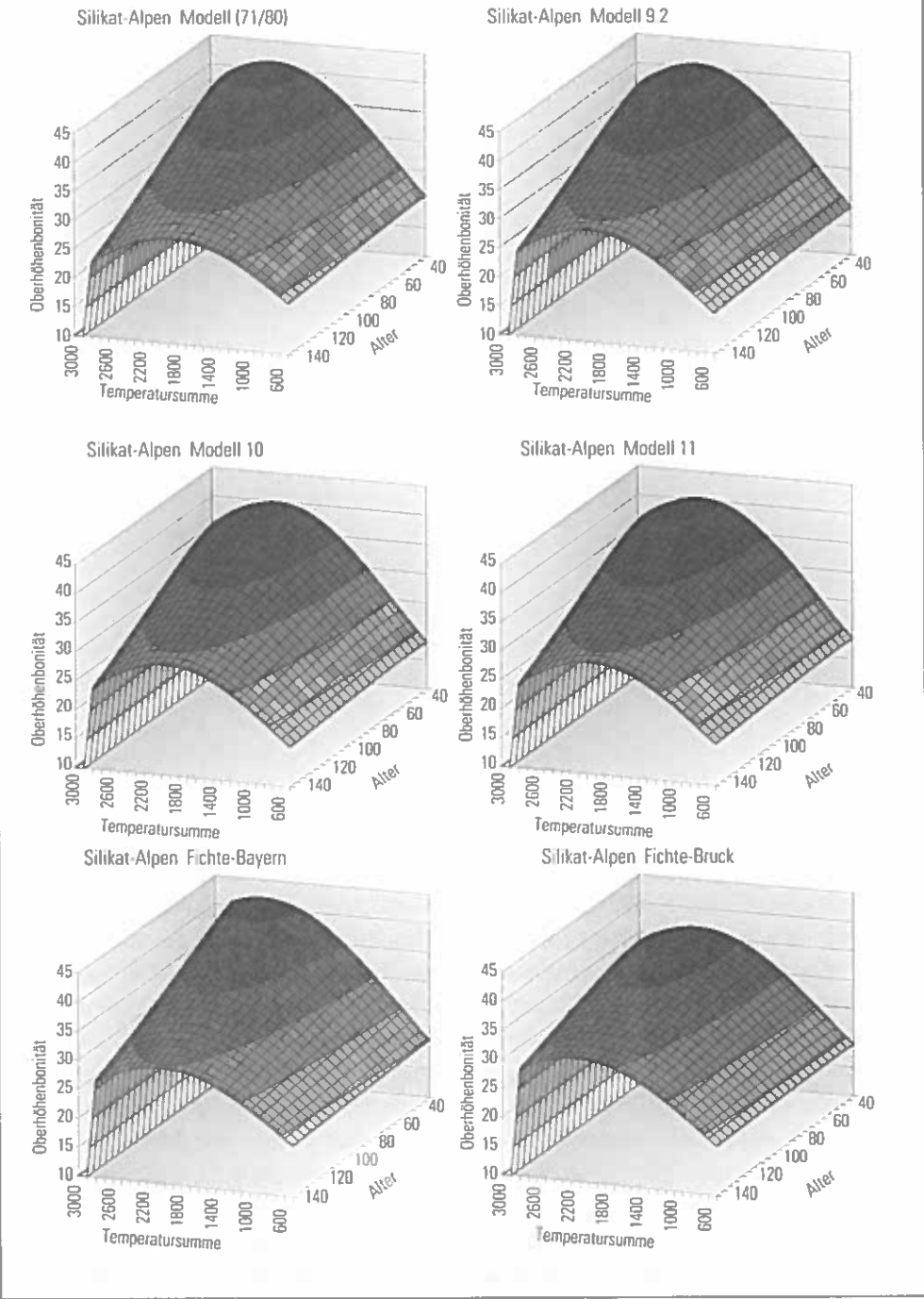
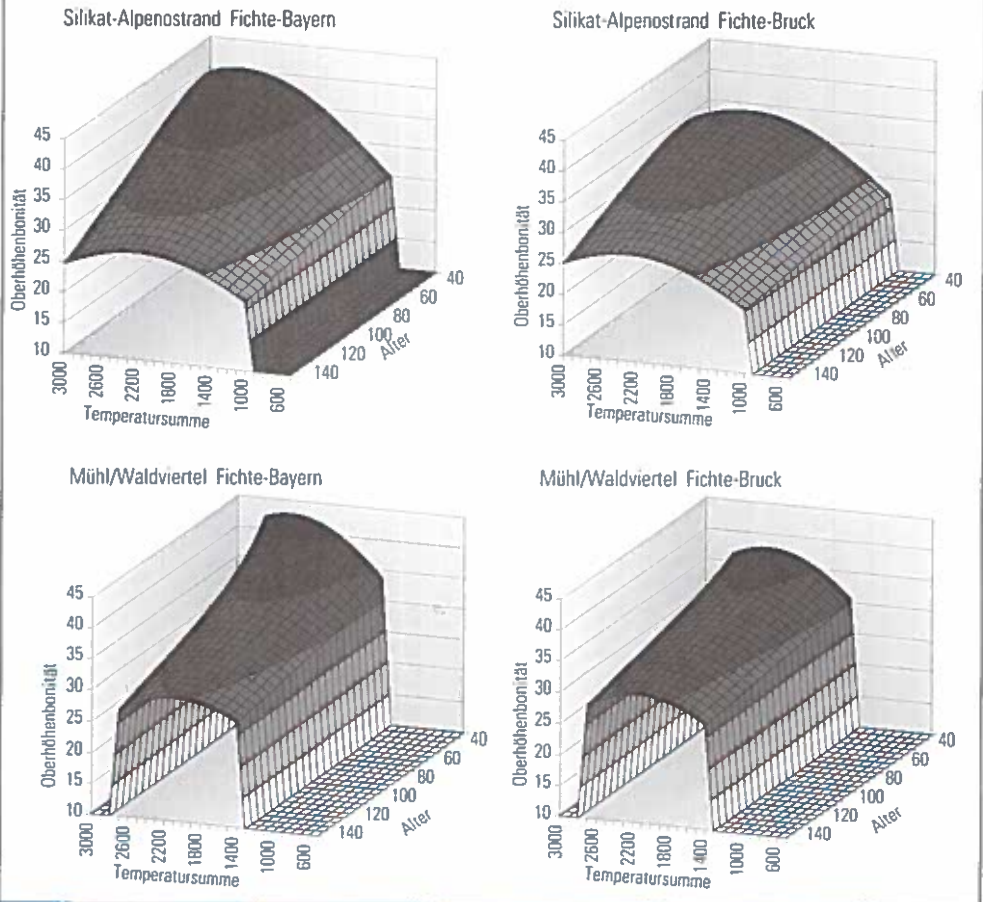


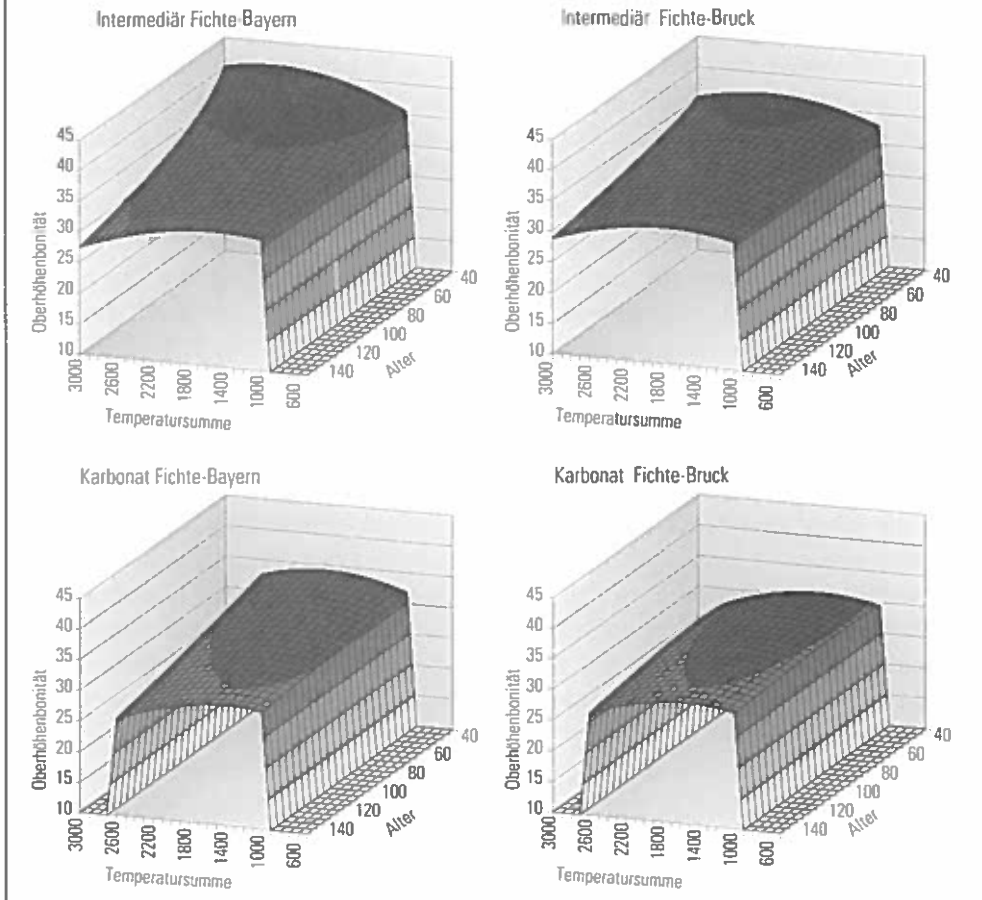
Abbildung 37:

Oberhöhenbonität (m) über dem Alter und der Temperatursumme für die Bonitätsfächer Fichte-Bayern und Fichte-Bruck für die Straten Silikat-Alpenostrand und Mühl/Waldviertel



Die Veränderung der Zunahmen der Bonitäten über dem Alter zeigen ein recht uneinheitliches Bild (Abbildung 33). Für das Validierungsmodell Silikat-Alpenostrand ist für die jüngeren Alter eine beschleunigte Zunahme der Bonität festzustellen. Alle andere Modelle weisen entweder einen linearen Verlauf auf oder eine Degression der Zunahme, die für die Modelle Silikat-Alpen (Validierung) und Silikat-Alpenostrand (71/89) zu einer leichten Abnahme der Bonität zwischen dem Alter 30 und 40 führen. Da diese Verläufe auch in Zusammenhang mit dem eingesetzten Oberhöhenfächer stehen, sind in Abbildung 36 die Ergebnisse für das Stratum Silikat-Alpen für alle sechs Höhenfächer dargestellt. Hier zeigt sich, daß die vier Fächer der Modelle (9.2-12) optisch nahezu idente Ergebnisse liefern. Nur der Fächer nach Modell (12), der zur ursprünglichen Parametrisierung der Bonitierungsmodelle verwendet wurde, unterscheidet sich von den anderen drei durch einen etwas steileren Abfall der Bonität über dem Alter. Die Verläufe der Bonitäten für die Fächer Fichte-Bayern und Fichte-Bruck

Abbildung 38:
Oberhöhenbonität (m) über dem Alter und der Temperatursumme für die Bonitätsfächer Fichte-Bayern und Fichte-Bruck für die Stratum Intermediär und Karbonat



unterscheiden sich jedoch deutlich. Während für Fichte-Bayern der Verlauf über dem Alter linear ist, also keine Abflachung für die jüngeren Alter zeigt wie bei den vier Fächern der Modelle (9.2 -12), ist für Fichte-Bruck der Abfall über dem Alter deutlich geringer. Daher sind für die anderen Stratifizierungen nur mehr die Ergebnisse der Fächer Fichte-Bayern und Fichte-Bruck dargestellt (Abbildungen 37 und 38).

