

**Modellierung der Höhenentwicklung ausgewählter Baumarten  
in Abhängigkeit vom Standort**

*M. Kahn*  
1994

**Dissertation**

**zur Erlangung des Doktorgrades  
der Forstwissenschaftlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

vorgelegt von  
Markus Kahn  
Freising 1994

## Vorwort

Mit der Analyse des Standort-Leistung-Bezuges und der Entwicklung von Modellen zur Prognose der standörtlichen Wuchsleistung wichtiger Baumarten sind zentrale Themen der modernen Waldwachstumsforschung verbunden. Einerseits soll es dabei gelingen, die zur Beschreibung und Entwicklungsprognose von Beständen mit vielfältigen Baumarten- und Altersmischungen sowie Behandlungsvarianten vorgesehenen Wachstumssimulatoren auch standörtlich auf eine breite und solide Grundlage zu stellen und den Weg für einen großflächigen Einsatz speziell innerhalb der praktischen Forstwirtschaft zu ebnen. Andererseits werden darüber hinaus die waldwachstumskundlichen Modelle für die Szenarioanalyse im Hinblick auf standortbedingte Änderungen der Wuchsbedingungen, wie sie beispielsweise durch Klimaverschiebungen eintreten können, aufgewertet, und es wird der Blick auf die simulativ erzeugten Zusatzinformationen sowie die daraus ableitbaren waldbaulich-ökologischen Konsequenzen geschärft. So gesehen wird die Entwicklung eines Standort-Leistung-Modells zum zentralen Bestandteil einer praxisbezogenen Mischbestandsforschung und einer waldökologischen Ursachen-Wirkungsforschung.

Als Grundlage für diese Standort-Leistung-Analyse dient ein unschätzbar wertvolles Datenmaterial: mehr als 270 Versuche mit den Baumarten Buche, Eiche, Fichte, Kiefer und Douglasie und zum Teil mehr als 100-jährigen Beobachtungsperioden bilden ein solides Fundament für einen empirischen Forschungsansatz. Die zentrale Aufgabenstellung einer waldökologischen Ursachen-Wirkungsforschung erfordert indessen auch die Berücksichtigung theoretischer Zusammenhänge zwischen Standort und Wachstum, die einen eher hypothesengestützten Modellansatz bedingen. Für die Anregung zur Untersuchung dieser Fragestellungen, für die wissenschaftliche Einordnung dieses Untersuchungsansatzes in die aktuelle Mischbestandsforschung und zahlreiche Diskussionen zur Standort-Leistung- sowie zur Waldwachstums-Modellierung danke ich ganz besonders und an erster Stelle Herrn Prof. Dr. Hans Pretzsch.

Für die Bereitstellung der Datengrundlage zeichnen drei Forschungseinrichtungen verantwortlich. Der umfangreichste Teil der Daten stammt aus dem Versuchsflächennetz der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt in Göttingen. Dem Leiter der Abteilung Waldwachstum der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Herrn Forstdirektor Dr. Hermann Spellmann, bin ich zu tiefem Dank verpflichtet: einerseits wegen der Daten, ohne die diese Untersuchung in der vorliegenden Form undenkbar gewesen wäre, und andererseits in der Zeit von Oktober 1992 bis Dezember 1993 wegen bürotechnischer und forschungstechnischer Unterstützung an der Versuchsanstalt. Darüber hinaus danke ich besonders für die durch alle Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der Abteilung

Waldwachstum gestaltete angenehme Arbeitsatmosphäre. Hervorzuheben ist die Unterstützung von Herrn Dr. Jürgen Nagel, der mir beim Einstieg in das Versuchsflächeninformationssystem VIS und bei der Einarbeitung in das Datenbankmanagement wertvolle Hilfen gab. Zu danken habe ich auch Herrn Diplom-Forstwirt Bernd Westphal, der bei zahlreichen technischen Problemen mein erster Ansprechpartner war. Meinen an Herrn Dr. Spellmann, stellvertretend für die Landesforstverwaltung Niedersachsen, gerichteten Dank für die forschungsgerichtete Bereitstellung wertvollster Versuchsflächendaten möchte ich noch einmal ausdrücklich unterstreichen.