In diesen Abbildungen zeigt sich, daß die Verwendung des Oberhöhenfächers Fichte-Bayern für alle Straten zu höheren Bonitäten in den jungen Altersklassen führt als der ursprünglich verwendete Fächer nach Modell (12). Besonders deutlich ist dieses Faktum für das Stratum Mühl/Waldviertel zu erkennen, wo die Zunahme der Bonität in den jüngeren Beständen deutlich akzelleriert. Für die Verwendung der Bonitäten nach Fichte-Bruck gilt für alle Straten, daß sie einen deutlich geringeren Alterstrend als die Verwendung der anderen Fächer bewirkt.

Da für alle Stratifizierungen und bei Verwendung aller sechs Bonitätsfächer ein nahezu gleichgerichteter Trend der Bonitäten über dem Alter vorhanden ist, kann als Ursache für dieses Faktum fast nur eine zeitliche Veränderung des Standortes in Betracht kommen. Die räumlichen Variation des Wachstumsverlaufes und die damit verbundenen Problematik bei der Anwendung von Oberhöhenfächern außerhalb ihres Entstehungsbereiches kommt durch die Unterschiede in der Steilheit des Trends zum Vorschein. Als alleinige Ursache für die Veränderung der Bonität über dem Alter kommt sie jedoch kaum in Frage, um so mehr, als auch für das Stratum Silikat-Alpenostrand bei Verwendung des Oberhöhenfächers Fichte-Bruck, der aus diesem Gebiet stammt, eine Differenz von bis zu 7 m Oberhöhenbonität zwischen den Altern 30 und 140 Jahren auftritt.

Ein weiteres Argument für die Interpretation der Veränderung der Oberhöhenbonitäten über dem Alter als zeitliche Veränderung des Standortes ist durch die Ergebnisse der Residuen für die Anwendung der Modelle (71/80) auf die Validierungsdaten (86/90) gegeben (siehe Abschnitt 5). Für alle Stratifizierungen waren die beobachteten Bonitäten signifikant über den geschätzten. Die Größe dieser Differenzen mit 0.7 bis 1.1 m für 12 Jahre paßt gut zu den Werten aus Tabelle 48, wo die jährliche Zunahme zwischen 0.05 und 0.13 m beziffert wird. Für die Straten Intermediär und Karbonat liegen die Werte sowohl für die Differenzen zwischen beobachteten und geschätzten Bonitäten, wie auch für die jährlichen Zunahmen unter jenen der silikatischen Straten.

Die unterschiedliche Form, in der das Alter je nach verwendetem Höhenfächer in die Modelle eingeht, kann größtenteils erklärt werden. Der etwas steilere Verlauf der Bonitäten über dem Alter für den Fächer nach Modell (12) im Verhältnis zu den Modellen (9.2-11) ist durch die niedrigere Schätzung der Bonitäten für höhere Alter auf geringwüchsigeren Standorten verursacht (siehe Abschnitt 4.2.2). Die im Verhältnis zu den Fächern nach den Modellen (9.2-12) deutlich andere Form des Verlaufes der Bonitäten über dem Alter für den Fächer Fichte-Bayern kann aus einer möglicherweise verzerrten Schätzung des Fächers Fichte-Bayern für junge Bestände und hohe Bonitäten herrühren. Die Schätzgenauigkeiten und die Anfälligkeit für verzerrte Schätzungen von Bonitätsfächern ist für junge Bestände deutlich höher als für ältere, wobei Verzerrungen vor allem für die höchsten und die niedrigsten Bonitäten auftreten. (siehe Abschnitt 4.2.2, Seite 43ff). Dabei werden im allgemeinen je nach Flexibilität des Modelles zur Parametrisierung des Fächers die hohen Bonitäten für die jungen Alter überschätzt und die niedrigen unterschätzt. Da die jungen Bestände von vornherein eher hohe Bonitäten haben, die zum Teil auch außerhalb des Tafelbereiches Fichte-Bayern liegen, ist eine Überschätzung dieser Bonitäten durchaus möglich. Die Tatsache, daß jene Dauerversuchsflächen, die für die Erstellung der Fächer nach den Modellen (9.2-12) gedient haben auch schon für die Tafel Fichte-Bayern eingesetzt wurden, spricht für diese Vermutung.

Für den Einfluß des Alters in den Modellen bei Verwendung der Ertragstafel Fichte-Bayern und der Fächer nach den Modellen (9.2-12) ist zu bedenken, daß die Oberhöhendefinition für die Erstellung der Fächer (Assmann) eine andere war wie für die Anwendung mit Inventurdaten (Pollanschütz). Die Tatsache, daß die Oberhöhen

nach Pollanschütz für junge Bestände unter der Oberhöhe nach Assmann zu liegen kommen (siehe Abschnitt 4.2.1) kann die Verlangsamung der Zunahme der Bonität mit sinkendem Alter, wie sie für einige Straten festzustellen ist (siehe Abbildungen 34-36), bewirken. Für die Modelle mit Fichte-Bayern ist dieses Faktum noch von der beschriebenen Überschätzung der Bonität für junge Altersklassen überlagert.

Die deutlich geringeren Veränderungen der Bonitäten über dem Alter bei Verwendung des Fächers Fichte-Bruck hat seine Ursache wahrscheinlich in der Datengrundlage des Fächers. Dieser beruht auf Wuchsreihen (siehe Abschnitt 4.2.1), die sich beim Vorhandensein von positiven Wachstumstrends von Dauerversuchsdaten durch einen gekrümmteren Verlauf unterscheiden müssen. Das unterstellt aber, daß schon Wachstumstrends vorhanden waren, als die Wuchsreihen für die Tafel von RIEBEL & PELLETER (1929) aufgenommen wurden, auf welcher der Fächer Fichte-Bruck aufbaut. Jahrringanalysen aus Frankreich und aus Österreich weisen auf einen Wachstumstrend hin, der weit ins letzte Jahrhundert hineinreicht (BECKER, 1989, NEUMANN & SCHADAUER 1995).

Die Beurteilung, ob sich die hier konstatierten Wachstumstrends ab etwa 1940 verändert haben, kann mit den beschriebenen Ergebnissen nicht eindeutig beantwortet werden. Zu dieser Zeit sind die Bestände begründet worden, die zwischen 1970 und 1980 30 bis 40 Jahre alt waren, und für diese Alter zeigt sich für einige Modelle eine Veränderung des Anstieges der Bonitäten über dem Alter. Die Abhängigkeit der diesbezüglichen Ergebnisse von den einzelnen Straten, wie auch von den verwendeten Oberhöhenfächern, lassen keine eindeutigen Aussagen zu. Eine Beschleunigung des Wachstumstrends ab dieser Zeit, wie sie bei STERBA (1995) oder bei RÖHLE (1995) beschrieben wird, kann mit den Ergebnissen dieser Arbeit nicht bestätigt werden. Mit Ausnahme des Validierungsmodelles Silikat-Alpenostrand, das sich schon bei der Wirkung der Neigung auf die Bonität von allen anderen Modellen deutlich unterschieden hat (siehe Abbildung 31), und bei der Verwendung der Ertragstafel Fichte-Bayern für die Straten Mühl/Waldviertel und Intermediär können solche Entwicklungen nicht festgestellt werden. Die Arbeiten von STERBA (1995) und RÖHLE (1995) verwenden auch eine andere Methode, um Wachstumstrends festzustellen. Werden in dieser Arbeit die Wachstumstrends infolge der Differenz der Oberhöhenverläufe von Wuchsreihen mit den Verläufen von verschiedenen Oberhöhenfächern aufgedeckt, finden die zitierten Arbeiten Abweichungen zwischen dem Höhenwachstum von Dauerversuchen (RÖHLE) bzw. von Stammanalysen (STERBA) und dem in Oberhöhenfächern unterstellten Wachstum, wobei die Daten jeweils aus jenem Gebiet stammen, in denen die Fächer erstellt worden sind. In diesen Arbeiten weicht das Wachstum von älteren Bäumen positiv von Oberhöhenfächern ab, wobei diese Abweichungen in den letzten Jahrzehnten immer stärker werden. In der vorliegenden Arbeit wird die positive Abweichung der erreichten Oberhöhe jüngerer Bestände von dem in Oberhöhenfächern unterstellten Wachstum konstatiert, wobei die Abweichung an der Oberhöhenbonität gemessen wird, die ein älterer Bestand auf dem durch die Modelle gleich gehaltenen Standort hat.

Die unterschiedlichen Ergebnisse für den Verlauf der Bonität über dem Alter für die jüngsten Altersstufen in den einzelnen Modellen dieser Arbeit auch bei der Ver-

wendung desselben Oberhöhenfächers hängen wahrscheinlich auch mit Unsicherheiten der Bonitierung von jungen Beständen zusammen (siehe Abschnitt 4.2.2). Die Tendenz, daß die jüngsten Alter meist wieder etwas schlechtere Bonitäten aufweisen, könnte ein Artefakt der niedrigeren Oberhöhen für junge Jahre nach der Definition von Pollanschütz im Verhältnis zu den Oberhöhen nach Assmann sein.

6.3 Abschließende Wertung

Eine Fragestellung der Arbeit war, inwieweit nationale Inventurdaten geeignet sind, die Beziehungen zwischen Standort und Oberhöhenbonität der Fichte zu modellieren. Die Ergebnisse belegen, daß solche Modelle, vor allem in Kombination mit Klimavariablen, standorts- und waldwachstumskundlich plausible Schätzungen liefern. Die Bestimmtheitsmaße der Modelle sind mit Werten zwischen 0.38 und 0.66 jedoch relativ niedrig, stimmen aber mit den Werten, die HÄGGLUND & LUND-MARK(1977) ebenfalls mit Inventurdaten erzielen, gut überein. Bei diesem Vergleich ist jedoch zu bedenken, daß sie die Modelle nur für zwei kleine Gebiete in Schweden parametrisiert haben, und so den Modellen relativ homogene Standortsbedingungen zugrunde gelegen sind. Sie haben die Modelle im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit ohne das Alter parametrisiert, obwohl die Residuen über dem Alter einen deutlichen Trend gezeigt haben, der jedoch als genetischer Einfluß interpretiert wurde.

Die Reststreuung der Modelle setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen:

- Nicht alle Wirkungen des Standortes auf das Wachstum gehen in die Modelle ein
- Die Wirkungstransformationen müssen nicht den tatsächlichen Beziehungen entsprechen
- Die Oberhöhenbonität wird auch von anderen Faktoren bestimmt, wie etwa vom Einfluß der Genetik (für Kunstverjüngung) oder von der Bestandesbehandlung
- Der Standort wirkt nicht nur auf das Höhenwachstum
- Die Bonitierungsfunktion besitzt einen Fehler
- Die unabhängigen Variablen sind mit Fehlern behaftet (Problem für die Anwendung der Regression)
- Die abhängige Variable ist mit einem Fehler behaftet

Bei der Anwendung der Modelle ist zu berücksichtigen, daß die Standardabweichungen der Bonitätsschätzung von rund 3 m die durch die Erhebungsungenauigkeiten hervorgerufene Standardabweichung beinhaltet. Da es keine Untersuchungen über diesen Fehler im Rahmen der Inventur gibt, kann hier nur durch eine einfache Simulation die Größe dieses Variationsanteiles abgeschätzt werden. Generiert man für einen Standardabweichung der einzelnen Höhenmessung von 1.5 m und eine Standardabweichung der Altersschätzung von 1.5 Jahren (wobei für die Alterswerte fünfjährige Klassen gebildet werden) einen Datensatz und berechnet man daraus die Bonität nach Modell 12, so ergibt sich der Standardfehler der Bonität für verschiedene

Alter und Bonitäten gemittelt mit 1.8 m. In einer einfachen Varianzkomponentenschätzung ergibt sich der Anteil der Meßfehler am gesamten Restfehler mit nur 10%. Dieser Anteil ist gering, weil die Bonität durch drei Höhenmessungen geschätzt wird. Daher sind die Schätzfunktionen auch in der Anwendung mit relativ großen Fehlerrahmen behaftet, die eine praktische Verwendung problematisch erscheinen lassen.

Als aufschlußreich stellt sich jedoch die Interpretation der Ergebnisse in standortkundlicher Hinsicht dar. Die für Bonitierungsmodelle sehr weitgehende Interpretation dieser Arbeit stützt sich auf eine relativ gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse in den Validierungsmodellen. Der Informationsgehalt der Interpretation ist durch die Verwendung klimatischer Informationen wesentlich erweitert worden. Die geringere Aussagekraft für das Stratum Intermediär ist einerseits durch die Heterogenität dieses Stratum bedingt, andererseits spielt der genetische Einfluß auf das Wachstum in diesem Gebiet eine größere Rolle als in den anderen Straten, da sich die Fichte hier im wesentlichen außerhalb ihrer natürlichen Verbreitung befindet.

Ein wesentlicher Teil dieser Arbeit ist der Erkundung von Wachstumstrends gewidmet. Das Alter hat in den Bonitierungsmodellen aller Straten einen sehr großen Erklärungsanteil, der fast genauso groß ist wie jener der Temperatur. Es ist jedoch kaum vorstellbar, daß heute begründete Bestände auf guten Standorten in 100 Jahren um bis zu 13 m größere Oberhöhen besitzen werden als der Vorbestand. Eine solche Interpretation ist auch aus folgenden Gründen unzulässig:

Die Ergebnisse deuten auf Wachstumstrends hin, die schon lange Zeit (bis in das letzte Jahrhundert) wirksam waren. Das bedeutet, daß sie auch auf jene Bestände gewirkt haben müssen, die zur Erstellung der Oberhöhenfächer herangezogen wurden. Für diesen Fall muß es jedoch zu einer Überschätzung des Wachstumstrends kommen. Wenn ein positiver Wachstumstrend auf die Versuchsbestände der DEOS-Serie gewirkt hat, so sind die Wachstumsverläufe steiler als ohne Trendeinwirkung, da sich mit zunehmendem Alter die Wachstumsbedingungen verbessert haben (EIDMANN, 1961). Für die Bonitierung verschieden alter Bestände zu einem bestimmten Zeitpunkt bedeutet das Vorhandensein von positiven Wachstumstrends, daß junge Bestände im Durchschnitt günstigere Wachstumsbedingungen vorgefunden haben als ältere, und somit einen zu flachen Wachstumsverlauf vortäuschen. Diese entgegengesetzte Wirkung der Wachstumstrends für eine Bestandeshöhenentwicklung auf der einen Seite und für Wuchsreihen auf der anderen Seite, führt jedenfalls zu einer Überschätzung des Trends. Angaben über die Größe der tatsächlichen Veränderung der Wachstumsbedingungen sind mit einem statischen Ansatz, wie er in dieser Arbeit vorliegt, nicht möglich.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach der Sinnhaftigkeit von Wachstumsmodellen, die die Konstanz der Wachstumsbedingungen über der Zeit voraussetzt. Es gibt vor allem für Nordamerika Ansätze für dynamische Wachstumsmodelle (PRETZSCH, 1992). Sie befassen sich im wesentlichen mit dem Wachstum von Einzelbäumen und erlauben auch keine längerfristigen Ertragsprognosen, da über die Veränderungen der Umweltbedingungen keine gesicherten Prognosen möglich sind (STERBA, 1996).

7 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden Bonitierungsmodelle für die Baumart Fichte [*Picea abies* L. Karst.] mit Daten der Österreichischen Forstinventur erstellt. Dabei wurde die Oberhöhenbonität in Abhängigkeit von Standortsparemtern gesetzt und die Modelle mit linearer Regression parametrisiert. Neben den von der Inventur erhobenen Variablen wie Boden- und Vegetationstyp, Wasserhaushalt, Relief, Exposition und Neigung sowie Gründigkeit sind auch klimatologische Kenngrößen als unabhängige Variable in den Bonitierungsmodellen verwendet worden. Die Klimawerte für Temperatur und Niederschlag wurden in dieser Arbeit in eigenen Regionalisierungsmodellen parametrisiert und für die Stichprobepunkte der Inventur berechnet.

Grundsätzlich wurde für die Bonitierungsmodelle empirischer Ansatz gewählt, da die Datengrundlage der Inventur mit insgesamt mehr als 5000 Fichtenoberhöhenbeständen aus den Erhebungsperioden 1971/80 und 1986/90 sehr umfangreich ist und da mit Daten aus ganz Österreich eine räumliche Extrapolation für die Anwendung der Modelle nicht notwendig ist. Die Modellierung erfolgte jedoch nicht ausschließlich empirisch. So wurde als Wirkungstransformation für die Klimavariablen die Parabelform vorgegeben. Auch die schrittweise Regression wurde nicht schrankenlos eingesetzt. Wo Multikollinearität aufgetreten ist, wurde jeweils eine der interkorrelierten Variablen aus dem Modell entfernt. Um die Modelle abzusichern, wurde die Parametrisierung mit den Daten der Periode 1971/80 durchgeführt und daran eine Validierung mit den Daten der Erhebungsperiode 1986/90 angeschlossen.

Da eine breite Datenbasis vorhanden war und die standortkundlichen Verhältnisse in Österreich heterogen sind, wurden die Daten einer Vorstratifizierung unterzogen. Als Stratifizierungsmerkmale wurden dabei das Grundgestein und Gruppen von Wuchsgebieten gewählt. Insgesamt wurden so fünf Straten unterschieden: Standorte auf silikatischem Festgestein der Alpen ohne Alpenostrand, Standorte auf silikatischem Festgestein des Alpenostrandes inklusive des Sommerwarmen Ostens, das Mühl- und das Waldviertel, Böden auf karbonatischem Festgestein in ganz Österreich und Standorte mit Lockersedimentbraunerden und Pseudogleyen. Das letzte Stratum wurde ausgeschieden, da durch die Erhebung der Inventur auf diesen Standorten keine eindeutige Zuordnung zu karbonatfreiem oder karbonathaltigem Ausgangsmaterial erfolgt ist.

Ein Ziel der Arbeit war es, die Modelle so zu gestalten, daß eine standortkundliche Interpretation möglich ist. Daher wurde versucht, die Modelle der einzelnen Straten vergleichbar zu erstellen. Dabei wurde für die Temperatur, dem wichtigsten Standortsfaktor für das Wachstum der Fichte in Österreich, in Vorstudien mit der Temperatursumme in der Vegetationszeit eine Einflußgröße für alle Modelle festgelegt. Die anderen Einflußgrößen wurden aus einer Auswahl von Niederschlagswerten, Ariditäts- und Feuchtekenzzahlen, Transformationen für die Wirkung von Exposition und Neigung und der qualitativen Merkmale, die in Form von Dummy-Variablen in den Modellen verwendet wurden, mit schrittweisen Regressionen bestimmt.

Als Grundmodell wurde ein multiplikativer Ansatz gewählt, der im allgemeinen biologische Zusammenhänge besser abbildet als ein additiver Ansatz. Ein normales, multiplikatives Modell, das durch Logarithmierung der abhängigen und der unabhängigen Variablen in eine lineare Form gebracht werden kann, ist wegen des Einsatzes von Dummy-Variablen ausgeschlossen. Daher wurde ein Modell gewählt, bei dem die Standortvariablen als Exponenten der Regressionskoeffizienten eingesetzt werden, die wiederum multiplikativ miteinander verknüpft sind. Dieses Modell läßt sich durch Logarithmieren der abhängigen Variablen linearisieren und ist daher auch für Dummy-Variable geeignet.

Ein weiteres Ziel der Arbeit war es, auf die Problematik von Wachstumstrends einzugehen. In Bonitierungsmodellen werden Wachstumstrends abgebildet, indem das Alter als unabhängige Variable in die Modelle einbezogen wird. Um die Frage klären zu können, ob die Variable Alter in den Bonitierungsmodellen nicht nur die räumliche Variation des Oberhöhenverlaufes widerspiegelt, da die Bestände für die Erstellung des Oberhöhenfächers auf anderen Standorten stocken als die Bestände, für die der Fächer angewendet wird, wurden mehrere Bonitierungsfächer eingesetzt. Weiters wurde versucht festzustellen, inwieweit die Art der Erstellung von Bonitierungsfächern einen Einfluß auf die Art, in der das Alter in die Bonitierungsmodelle eingeht, hat. Dazu wurden eigene Oberhöhenfächer mit Daten süddeutscher Dauerversuchsflächen parametrisiert.

Bei der Parametrisierung der Bonitierungsmodelle für die standortkundliche Interpretation und für eine eventuelle Anwendung wurde nur ein Oberhöhenfächer eingesetzt. Dafür wurde ein in dieser Arbeit parametrisierter Fächer ausgewählt, der die besten Schätzgenauigkeiten und die geringsten Verzerrungen der Schätzung über alle Alter und Bonitäten aufweist. Interessanterweise handelt es sich dabei um den einzigen Fächer, der mit einem einfachen additiven Modell erstellt wurde und den anderen aus Exponentialmodellen erstellten Oberhöhenfächern überlegen war. Die hohe Flexibilität des ausgewählten Fächers beruht auch auf der Tatsache, daß es sich um ein fünfparametrisches Modell handelt, während die anderen Modelle weniger Parameter haben.