In Ergänzung zu meiner Forschungstätigkeit an der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt habe ich in Herrn Prof. Dr. Klaus von Gadow, dem Leiter des Instituts für Forsteinrichtung und Ertragskunde an der Georg-August-Universität Göttingen, einen kritischen Gesprächspartner gefunden. Herrn Prof. Dr. Klaus von Gadow danke ich für anregende Diskussionen vor allem auf dem Fachgebiet der modellorientierten Waldwachstumsforschung.

Ein zweites Fundament des Datenmaterials stellt die Eidgenössische Anstalt für Wald, Schnee und Landschaft in Birmensdorf in der Schweiz, und ich danke Herrn Diplom-Forstingenieur Andreas Zingg nicht nur für die unbürokratische, technisch problemlose und freundliche Vermittlung der Daten von sechs standörtlich äußerst wichtigen Buchen-Versuchsflächen. Zu betonen ist auch die herzliche Gastfreundschaft, die ich bei einem Besuch in Birmensdorf erfahren durfte und die mir unvergessen bleibt. Danken möchte ich auch Herrn Dr. Böhme von der Eidgenössischen Anstalt für Wald, Schnee und Landschaft in Birmensdorf, der mir in kürzester Zeit und mit Akribie die erforderlichen Klimadaten zu den Schweizer Versuchsflächen zusammenstellte.

Die dritte tragende Säule des Datenfundus bilden 71 bayerische Kiefernversuchsflächen, die mir der Vorstand des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde der Ludwig-Maximilians-Universität München, Herr Prof. Dr. Hans Pretzsch, zur Verfügung stellte. Diese bayerischen Versuchsflächen ergänzen das für den Standort-Leistung-Kalkül regional weit gestreute Datenmaterial um einen süddeutschen Schwerpunkt, womit eine in ihrer Gesamtheit beeindruckende Zahlengrundlage für den Forschungsansatz zusammengeführt werden konnte. Für den unersetzlichen Anteil, den Herr Prof. Dr. Hans Pretzsch an dieser Zusammenführung der Daten hatte, bin ich zu großem Dank verpflichtet.

Meinen Mitarbeitern am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München danke ich für die vielfältige Unterstützung, die ich seit meinem Wechsel an den Lehrstuhl für Waldwachstumskunde im Januar 1994 erfahren habe. Zu nennen sind hier Herr Diplom-Forstwirt Martin Bachmann, Herr Dr. Wolfgang Förster, Herr Diplom-Forstwirt

(FH) Paul Jurschitzka, Herr Diplom-Forstwirt (FH) Wolfgang Mantel, Herr Diplom-Physiker Markus Meschederu, Herr Dr. Heinz Röhle, Herr Dr. Heinz Utschig und Herr Diplom-Forstwirt Martin Schmidt sowie Frau Wagner. Die gute Arbeitsatmosphäre am Lehrstuhl hat entscheidend zu dem rechtzeitigen Gelingen der Untersuchung beigetragen.

Meinen Eltern und meiner Schwester danke ich für geduldiges Zuhören und daß ich gerne und oft mit Ihnen zusammen sein darf.

Freising, im Mai 1994

Markus Kahn

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
1.1. Die quasikausale Untermauerung flexibler Wachstumsmodelle	1
1.2. Die Leitideen für die Modellierung des Standort-Leistung-Bezuges	4
1.3. Das Untersuchungsziel	7
2. Eine methodenorientierte Übersicht zu Standort-Leistung-Modellen	9
2.1. Eine methodische Gegenüberstellung von Modellansätzen	9
2.2. A posteriori Standort-Leistung-Modelle	12
2.2.1. Das Modell von MOOSMAYER und SCHÖPFER (1972)	12
2.2.2. Das Modell von SHRIVASTAVA (1976)	15
2.2.3. Das STAND PROGNOSESIS-Modell	17
2.2.4. Zusammenfassende Wertung	19
2.3. A priori Standort-Leistung-Modelle	21
2.3.1. Das Modell von STERBA (1974)	22
2.3.2. Das Modell von ANDERS (1988)	24
2.3.3. Das JABOWA-Modell	27
2.3.4. Zusammenfassende Wertung	35
3. Das Datenmaterial	37
3.1. Die regionale Verteilung und Standortspektren	37
3.1.1. Regionale Verteilung der Versuchsflächen	37
3.1.2. Baumartenverteilung und Standortfaktoren	40
3.2. Standorte und Höhenwachstumsverläufe	45
3.2.1. Buche	45
3.2.2. Eiche	49
3.2.3. Fichte	51
3.2.4. Kiefer	51
3.2.5. Douglasie	53