Die Ergebnisse der Parametrisierung der Bonitierungsmodelle für die fünf Straten lassen sich für die meisten Variablen standortkundlich plausibel interpretieren. Die gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse in Validierungsmodellen, die eine unabhängige Zweitparametrisierung der Modelle darstellen, untermauert die Ergebnisse. Die Modelle aller Straten weisen deutlich auf den primären Einfluß der Temperatur auf die Oberhöhenbonität hin. Die Wirkung des Niederschlags auf die Höhenbonität ist für die einzelnen Straten unterschiedlich. In den meisten Modellen geht der Niederschlag in Form einer Ariditätskennzahl (Vegetationszeitniederschlag / Temperatursumme der Vegetationszeit) ein. Im Modell für das Stratum silikatische Böden der Alpen spielt der Niederschlag keine Rolle. Offensichtlich tritt er hier nicht als wachstumsbegrenzender Faktor auf, da in den niederschlagsarmen Innenalpen kaum Fichtenoberhöhenbestände vorkommen, sonst aber ausreichend Niederschlag vorhanden

ist. In den anderen Straten nimmt zum Teil nur bei größeren Temperatursummen die Höhenbonität unter einem Vegetationszeitniederschlag von 600 mm ab. Nur im Mühl- und im Waldviertel, wo kontinentalere Klimabedingungen herrschen, ist eine Abnahme der Bonität erst ab geringeren Vegetationszeitniederschlägen (etwa 470 mm) zu beobachten. Unter 300 mm Vegetationszeitniederschlag kommen kaum Fichtenoberhöhenbestände vor.

Die Wirkung der Exposition, die gemeinsam mit der Neigung in einer Wirkungstransformation verwendet wurde, hängt eng mit den Wirkungen für Temperatur und Niederschlag zusammen. Daher gehen diese Transformationen in den verschiedenen Straten unterschiedlich in die Bonitierungsmodelle ein. In den Alpen (inkl. Ostrand) auf silikatischem Ausgangsmaterial, wo der Niederschlag eine geringe Rolle spielt, bzw. die Temperatursumme im Verbreitungsgebiet der Fichtenoberhöhenbestände häufig geringe Werte annimmt, sind auf Südexpositionen die höchsten Bonitäten zu finden. Entsprechend dazu liegt das Minimum der Bonitäten auf nordexponierten Hängen. Für den Alpenostrand ist das zunächst erstaunlich, erklärt sich aber durch die im Mittel relativ hohen Lagen der Fichtenoberhöhenbestände in diesem Stratum. In den anderen Straten, wo der Niederschlag eine größere Rolle spielt, ist die maximale Bonität auf Osthängen zu finden. Diese haben im Vergleich zu Westhängen ein feuchteres Klima, da ein morgendliches Maximum der direkten Einstrahlung weniger austrocknend wirkt, als ein nachmittägliches, wo die Lufttemperatur deutlich höher ist. Auf karbonatischen Böden ist, trotz relativ hoher Lagen der Fichtenoberhöhenbestände, die Ostexposition am günstigsten für das Höhenwachstum, da Rendsinen und auch Mischböden geringe Feldkapazitäten aufweisen und daher bereits kurze Trockenperioden zu Wachstumsdepressionen führen. Die höchsten Ariditäten finden sich im Stratum für das Mühl- und Waldviertel, wo die maximalen Bonitäten daher im Nordosten liegen.

Die anderen Standortsmerkmale sind in Form von Dummy-Variablen kodiert worden. In allen Straten war vor allem der Vegetationstyp von Bedeutung, während der Bodentyp nur auf Karbonat signifikant war. Damit konnte der offensichtlich größere Einfluß der höher aggregierten Variablen Vegetationstyp im Vergleich zum Bodentyp aufgezeigt werden. Relief, Gründigkeit und Wasserhaushalt sind im wesentlichen in der zu erwartenden Form in verschiedenen Kombinationen signifikant gewesen. Das heißt, daß der Oberhang mit negativem, der Unterhang mit positivem Regressionskoeffizienten, der mäßig frische Wasserhaushalt mit negativem, der sehr frische mit positivem Koeffizienten signifikant waren.

Die Bestimmtheitsmaße der Modelle waren mit Werten zwischen 0.38 und 0.66 gering, wobei dies aber bei Verwendung von Inventurdaten mit Angaben aus der Literatur übereinstimmt. Eine Anwendung dieser Modelle liefert daher nur relativ grobe Abschätzungen für die Oberhöhenbonität. Dabei ist jedoch zu beachten, daß bei der Anwendung der Modelle die Variation, die durch die Bestimmung der Bonität aus Alter und Oberhöhe aus einem bestimmten Fächer hervorgerufen wird, wegfällt. Über die Größe des Restfehlers bei der Anwendung der Modelle konnten hier keine exakten Aussagen getroffen werden.

Die Ergebnisse bezüglich der Untersuchung von Wachstumstrends haben gezeigt, daß das Alter in allen Straten und auch bei der Parametrisierung der Modelle unter Verwendung der verschiedenen Oberhöhenfächer immer signifikant eingeht. Da auch bei der Verwendung des Fächers Fichte-Bruck für das Stratum Silikat-Alpenostrand - hier kann die zuvor angesprochene räumliche Variation des Oberhöhenwachstums zwischen den Beständen für die Erstellung und für die Anwendung des Fächers nahezu ausgeschlossen werden - das Alter signifikant ist, bleibt für die Interpretation nur mehr eine zeitliche Veränderung des Wachstumsverlaufes über dem Alter. Das Alter geht jedoch nicht direkt in die Modelle, sondern als Wechselwirkung mit der Temperatursumme ein. Dies wird als Hinweis darauf, daß die relativen Veränderungen der Bonität über dem Alter für hohe Temperatursummen größer sind als für niedrige, interpretiert.

Ob die Wachstumstrends in den letzten 50 Jahren verstärkt aufgetreten sind, wie in der Literatur zu finden ist, konnte mit dieser Arbeit nicht beantwortet werden, da die Unsicherheiten bei der Schätzung der Bonität der jungen Bestände besonders groß ist. Neben großen Standardabweichungen für die Schätzung von Bonitäten junger Bestände waren dafür auch ein Bias vor allem bei den höchsten und niedrigsten Bonitäten, wie er bei der Parametrisierung von Bonitätsfächern auftreten kann, verantwortlich. Eine unkritische Verwendung von Oberhöhenfächern für Fragestellungen bezüglich Wachstumstrends ist daher problematisch.

Die Ergebnisse der Modellvalidierung haben gezeigt, daß für alle Straten die beobachteten Bonitäten der Periode 1986/90 über den geschätzten Werten der aus der Periode 71/80 parametrisierten Modelle lagen. Die Größenordnung dieser signifikanten Unterschiede paßte zu den Veränderungen der Bonität über dem Alter aus den Modellen. Für eine Interpretation der Größenordnung der Wachstumstrends wurde hingewiesen, daß, wenn die Wachstumstrends bereits auf jene Bestände gewirkt haben, die zur Erstellung der Fächer gedient haben, die Veränderungen der Bonität über dem Alter die Wachstumstrends auf jeden Fall überschätzen müssen. Damit kann das Vorhandensein von Wachstumstrends mit dieser Arbeit ein weiteres Mal bestätigt werden, über das Ausmaß der Veränderungen sind methodisch bedingt hier keine Aussagen möglich.

Literatur

- ABETZ K. (1929): *Zum Problem des Normalvorrates und der Zuwachsermittlung*. Allg. F.- u. J.-Ztg, 105: 373
- ANDERS S., HOFMANN G. & UNGER S. (1985): *Quantifizierung der Leistungspotenz natürlicher Standortproduktivkräfte für die Rohholzerzeugung anhand ökologischer Ertragsmodelle – dargestellt am Beispiel natürlicher Buchenwälder des unteren Berglandes*. Beitr. Forstwirtschaft 19: 97-109
- ANDRAE F. (1990): *Überraschende Ergebnisse bei betrieblichen Forstinventuren*. Cbl. f. ges. Forstw. 107: 203-231
- ASSMANN E. (1962): *Langperiodische Klimaänderung und dynamische Bonitierung*. AFZ, München 17: 345
- ASSMANN E. & FRANZ F. (1965): *Vorläufige Fichtenertragstafel für Bayern*. Forstw. Cbl. 84: 13-43
- AUER I. (1993): *Niederschlagsschwankungen in Österreich, Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*, Heft 7, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, 73 p
- BADEAU V., BECKER M., BERT D., DUPOUEY J.-L., LEBOURGEOIS F. & PICARD J.-F. (1996): *Long-Term Growth Trends of Trees: Ten Years of Dendrochronological Studies in France*. In: *Growth Trends in European Forests*, Spieker H., Mielikäinen K., Köhl M., Skovsgaard J. P. (Eds.), European Forest Institute Research Report No.5, Springer, p 167-182
- BAULE, B. (1917): *Zu Mitscherlichs Gesetz der physiologischen Beziehungen*. Landw. Jahrbuch, No. 51: 363-385
- BAUMGARTNER A., REICHEL E. & WEBER G. (1983): *Der Wasserhaushalt der Alpen*. R. Oldenburg Verlag, 343 p
- BAUR F. (1881): *Die Rotbuche in Bezug auf Ertrag, Zuwachs und Form*. Verlag Paul Parey, Berlin, 203 p
- BECKER M. (1989): *The role of climate on present and past vitality of silver fir in the Vosges mountains in the northeastern France*. Can. Jou. For. Res. 19: 1110-1117
- BECKER M., BERT G. D., BOUCHON J., DUPOUEY J. L., PICARD J. F. & ULRICH E. (1995): *Long-term Changes in Forest Productivity in Northeastern France: the Dendroecological Approach*. In: *Forest Decline and Atmospheric Deposition Effects in the French Mountains*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, p 143-156
- BECKER M., BRÄKER O.-U., KENK G. SCHNEIDER O. & SCHWEINGRUBER F.-H. (1990): *Kronenzustand und Wachstum von Waldbäumen im Dreiländereck Deutschland-Frankreich-Schweiz in den letzten Jahrzehnten*. AFZ, München, 45: 263-274
- BEERS T. W., DRESS P. E. & WENSEL L. C. (1966): *Aspect Transformation in Site Productivity Research*. J. For. 64: 691-692
- BLEYMÜLLER J., GEHLERT G. & GOLICHER H. (1987): *Statistik für Wirtschaftswissenschaftler*. 5. Auflage, Verlag Franz Vahlen München, 242 p
- BOYER W. D. (1983): *Variation in Height-Over-Age Curves for Young Longleaf Pine Plantations*. For. Sci., Vol 29: 15-27
- BRAUN (1969): *Österreichische Forstinventur – Methodik der Auswertung und Standardfehler-Berechnung*. Mitteilungen der FBVA Nr. 84, 60 p
- BROADFOOT W. M. (1969): *Problems in Relating Soil to Site Index for Southern Hardwoods*. For. Sci. 15: 354-364
- CHEN S. J. & HWANG C. L. (1992): *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making, Methods and Applications*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol. 375, Springer Verlag
- CIESZEWSKI C. J. & BELLA I. E. (1989): *Polymorphic height and site index curves for lodgepole pine in Alberta*. Can. J. For. Res. 19: 1151-1160
- CLUTTER M. L. & HYINK D. M. (1991): *Establishing Cause-effect Relationships Using forest Survey Data, Comment IV*. For. Sci. 37: 1520-1523

- CURTIS O. R., DEMARS D. J. & HERMAN F.R. (1974): *Which Dependent Variable in Site Index - Height - Age Regressions?* For. Sci. 20: 74-87
- DAHMS W. G. (1975): *Gross yield of central Oregon lodgepole pine*. In: Management of lodgepole pine ecosystems symposium proceedings, David M. Baumgartner, Ed., p 208-232, illus. Wash State Univ Co-op Ext Serv, Pullmann. 495 p
- DIRMEIRN I. (1964): *Das Strahlungsfeld im Lebensraum*. Akademische Verlagsgesellschaft Frankfurt am Main, 426 p
- DRAPER N. & SMITH H. (1981): *Applied Regression Analyses*. John Wiley & Sons, New York, 709 p
- ECKMÜLLNER O. (1992): *Problematik der Anwendung von Ertragstafeln*. ÖFZ, 103(1): 54-55
- EIDMANN F. (1961): *Langperiodische Klimaänderungen und ihr Einfluß auf ertragskundliche Tatbestände*. Allg. F.- u. J.-Ztg, 132: 137-143
- EINSPAHR D. & MCCOMB (1951): *Site Index of Oaks in Relation to Soil and Topography in Northeastern Iowa*. Jour. For. 49: 719-723
- ELLENBERG H. (1982): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht*. 3. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 989 p
- ELFVING B. & NYSTRÖM K. (1996a): *Stability of Site Index in Scots Pine (pinus sylvestris, L.) Plantations over Year of Planting in the Period 1900-1977 in Sweden*. In: Growth Trends in European Forests, Spieker H., Mielikäinen K., Köhl M., Skovsgaard J. P. (Eds.), European Forest Institute Research Report No.5, Springer, p 71-78
- ELFVING B. & NYSTRÖM K. (1996b): *Yield Capacity of Planted Picea abies in Northern Sweden*. Scand. J. For. Res. 11: 38-49
- ELFVING B., TEGNHAMMAR L. & TVEITE B. (1995): *Growth Trends of Forests in Sweden and Norway*. In: Abstracts of Invited Papers, IUFRO XX World Congress, Tampere Finland, p 273-274
- ELFVING B., TEGNHAMMAR L. & TVEITE B. (1996): *Studies on Growth Trends of Forests in Sweden and Norway*. In: Growth Trends in European Forests, Spieker H., Mielikäinen K., Köhl M., Skovsgaard J. P. (Eds.), European Forest Institute Research Report No.5, Springer, p 61-70
- ELFVING B. & TEGNHAMMAR L. (1996): *Trends of Tree Growth in Swedish Forests 1953-1992: An Analyses Based on Sample Trees from the National Forest Inventory*. Scand. J. For. Res. 11:26-37
- EVERS F. H. & MOOSMAYER H.-U. (1980): *Zusammenhänge zwischen Standorteinheiten, Nährstoffverhältnissen des Bodens und Wachstum von Fichtenbeständen im regionalen Vergleich*. Forstw. Cbl. 99: 137-146
- FBVA (1974): *Instruktion für die Feldarbeit der Österreichischen Forstinventur 1971-80*, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien, 184 p
- FBVA (1981): *Instruktion für die Feldarbeit der Österreichischen Forstinventur 1981-85*, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien, 173 p
- FEISTMANTEL R. (1876): *Allgemeine Waldbestandestafeln*. Verlag Paul Parey, Berlin, 162 p
- FLEWELLING J. W. & PIENAAR L. V. (1981): *Multiplicative Regression with Lognormal Errors*. For. Sci. 27: 281-289
- FLIRI F. (1975): *Das Klima der Alpen im Raume von Tirol*. Monographien zur Landeskunde Tirols, Leidlmair A., Huter F. (Hrsg), Folge, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, 454 p
- FÖRTSTER W., BÖSWALD K. & KENNEL E. (1993): *Vergleich der Inventurergebnisse von 1971 und 1987*. AFZ, München, 48: 1178-1180
- FRANZ F. (1971): *Grundlagen und Verfahren standortsbezogener Leistungsschätzung*. Forschungsberichte Nr. 2, Forstliche Forschungsanstalt München, 384 p
- FRIES J. (1966): *Mathematisch-statistische Probleme bei der Konstruktion von Ertragstafeln*. In: 2. internationale Ertragskunde-Tagung, 1. Bd., Mitteilungen der FBVA, 77. Heft, p 77-94

- FURNIVAL G.M., GREGOIRE T.G., VALENTINE H.T. (1990): *An Analysis of Three Methods for Fitting Site-Index Curves*. For. Sci. 36: 464-469
- GADOW VON K. (1992): *Ein Wachstumsmodell für die Fortschreibung von Bestandesparametern*. In: Festschrift zum 65. Geburtstag von Herrn Prof. Dr. Dr.h.c. Friedrich Franz am 5. August 1992 gewidmet von seinen Schülern, Mitteilungen aus der Waldwachstumsforschung in München, p 75-83
- GOELZ J. C. G. & BURK T. E. (1992): *Development of well-behaved site index equation: jack pine in north central Ontario*. Can. J. For. Res. 22: 776-784
- GOELZ J. C. G. & BURK T. E. (1996): *Measurement error causes bias in site index equations*. Can. J. For. Res. 26: 1585-1593
- GOMORYOVA E. & GOMORY D. (1995): *Relations between environmental factors and height growth and yield of Norway spruce stands: a factor analytic approach*. Forestry, 68: 145-152
- GRANEY D. L. & FERGUSON E. R. (1971): *Site-Quality Relationships for Shortleaf Pine in the Boston Mountains of Arkansas*. For. Sci. 17: 16-22
- GREEN R. N., MARSHALL P. L. & KLINKA K. (1989): *Estimating Site Index of Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii [Mirb.] Franco) from Ecological Variables in Southwestern British Columbia*. For. Sci. 35: 50-63
- GREGOIRE T. G., SCHABENBERGER O. & BARRETT J. P. (1995): *Linear modelling of irregularly spaced, unbalanced, longitudinal data from permanent-plot measurements*. Can. J. For. Res. 25: 137-156
- GUTTENBERG A. v. (1896): *Die Aufstellung von Holzmassen- und Geldertragstafeln auf Grundlage von Stammanalysen*. Österr. Vierteljahresschrift f. Forstw., p 203-237
- GUTTENBERG A. v. (1915): *Wachstum und Ertrag der Fichte im Hochgebirge*. Deuticke-Wien, 151 p
- HÄGGLUNG B. (1975): *Estimating the accuracy of site index curves by means of simulation*. Studia forestalia Suecica, Nr. 129, 34 p
- HÄGGLUNG B. (1981): *Evaluation of forest site productivity*. Forestry Abstracts, Review Article, 42: 515-527
- HÄGGLUNG B. & LUNDMARK J.-E. (1977): *Site index estimation by means of site properties - Scotch pine and Norway spruce in Sweden*. Studia forestalia Suecica, Nr. 138, 38 p
- HARI P. & AROVAARA H. (1988): *Detecting CO₂ Induced Enhancement in the Radial Increment of Trees*. Scand. J. For. Res. 3: 67-74
- HASSALL R. B., MACMILLAN D. C. & MILLER H. G. (1994): *Predicting Sitka Spruce Yields in the Buchan Area of North-East Scotland*. Forestry, 67: 219-235
- HEGER L. (1972): *Effect of Index Age on the Precision of Site Index*. Can. J. For. Res. 3: 1-6
- HERZBERGER E. (1996): *Standortseinflüsse auf die Bonität von Fichtenbeständen in Österreich - Eine Analyse mittels linearer Regression*. In: Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem, Beiträge zum 4. WBS-Seminar in Wien am 23. November 1995, FBVA - Berichte 93, Wien, p 65-86
- HILDEBRANDT G. (1961): *Langperiodische Klimaänderung und ihr Einfluß auf ertragskundliche Tatbestände - Eine Stellungnahme zum gleichnamigen Aufsatz von F. Eidmann*. Allg. F.- u. J.-Ztg. 132: 294-300
- HUFNAGEL (1970): *Der Waldtyp - ein Behelf für die Walddiagnose*. Innviertler Presseverein, Ried im Innkreis, 232 p
- HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH (1994,a): *Die Niederschläge, Schneeverhältnisse und Lufttemperaturen in Österreich im Zeitraum 1981/90*, Beiträge zur Hydrographie Österreichs, 52, Hydrographisches Zentralbüro (Hrsg.), Wien, 529 p
- HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH (1994,b): *Die Häufigkeiten der Niederschläge, Schneehöhen, Lufttemperaturen und Trockenperioden in Österreich im Zeitraum 1981/90*, Beiträge zur Hydrographie Österreichs, 52, Hydrographisches Zentralbüro (Hrsg.), Wien, 574 p
- JOKELA E. J., WHITE E. H. & BERGLUND J. V. (1988): *Predicting Norway Spruce Growth from Soil and Topographic Properties in New York*. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:809-815