4.	Methodische Grundlagen	57
4.1.	Die Theorie unscharfer Mengen	57
4.1.1.	Grundbegriffe	58
4.1.2.	Linguistische Variable	60
4.1.3.	Die Reduktion unscharfer Mengen zu reellen Zahlen	63
4.1.4.	Verknüpfungsoperatoren	64
4.2.	Modellrelevante Standortfaktoren, Wirkungsverläufe und Wachstumsfunktionen	69
4.2.1.	Auswahl der Einflußvariablen	69
4.2.2.	Wahl der Wirkungsfunktionen	71
4.2.3.	Parametrisierung der Wirkungsfunktionen	73
4.2.4.	Wachstumsfunktionen	76
5.	Die Entwicklung der Höhe in Abhängigkeit vom Standort	82
5.1.	Die primär qualitativen Standortfaktoren	82
5.1.1.	Auswahl von Nährstoffversorgung und Bodenfrische als modellrelevante Standortfaktoren	82
5.1.2.	Wirkungstransformation qualitativer Variablen	85
5.2.	Die primär quantitativen Standortfaktoren	90
5.2.1.	Geländebezogene Klimagrößenanpassung	90
5.2.2.	Zeitbezogene Klimagrößenanpassung	95
5.2.3.	Standörtliche Störfaktoren	99
5.2.4.	Wirkungstransformation quantitativer Variablen	101
5.3.	Die Eignung verschiedener Wachstumsfunktionen	103
5.3.1.	Schätzung der Oberhöhe aus der Mittelhöhe	104
5.3.2.	Auswahl der Wachstumsfunktion	105
5.3.3.	Normierung der Parameter	111
5.4.	Die Bestandesoberhöhe in Abhängigkeit vom Standort	114
5.4.1.	Modellansätze und allgemeine Modellkomponenten	114
5.4.2.	Modell 1 "Höhe über dem Alter $h(t)$ "	117
5.4.3.	Modell 2 "Zuwachs über dem Alter $zh(t)$ "	120
5.4.4.	Modell 3 "Zuwachs über der Höhe $zh(h)$ "	124
5.5.	Die Bestandesoberhöhe und das Einzelbaumpotential	132
5.5.1.	Transformationsmethode	132
5.5.2.	Höhenwachstumspotential des Einzelbaumes	134

6.	Die Simulationen und Diskussion von Modellen und Methoden	137
6.1.	Der Modelltest und Simulationen	137
6.1.1.	Simulativer Vergleich der verschiedenen Modellansätze	138
6.1.2.	Simulation der baumartentypischen Oberhöhen- entwicklung bei statischen Standortbedingungen	139
6.1.3.	Simulation der Höhenentwicklungsverläufe bei Klimaänderungen	143
6.1.4.	Prognosen der Höhenentwicklungen auf verschiedenen Standorten	148
6.2.	Die Diskussion methodischer Modellaspekte	152
6.2.1.	Vergleichende Diskussion der Modellansätze	152
6.2.2.	Modell "Zuwachs über der Höhe $z_h(h)$ "	155
6.2.3.	Skalierungsproblem von Zugehörigkeitswerten	159
6.2.4.	Skalenniveau und Aussagengenauigkeit	161
6.2.5.	Wirkungstransformationen	165
6.3.	Die abschließende Beurteilung und Ausblick	168
6.3.1.	Abschließende Beurteilung der Modelle	168
6.3.2.	Ausblick auf zukünftige Forschungsaufgaben	172
7.	Zusammenfassung	174
8.	Literatur	178

Anhang