- KAHN M. (1994): *Modellierung der Höhenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort*. Forstliche Forschungsberichte München, 141, 204 p
- KAHN M. (1995): *Quasikausale Modellierung des Standort-Leistung-Bezuges als Voraussetzung zum Aufbau flexibler Mischbestandsmodelle*. Forstw. Cbl. 144: 175-187
- KENK G., SPIECKER H. & DIENER G. (1991): *Referenzdaten zum Waldwachstum*. KfK-PEF, Forschungsbericht 82, 59 p
- KILIAN W., MÜLLER F. & STARLINGER F. (1994): *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs - eine Naturraumgliederung nach walddökologischen Gesichtspunkten*. FBVA - Berichte Nr 82, Wien, 60 p
- KLINKA K. & CARTER R. E. (1990): *Relationships Between Site Index and Synoptic Environmental Factors in Immature Coastal Douglas-fir Stands*. For. Sci. 36: 815-830
- LA ROI G. H., STRONG W. L. & PLYTH D. J. (1988): *Understory plant community classifications as predictors of forest site quality for lodgepole pine and white spruce in west-central Alberta*. Can. J. For. Res. 18: 875-887
- LEVINS R. (1966): *The strategy of model building in population biology*. American Scientist 54: 421-431
- LIPAS E. (1985): *Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties*. Folia Forestalia 618, Helsinki, 59 p
- LLOYD F. T. & HAFLEY W. L. (1977): *Precision and the Probability of Misclassification in Site Index Estimation*. For. Sci. 23: 493-499
- MAGNUSSEN S. & PENNER M. (1996): *Recovering time trends in dominant height from stem analyses*. Can. J. For. Res. 26: 9-22
- MARGL, H. (1973): *Waldgesellschaften und Krummholz auf Dolomit*. Angewandte Pflanzenphysiologie, Veröffentlichungen der FBVA Wien, Heft Nr. 21, 82 p
- MARSCHALL J. (1973): *Ertagskundliche und waldbauliche Auswertung von Standortskartierungen im steirischen Koralpengebiet*. Diss. Univ. f. Bodenkultur Wien, 186 p
- MARSCHALL J. (1975): *Hilfstafeln für die Forsteinrichtung*. Österreichischer Agrarverlag, Wien, 202 p
- MARSCHALL J. (1976): *Die neuen Ertragstafeln für Österreich*, AFZtg. 87: 195-200
- MAYER H. (1976): *Gebirgswaldbau - Schutzwaldpflege, ein waldbaulicher Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 436 p
- MAYER H. (1980): *Waldbau auf soziologischer-ökologischer Grundlage*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 483 p
- MCQUILKIN R. A. & ROGERS R. (1978): *A Method for Determining the Precision of Site Index Estimates Made From Site Index Prediction Functions*. For. Sci. 24: 289-296
- MIELIKÄINEN K. (1994): *Vorrats- und Wertentwicklung der finnischen Wälder von 1990 bis 2030*. AFZ, München, 49: 892-894
- MITSCHERLICH G. (1962): *Gedanken zum Aufsatz Eidmanns über langperiodische Klimaänderung*. AFZ, München 17: 346
- MONSERUD R. A. (1984a): *Height Growth and Site Index Curves for Inland Douglas-fir Based on stem analyses Data and Forest Habitat Type*. For. Sci. 30: 943-965
- MONSERUD R. A. (1984b): *Problems with Site Index: An Optionated review. "Forest land classification: experiences, problems, perspectives."* Symposium proceedings, University of Wisconsin, Department of Soil Science, Madison, p 167-180
- MONSERUD R. A. (1985a): *Applying Height Growth and Site Index Curves for Inland Douglas-fir*. USDA Res. Pap. INT. 347, 22 p
- MONSERUD R. A. (1985b): *Comparisons of douglas-fir site index and height growth curves in the Pacific Northwest*. Can. J. For. Res. 15: 673-679
- MONSERUD R. A. (1987): *Variation on a theme of site index*. Presented at the IUFRO Forest Growth Modelling and Prediction Conference, Minneapolis, Mn, August 23-27

- MOOSMAYER H.-U. (1962a): *Einfluß der langperiodischen Klimaänderung auf ertragskundliche Tatbestände*. AFZ, München, 17: 347-348
- MOOSMAYER H.-U. (1962b): *Langperiodische Klimaänderung und ihr Einfluß auf ertragskundliche Tatbestände - Eine Stellungnahme zum gleichnamigen Aufsatz von F. Eidmann*. Allg. F.- u. J.-Ztg. 132: 300-303
- MOOSMAYER H.-U. (1980): *Die Anwendung einer Schätzformel zur Bestimmung der Fichtenwuchslleistung*. Forstw. Cbl. 99: 49-55
- MOOSMAYER H.-U. & SCHÖPFER W. (1972): *Beziehungen zwischen Standortsfaktoren und Wuchslleistung der Fichte*. Allg. F.- u. J.-Ztg. 143: 203-215
- MOOSMAYER H.-U., SCHÖPFER W., MOHLHAUSER G., KUBLIN E. & BURGER H. U. (1996): *Schätzfunktion zur Ermittlung der standortstypischen Wuchslleistung von Fichte und Buche*. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 167: 95-103
- MUTSCH F. (1992): *Lithogene Hauptnährstoffe*. In: Österreichische Waldboden-zustandsinventur - Ergebnisse, Mitteilungen der FBVA 168/I, p 59-86
- NEBE K. (1966): *Über die Standortbedingungen optimal wachsender Fichtenbestände*. Die sozialistische Forstwirtschaft, H. 9, p 268-271
- NEBE W. (1968): *Über Beziehungen zwischen Klima und Wachstum der Fichte (Picea abies) in ihrem europäischen Verbreitungsgebiet*. Arch. Forstwes. 17: 1219-1238
- NEBE K. (1992): *Boden und Klima als Standorts- und Wachstumsfaktoren*. In: Lyr, H., Fiedler H.J., Tranquillini, W. (Hrsg): *Physiologie und Ökologie der Gehölze*. Jena - Stuttgart: Fischer, p 547-575
- NEBE W. & RZEZNIK Z. (1967): *Über das Höhenwachstum und den Ernährungszustand von Fichtenbeständen auf grundwasserfreien Standorten Nordpolens*. Arch. Forstwes. 16: 641-646
- NEUMANN M. & SCHADAUER K. (1995): *Die Entwicklung des Zuwachses in Österreich an Hand von Bohrkernanalysen*. Allg. F.- u. J.-Ztg. 166: 230-234
- NIGH G. D. & SIT V. (1996): *Validation of forest height-age models*. Can. J. For. R. 26: 810-818
- OZENDA P. (1988): *Die Vegetation der Alpen im europäischen Gebirgsraum*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 353 p
- PAYANDEH B. & WANG Y. (1994): *A site-index model remodified*. Can. J. For. Res. 24: 197-198
- POLLANSCHÜTZ J. (1973): *Auswertung von Waldinventuren*. In: 100 Jahre Universität für Bodenkultur Wien, Bd IV, Teil 1, p 355-368
- PRETZSCH H. (1987): *Zur Frage des "Normalwachstums" der Kiefer in der Oberpfalz*. Der Forst- u. Holzwirt 11: 286-293
- PRETZSCH H. (1992): *Zunehmende Unstimmigkeit zwischen erwartetem und wirklichem Wachstum unserer Waldbestände - Konsequenzen für zukünftige ertragskundliche Informationssysteme*. Forstw. Cbl. 111: 366-382
- PRETZSCH H. (1996): *Growth Trends of Forests in Southern Germany*. In: Growth Trends in European Forests, Spieker H., Mielikäinen K., Köhl M., Skovsgaard J. P. (Eds.), European Forest Institute Research Report No.5, Springer, p 107-132
- RAWAT A. S. (1973): *A Mathematical Model for the Site Quality Curves for Seven Important Treespecies in Bavaria*. In: Fries J.: *Growth Models for Tree and Stand Simulation*. IUFRO-Proceedings, S 4.01-4, Nancy
- REBEL K. (1924): *Waldbauliches aus Bayern*. II. Band, Verl. J. C. Huber, Diesen, 228 p
- REHFUESS K. E. (1968): *Zusammenhänge zwischen dem Ernährungszustand und der Bonität nordostbayrischer Tannenbestände (Abies alba Mill.)*. Fw. Cbl. 87: 276-296
- REHFUESS K. E. & BAUM U. (1980): *Beziehungen zwischen dem Wachstum von Fichtenbeständen (Picea abies Karst.) und chemischen Kennwerten für ihre Stickstoffversorgung*. Forstw. Cbl. 99: 146-154

- RIEBEL F. & PELLETER W. (1929): *Fichtenlokalertragstafel für Obersteiermark* (Eigenverl.) 17 p
- ROHLE H. (1995): *Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern*. Mitteilungen aus der Staatsverwaltung Bayerns, Heft 48, 272 p
- ROISE J.P. & BETTERS D.R. (1981): *An Aspect Transformation with Regard to Elevation for Site Productivity models*. For. Sci. 27: 483-486
- SCHADAUER K. (1995): *Wachstumstrends in den Wäldern Europas - Bericht vom XX IUFRO Weltkongreß in Tampere Finnland*. Internationaler Holzmarkt, 86(9): 23-24
- SCHADAUER K. (1996): *Growth Trends in Austria*. In: *Growth Trends in European Forests*, Spieker H., Mielikäinen K., Köhl M., Skovsgaard J. P. (Eds.), European Forest Institute Research Report No.5, Springer, p 275-289
- SCHIELER K. & STERBA H. (1994): *Zuwachssteigerung - Reaktion auf Änderung der Standortsproduktivität?* ÖFZ, 105(11): 17-18
- SCHMIDT A. (1969): *Der Verlauf des Höhenwachstums von Kiefer auf einigen Standorten der Oberpfalz*. Forstw. Cbl. 87(1): 33-40
- SCHMIDT, A. (1973): *Ertagsniveau und Standort dargestellt am Beispiel der Kiefer*. Forstw. Cbl. 92: 268-274
- SCHMIDT-VOGT (1977): *Die Fichte*. Band 1, Hamburg und Berlin; Prarey, 647 p
- SCHMOLDT D. L., MARTIN G. L. & BOCKHEIM J. G. (1985): *Yield-Based Measures of Northern Hardwood Site Quality and their Correlation with Soil-Site Factors*. For. Sci. 31: 209-219
- SCHUME H. (1993): *Standörtliche Zonierung von Eichenwaldstandorten in Ostösterreich*. In: *Forschungsinitiative gegen das Waldsterben - Forschungsberichte 1993/5*, p 118-156
- SCHUME H., HUBER S. & HAGER H. (1995): *Gesamtauswertung*. In: *Differenzialdiagnostik der Schäden an Eichen in den Donauländern*, Rödel K. u. Reuther M., GSF-Bericht 11/95, p 17-219
- SPIEKER H., MIELIKÄINEN K., KÖHL M. & SKOVSGAARD J.-P. (1996): *Discussion*. In: *Growth Trends in European Forests*, Spieker H., Mielikäinen K., Köhl M., Skovsgaard J. P. (Eds.), European Forest Institute Research Report No.5, Springer, p 355-368
- SPRINZ P. T., TALBERT C. B. & STRUB M. R. (1989): *Height-Age Trends from an Arkansas Seed Source Study*. For. Sci. 35: 677-691
- STAGE A.R. (1976): *An expression for the effect of slope, aspect and habitat type on tree growth*. For. Sci., 22: 457-460
- STERBA H. (1974): *Ertagskundliche Hypothesen über den Standort*. Habil. Univ. f. Bodenkultur, Wien, 132 p
- STERBA H. (1976): *Die Funktionsschemata der vier Fichtenertragstafeln*. Cbl. ges. Forstw. 93: 102-112
- STERBA H. (1986): *Waldwachstumsgesetze und ihre Erforschung*. Der Förderungsdienst, 34(1):1-7
- STERBA H. (1995): *Forest decline and increasing increments: a simulation study*. Forestry 68: 153-163
- STERBA H. (1996): *Forest Decline and Growth Trends in Central Europe - a Review*. In: *Growth Trends in European Forests*, Spieker H., Mielikäinen K., Köhl M., Skovsgaard J. P. (Eds.), European Forest Institute Research Report No.5, Springer, p 149-167
- STERBA H. & MONSERUD R. A. (1996): *A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria*. For. Ecol. a. Man. 80: 57-80
- STRONG W. L., PLUTH D. J., LA ROI G. H. & CORNS I. G. W. (1991): *Forest understory plants as predictors of lodgepole pine and white spruce site quality in west-central Alberta*. Can J. For. Res. 21: 1675-1683
- TAIT D. E., CIESZEWSKI C. J. & BELLA I. E. (1988): *The stand dynamics of lodgepole pine*. Can. J. For. R. 18: 1255-1260
- TRIMBLE G. R. & WEITZMANN S. (1956): *Site Index Studies of Upland Oaks in the Northern Appalachians*. For. Sci. 2: 162-173
- VAN LAAR A. (1991): *Forest Biometry*. University of Stellenbosch, S. Africa, 590 p

- WAKONIGG H. (1978): *Witterung und Klima in der Steiermark*. Verlag für die technische Universität Graz, 473 p
- WALTERS D. K., GREGOIRE T. G. & BURKHART H. E. (1989): *Consistent Estimation of Site Index Curves Fitted to Temporary Plot Data*. Biometrics 45: 23-33
- WANG G. G. (1995): *White spruce site index in relation to soil, understory vegetation, and foliar nutrients*. Can. J. For. Res. 25: 29-38
- WEBER E. (1967): *Grundriß der biologischen Statistik*, 6. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 674 p
- WEISE W. (1880): *Ertragstafeln für die Kiefer*. J. Springer Verlag, Berlin, 156 p
- WENK G. & VOGEL M. (1996): *Height Growth Investigations of Spruce (Picea abies, [L.] Karst.) in the Eastern Part of Germany During the Last Century*. In: Growth Trends in European Forests, Spieker H., Mielikäinen K., Köhl M., Skovsgaard J. P. (Eds.), European Forest Institute Research Report No.5, Springer, p 99-108
- ZEIDE B. & ZAKRZEWSKI W.T. (1992): *Selektion of site trees: the combined method and its applikation*. Can. J. For. Res. 23: 1019-1025.

Autor: Dipl.-Ing. Dr. Klemens Schadauer
Forstliche Bundesversuchsanstalt
Institut für Waldinventur
Seckendorff-Gudentweg 8
A-1131 Wien

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände zwischen 30 und 140 Jahren nach Alter	19
Tabelle 2:	Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach Oberhöhenbonität (Oh100 - Fichte Bayern).	19
Tabelle 3:	Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach der Seehöhe	19
Tabelle 4:	Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach den Bodentypengruppen	21
Tabelle 5:	Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach den Vegetationstypen	21
Tabelle 6:	Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach dem Wasserhaushalt	22
Tabelle 7:	Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach dem Relief	22
Tabelle 8:	Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach der Gründigkeit	22
Tabelle 9:	Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach der Exposition	22
Tabelle 10:	Anzahl der Fichtenoberhöhenbestände nach der Hangneigung	22
Tabelle 11:	Anzahl der Stationen für die Temperaturwerte nach Hauptwuchsgebieten	23
Tabelle 12:	Anzahl der Stationen für die Temperaturwerte nach Seehöhenstufen	24
Tabelle 13:	Anzahl der Stationen für die Niederschlagswerte nach Hauptwuchsgebieten	24
Tabelle 14:	Anzahl der Stationen für die Niederschlagswerte nach Seehöhenstufen	24
Tabelle 15:	Bestimmtheitsmaße (Best.Maß) der linearen Regressionen der Temperatur über der Seehöhe für die Innenalpen nach Monaten des Winterhalbjahres	28
Tabelle 16:	Ergebnisse der Kovarianzanalysen (Tests auf ungleiche Absolutglieder und Anstiege) für die Temperaturgrößen Jahrestemperatur, Julitemperatur und Vegetationszeitlänge nach Wuchsgebietsgruppen	30
Tabelle 17:	Absolutglieder (a), Regressionskoeffizienten (b) und Bestimmtheitsmaße (B) für die Jahrestemperatur, Julitemperatur und Vegetationszeitlänge nach Wuchsgebieten	31
Tabelle 18:	Temperaturabnahmen für Juli- und Jahrestemperatur pro 100 m Seehöhe in Tirol getrennt nach Zentralalpen und Randalpen nach Fliri (1975)	31
Tabelle 19:	Vergleich der Vegetationszeitlängen in Tagen nach Wakonigg (1978) mit dem vorliegenden Modell für die drei Seehöhen 600 m, 100 m und 1400 m.	34
Tabelle 20:	Dauer in Tagen und Termine für verschiedene Vegetationszeitlängen	35
Tabelle 21:	Mittlerer Anstieg der Temperatur pro Tag für bestimmte Seehöhenbereiche in ausgewählten Monaten	35
Tabelle 22:	Absolutglieder (a), Regressionskoeffizienten (b), Bestimmtheitsmaße (B) und Stichprobenumfänge (N) der Regressionen für die Vegetationszeittemperatur nach Wuchsgebietsgruppen. Rechtswert und Hochwert sind die Bundesmeldenetzkoordinaten in m.	36
Tabelle 23:	Absolutglieder (a), Koeffizienten (b) und Bestimmtheitsmaße (B) der Ausgleichsrechnungen für den Jahresniederschlag nach Wuchsgebietsteilen.	42
Tabelle 24:	Absolutglieder (a), Regressionskoeffizienten (b), Bestimmtheitsmaße (B) und Stichprobenumfänge (N) für den prozentuellen Anteil des Vegetationszeitniederschlages am Jahresniederschlag in Abhängigkeit von der Seehöhe (m) nach Wuchsgebieten.	46
Tabelle 25:	Absolutglieder (a), Regressionskoeffizienten (b) und Bestimmtheitsmaße (B) für den Vegetationszeitniederschlag in Abhängigkeit von der Seehöhe (See) in m und den Bundesmeldenetzkoordinaten (Hw, R _w) in m für die Wuchsgebiete 7.1 bis 8.2	46
Tabelle 26:	Zusammenstellung der Anteile des Vegetationszeitniederschlages am Jahresniederschlag (N%), der Vegetationszeitlängen (Vegz.) und der daraus ermittelten Kontinentalität (Kont.) für verschiedene Wuchsgebiete und Seehöhen (See), Alpenquerschnitt Tirol	48
Tabelle 27:	Zusammenstellung der Anteile des Vegetationszeitniederschlages am Jahresniederschlag (N%), der Vegetationszeitlängen (Vegz.) und der daraus ermittelten Kontinentalität (Kont.) für verschiedene Wuchsgebiete und Seehöhen (See), Alpenquerschnitt Hohe Tauern	48
Tabelle 28:	Lage der Extremwerte (Max, Min) für die Parameter A, k und m der Chapman-Richardsmodelle für die vier österreichischen Fichtenertragstafeln (in dGZ-Bonitäten, für Fi-Bayern in Oberhöhenbonitäten)	53

Tabelle 29:	Ergebnisse der Parametrisierung der fünf Modelle ((9.1) - (12)).	62
Tabelle 30:	Standardabweichungen der Residuen nach Altersgruppen für die Modelle (9.2) - (12)	66
Tabelle 31:	Anzahl der Dummy-Variablen für die Bodengruppen in den drei Substratgruppen	72
Tabelle 32:	Anzahl der Dummy-Variablen für Vegetationstyp, Gründigkeit, Relief und Wasserhaushalt	72
Tabelle 33:	Ergebnisse für das Modell (71/80) Silikat Alpen, Einheit der Zielvariablen:	77
Tabelle 34:	Ergebnisse für das Validierungsmodell Silikat-Alpen Einheit der Zielvariablen:	78
Tabelle 35:	Ergebnisse für das Modell (71/80) Silikat-Alpenostrand, Einheit der Zielvariablen:	80
Tabelle 36:	Ergebnisse für das Validierungsmodell Silikat-Alpenostrand, Einheit der Zielvariablen:	82
Tabelle 37:	Ergebnisse für das Modell (71/80) Mühl/Waldviertel, Einheit der Zielvariablen:	83
Tabelle 38:	Ergebnisse für das Validierungsmodell Mühl/Waldviertel, Einheit der Zielvariablen:	85
Tabelle 39:	Ergebnisse für das Modell (71/80) Intermediär, Einheit der Zielvariablen:	86
Tabelle 40:	Ergebnisse für das Validierungsmodell Intermediär, Einheit der Zielvariablen:	88
Tabelle 41:	Ergebnisse für das Modell (71/80) Karbonat, Einheit der Zielvariablen:	89
Tabelle 42:	Ergebnisse für das Validierungsmodell Karbonat, Einheit der Zielvariablen:	91
Tabelle 43:	Bestimmtheitsmaße, Regressionskoeffizienten und t-Werte für die Variablen Temperatursumme * Alter und Temperatursumme / Alter für die fünf Stratifizierungen und die verschiedenen Oberhöhenfächer	93
Tabelle 44:	Mittlere Ariditätskennziffern (Temperatursumme in der Vegetationszeit / Vegetationszeitnieder- schlag) für die einzelnen Straten	96
Tabelle 45:	Temperatursummen für die maximalen Oberhöhenbonitäten für die Stratifizierungen Silikat-Alpen, Silikat-Alpenostrand und Mühl/Waldviertel	100
Tabelle 46:	Regressionskoeffizienten der Dummy-Variablen für die Modelle Silikat-Alpen, Silikat-Alpenostrand und Mühl/Waldviertel	108
Tabelle 47:	Regressionskoeffizienten der Dummy-Variablen für die Modelle Intermediär, Karbonat,	108

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Fichtenoberhöhenbestände in Österreich nach Oberhöhenbonitäten	20
Abbildung 2:	Geographische Lage der Fichtendauerversuchsflächen (nach Röhle, 1995)	26
Abbildung 3:	Oberhöhe über dem Alter für die Fichtendauerversuchsflächen	26
Abbildung 4:	Mittlere Jännertemperaturen über der Seehöhe für das Hauptwuchsgebiet 1	29
Abbildung 5:	Zusammenfassung der 22 Wuchsgebiete zu 8 Wuchsgebietsgruppen	32
Abbildung 6:	Vergleich der Ergebnisse der Vegetationszeitlängen in 800 m Seehöhe nach Wuchsgebieten (ohne Hauptwuchsgebiete 7 und 8)	33
Abbildung 7:	Stationswerte der Jahresniederschläge	40
Abbildung 8:	Anwendung des Modells für den Jahresniederschlag auf die Waldfläche	41
Abbildung 9:	Anwendung des Modells für den Jahresniederschlag auf die Waldfläche für die Steiermark	44
Abbildung 10:	Jahresniederschläge nach Wakonigg (1978).	44
Abbildung 11:	Oberhöhen über dem Alter für die Ertragstafelgebiete	51
Abbildung 12:	Oberhöhen über dem Alter für die Bodengruppen	52
Abbildung 13:	Vergleich der Höhenfächer der Tafel Riebel-Pelleter mit der Tafel Fichte-Bruck	57
Abbildung 14:	Vergleich des Höhenfächers der Tafel Fichte-Bruck mit den Wuchsreihenverläufen und den Stam- manalysen von Marschall (1973)	58
Abbildung 15:	Residuen über dem Alter ohne und mit Berücksichtigung der Autokorrelation für das Modell (12)	61
Abbildung 16:	Vergleich des Verlaufes der geschätzten Bonitäten über dem Alter mit und ohne Auto- korrelationsglied für das Modell (9.2).	62

Abbildung 17: Differenzen zwischen den geschätzten Bonitäten aus dem SiMod (9.2) und dem OhMod (9.1) über dem Alter	63
Abbildung 18: Mittlere Residuen (m) der Modelle (9.2) - (12) über Altersgruppen für drei Bonitätsstufen	65
Abbildung 19: Vergleich der Bonitätsfächer für die Modelle (9.2) - (12), Oberhöhen von 15-45 m	67
Abbildung 20: Die Bodengruppen der Oberhöhenbestände mit den Grenzen der räumlichen Stratifizierung	71
Abbildung 21: Residuen über dem Alter, der Temperatursumme und dem Vegetationszeitniederschlag für das Modell Silikat-Alpen. Links: Residuen des Modelles (71/80), rechts: Residuen der Validierung	79
Abbildung 22: Residuen über dem Alter, der Temperatursumme und dem Vegetationszeitniederschlag für das Modell Silikat-Alpenostrand. Links: Residuen des Modelles (71/80), rechts: Residuen der Validierung	81
Abbildung 23: Residuen über dem Alter, der Temperatursumme und dem Vegetationszeitniederschlag für das Modell Mühl/Waldviertel. Links: Residuen des Modelles (71/80), rechts: Residuen der Validierung ..	84
Abbildung 24: Residuen über dem Alter, der Temperatursumme und dem Vegetationszeitniederschlag für das Modell Intermediär. Links: Residuen des Modelles (71/80), rechts: Residuen der Validierung ...	87
Abbildung 25: Residuen über dem Alter, der Temperatursumme und dem Vegetationszeitniederschlag für das Modell Karbonat. Links: Residuen des Modells (71/80), rechts: Residuen der Validierung	90
Abbildung 26: Häufigkeiten der Ariditätskennzahl (Temperatursumme in der Vegetationszeit / Vegetationszeitniederschlag) für die einzelnen Stratifizierungen	97
Abbildung 27: Oberhöhenbonität (m) über dem Vegetationszeitniederschlag (mm) und der Temperatursumme für Silikat-Alpenostrand für das Alter 30 und 140	97
Abbildung 28: Oberhöhenbonität (m) über dem Vegetationszeitniederschlag (mm) und der Temperatursumme für die Straten Silikat-Alpen, Silikat-Alpenostrand und Mühl/Waldviertel und das Alter 50	99
Abbildung 29: Oberhöhenbonität (m) über dem Vegetationszeitniederschlag (mm) und der Temperatursumme für die Straten Intermediär und Karbonat und das Alter 50	101
Abbildung 30: Vegetationszeitniederschlag (mm) über der Temperatursumme für die Straten Silikat-Alpen und Karbonat	101
Abbildung 31: Oberhöhenbonität (m) über Exposition (Grad) und Neigung (%) für die Straten Silikat-Alpen, Silikat-Alpenostrand und Mühl/Waldviertel und das Alter 50	104
Abbildung 32: Oberhöhenbonität (m) über Exposition (Grad) und Neigung (%) für die Straten Intermediär und Karbonat und das Alter 50	105
Abbildung 33: Häufigkeiten der Vegetationstypen Oxalis und Vergrasung über dem Alter	110
Abbildung 34: Oberhöhenbonität (m) über dem Alter und der Temperatursumme für die Straten Silikat-Alpen, Silikat-Alpenostrand und Mühl/Waldviertel und einem Vegetationszeitniederschlag von 400 mm	113
Abbildung 35: Oberhöhenbonität (m) über dem Alter und der Temperatursumme für die Straten Intermediär und Karbonat und einem Vegetationszeitniederschlag von 400 mm	114
Abbildung 36: Oberhöhenbonität (m) über dem Alter und der Temperatursumme für die verschiedenen Bonitätsfächer für das Stratum Silikat-Alpen	115
Abbildung 37: Oberhöhenbonität (m) über dem Alter und der Temperatursumme für die Bonitätsfächer Fichte-Bayern und Fichte-Bruck für die Straten Silikat-Alpenostrand und Mühl/Waldviertel ...	116
Abbildung 38: Oberhöhenbonität (m) über dem Alter und der Temperatursumme für die Bonitätsfächer Fichte-Bayern und Fichte-Bruck für die Stratum Intermediär und Karbonat	117

Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien

			Preis in ÖS
1983	Nr. 150	SMIDT, STEFAN: Untersuchungen über das Auftreten von Sauren Niederschlägen in Österreich. (88 Seiten)	150.—
1983	Nr. 151	Forst- und Jagdgeschichte Mitteleuropas. Referate der IUFRO-Fachgruppe S6.07-00 Forstgeschichte, Tagung in Wien vom 20.-24. September 1982. (134 Seiten)	150.—
1983	Nr. 152	STERBA, HUBERT: Die Funktionsschemata der Sortentafeln für Fichte in Österreich. (63 Seiten)	100.—
1984	Nr. 153	Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (5). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00. Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen. (224 Seiten)	250.—
1985	Nr. 154/I	Österreichische Forstinventur 1971-1980. Zehnjahresergebnis. (Seite 1-216)	220.—
1985	Nr. 154/II	Österreichische Forstinventur 1971-1980. Inventurgespräch. (Seite 219-319)	100.—
1985	Nr. 155	BRAUN, RUDOLF: Über die Bringungslage und den Werbungsaufwand im österreichischen Wald. (243 Seiten)	vergriffen
1985	Nr. 156	Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (6). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 (Wildbäche, Schnee und Lawinen). Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen. (247 Seiten)	vergriffen
1986	Nr. 157	Zweites österreichisches Symposium Fernerkundung. Veranstaltet von der Arbeitsgruppe Fernerkundung der Österreichischen Gesellschaft für Sonnenenergie und Weltraumfragen (ASSA), 2.-4. Oktober 1985 in Wien. (220 Seiten)	250.—
1987	Nr. 158/I	MERWALD, INGO E.: Untersuchung und Beurteilung von Bauweisen der Wildbachverbauung in ihrer Auswirkung auf die Fischpopulation. (Seite 1-196)	250.—
1987	Nr. 158/II	MERWALD, INGO E.: Untersuchung und Beurteilung von Bauweisen der Wildbachverbauung in ihrer Auswirkung auf die Fischpopulation. (Seite 196-364)	250.—
1988	Nr. 159	Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (7). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 (Wildbäche, Schnee und Lawinen). Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen. (410 Seiten)	420.—
1988	Nr. 160	MÖLLER, FERDINAND: Entwicklung von Fichtensämlingen (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.) in Abhängigkeit von Ernährung und seehöhenangepasster Wachstumsdauer im Versuchsgarten Mariabrunn. (256 Seiten)	260.—
1988	Nr. 161	KRONFELLNER-KRAUS, GOTTFRIED; NEUWINGER, IRMENTRAUD; RUF, GERHARD; SCHAFFHAUSER, HORST: Über die Einschätzung von Wildbächen - Der Dürnbach. (264 Seiten)	300.—
1988	Nr. 162	Recent Research on Scleroderris Canker of Conifers. IUFRO Working Party S2.06-02 - Canker Disease-Scleroderris. Proceedings of Meetings in Salzburg/Austria and Ljubljana/Yugoslavia, September 1986. (172 Seiten)	180.—

				Preis in ÖS
1989	163 /I	Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet. (Seite 1-224)		300.—
1989	163 /II	Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet. (Seite 225-422)		300.—
1990	163 /III	Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet. (98 Seiten)		180.—
1990	164 /I	KILLIAN, HERBERT: Der Kampf gegen Wildbäche und Lawinen im Spannungsfeld von Zentralismus und Föderalismus. Historische Grundlagen. (167 Seiten)		180.—
1990	164 /II	KILLIAN, HERBERT: Der Kampf gegen Wildbäche und Lawinen im Spannungsfeld von Zentralismus und Föderalismus. Das Gesetz. (183 Seiten)		190.—
1990	164 /III/2	KILLIAN, HERBERT: Der Kampf gegen Wildbäche und Lawinen im Spannungsfeld von Zentralismus und Föderalismus. Die Organisation. (211 Seiten)		220.—
1990	164 /III/2	KILLIAN, HERBERT: Der Kampf gegen Wildbäche und Lawinen im Spannungsfeld von Zentralismus und Föderalismus. Die Organisation. (133 Seiten)		140.—
1990	164 /IV/1	KILLIAN, HERBERT: Dokumente und Materialien zur Geschichte der Wildbach- und Lawinenverbauung in Österreich. Teil 1. (184 Seiten)		190.—
1990	164 /IV/2	KILLIAN, HERBERT: Dokumente und Materialien zur Geschichte der Wildbach- und Lawinenverbauung in Österreich. Teil 2. (118 Seiten)		120.—
1990	165	KARRER, GERHARD; KILIAN, WALTER: Standorte und Waldgesellschaften im Leithagebirge. Revier Sommerein. Mit einem waldbaulichen Beitrag von Krissl, Wolfgang; Müller, Ferdinand. (245 Seiten)		265.—
1991	163 /IV	Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet. (190 Seiten)		230.—
1991	166	Zusammenfassende Darstellung der Waldzustandsinventur. (265 Seiten)		300.—
1991	167 /I	STROHSCHNEIDER, ILSE: Mittelfristige Veränderungen des Bodenzustandes auf Exaktdüngungsversuchsflächen der FBVA. I.Teil: Unbehandelte Parzellen. (200 Seiten)		200.—
1992	167 /II	STROHSCHNEIDER, ILSE: Mittelfristige Veränderungen des Bodenzustandes auf Exaktdüngungsversuchsflächen der FBVA. II.Teil: Gedüngte Parzellen und Vergleich gedüngter mit unbehandelten Parzellen. (111 Seiten)		115.—
1992	168	Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Ergebnisse. Band I und II (247 Seiten)		250.—
1995	163 /V	Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet. (143 Seiten)		145.—
1995	169	POLLANSCHÜTZ, JOSEF: Bewertung von Verbiß- und Fegeschäden Hilfsmittel und Materialien (146 Seiten)		150.—
1996	170	ANDRECS, PETER: Analyse und statistische Auswertungen von Hochwassermeldungen 1972-1993 – Grundlagen für die Beurteilung von Gefährdungen durch Wildbäche (143 Seiten)		190.—
1996	171	SCHADAUER, KLEMENS: Oberhöhenbonität und Standort der Fichte nach Daten der Österreichischen Forstinventur – Abdruck der im Juni 1997 approbierten Dissertation (135 Seiten)		180.—