

Strukturentwicklung eines Buchen-Fichten-Mischbestandes

Aus dem Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen

(Mit 1 Abbildung und 2 Tabellen)

Von K. VON GADOW¹⁾

(Angenommen Februar 1997)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Bestandesstruktur; Differenzierung; Durchmischung; Dichte; Durchforstung.

Forest structure; differentiation; mingling; density.

1. EINLEITUNG

Die Entwicklung eines Waldes, der forstlicher Bewirtschaftung unterliegt, wird durch die periodischen waldbaulichen Eingriffe, durch ungeplante Störungen und durch das zwischen den Eingriffen stattfindende Wachstum der Bäume bestimmt. Eine realistische Entwicklungsprognose muß diese unterschiedlichen Zustandsveränderungen und Prozesse beschreiben. Sie kann sich nicht nur auf das ungestörte Wachstum beschränken. Diese Feststellung trifft um so mehr zu, je ungleichförmiger der Bestandaufbau und je vielfältiger die forstlichen Eingriffe sind, denn eine Voraussetzung für die wirksame Planung und Kontrolle forstbetrieblicher Maßnahmen ist die verbesserte Beschreibung des Waldzustandes und das Sammeln von Erfahrungen darüber, wie die Dichte-, Struktur- und Wertverhältnisse in den unterschiedlichsten Beständen durch forstliche Eingriffe verändert werden. Diese Kenntnisse liegen bisher kaum vor, und deshalb steht die Forstwissenschaft ziemlich unvorbereitet einer großflächigen Umgestaltung der Waldbaupraxis gegenüber.

Besondere Bedeutung für die Beschreibung von Mischbeständen und deren Zustandsveränderung hat die räumliche Struktur. Wie die Raumstruktur eines Mischbestandes für die Forstpraxis verständlich und für die Modellierung ausreichend genau beschrieben werden kann, soll mit Hilfe von Aufnahmedaten der Parzelle 1 der Buchen-Fichten Mischbestands-Versuchsfläche Zwiesel 111 aufgezeigt werden (Tab. 1²⁾).

Die Parzelle 1 der Versuchsfläche Zwiesel 111, im Forstamt Zwiesel im Wuchsgebiet *Bayerischer Wald* gelegen, hat eine Flächenausdehnung von 60 m x 60 m. Sie wurde 1954 von ASSMANN und MAGIN angelegt und von KENNEL (1964) erstmals ausgewertet. FRANZ (1986) stellte die Versuchsergebnisse nach etwa 30jähriger Beobachtungszeit zusammen. Auch die letzte wissenschaftliche Auswertung durch PRETZSCH (1992) erbrachte zahlreiche neue Erkenntnisse und wichtige Impulse im Bereich der waldwachstumskundlichen Modellforschung.

2. ZUSTAND UND ZUSTANDSVERÄNDERUNG

Grundlage der Beschreibung der *Entwicklungspfade* von Waldbeständen, also der Abfolge von eingriffsbedingten Veränderungen und natürlichen Wachstumsphasen, ist eine ausreichend genaue Zustandsbeschreibung, insbesondere die Beschreibung der *Bestandesdichte* und *Struktur*.

Zu den bekannten Dichtemaßen zählt der *relative Baumabstand*³⁾, der zwar nur in Beständen mit geschlossenem Kronendach wirksam

¹⁾Manuskript verfaßt zum Anlaß des 70. Geburtstages von Prof. F. FRANZ, 1997.

²⁾Die Daten wurden mir freundlicherweise vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München zur Verfügung gestellt.

³⁾Der relative Baumabstand – das Verhältnis von mittlerem Abstand der Bäume zur Bestandesoberhöhe – ist in der Fachliteratur auch bekannt als S-Prozent (engl. *relative spacing*).

Tab. 1

Datenerhebungen in der Parzelle 1 der Versuchsfläche

Zwiesel 111 (H bedeutet Aufnahme im Herbst;

F bedeutet Aufnahme im Frühling;

BHD = Durchmesser in 1,3 m Höhe cm; H = Baumhöhe m;

KRA = Kronenansatzhöhe m; BKL = Baumklasse nach KRAFT;

KOORD = Stammfußkoordinaten)

Data assessed in plot 1 of the growth trial Zwiesel 111

(H means measurements taken in autumn;

F means measurements taken in spring;

BHD = diameter at 1.3 m height cm; H = tree height m;

KRA = height to base of crown M, BKL = tree class

according to KRAFT; KOORD = tree coordinates)

Aufnahmen	Durchforstung	Datenerhebungen				
		BHD	H	KRA	BKL	KOORD
1954 H		✓	✓	✓		✓
1959 H		✓	✓		✓	
1970 F		✓	✓			
1982 H		✓	✓		✓	✓
1987 H		✓	✓		✓	
1992 H		✓	✓	✓		

ist, dort aber die eingriffsbedingte Veränderung der Bestandesdichte anschaulicher als die *Grundfläche* beschreibt. Beide bestandesbezogenen Dichtemaße berücksichtigen nicht die unterschiedlichen Raumannsprüche der Baumarten und sind daher streng genommen nur in Reinbeständen anwendbar. Für die Quantifizierung der Dichte von Mischbeständen sind bisher nur der Ertragstafel-Bestockungsgrad – bzw. die auf Grundlage der Holztrockendichteverhältnisse biologisch vergleichbaren Grundflächen nach ASSMANN (1961) – und der *Kronenkonkurrenzfaktor* nach KRAJICEK et al. (1961) verfügbar. Zunehmende Bedeutung erhalten die einzelbaumbezogenen Konkurrenz- bzw. *Punktichtemaße*, und deren Verteilung, auf die hier allerdings nicht näher eingegangen werden kann (PRETZSCH, 1992; BIBER, 1996; LEE und GADOW, 1997).

Beispielhaft ist die Grundflächenentwicklung der Parzelle 1, getrennt für die Fichten und Buchen, in Abbildung 1 dargestellt. Deutlich erkennbar ist die wesentlich höhere Grundflächenhaltung der Fichten sowie die höheren Eingriffstärken im Fichtenkollektiv in den Jahren 1958 und 1970. Auf die längeren Phasen ungestörten Wachstums folgen stärkere Eingriffe. Auf die Eingriffe reagiert das Fichtenkollektiv mit einem erheblich höheren Grundflächenzuwachs als das Buchenkollektiv. Bestandesdichte und Eingriffstärke fluktuieren teilweise stark während der 40jährigen Beobachtungsperiode.

In Mischbeständen gelingt eine ausreichend genaue Zustandsbeschreibung nur mit Hilfe von Variablen, die eine räumliche Aussage ermöglichen. Als geeignet erwiesen haben sich z.B. die Verteilungen der *Artendurchmischung* und *Dimensionsdifferenzierung* (GADOW und FÜLDNER, 1992) und die Verteilung der Abstände zu den n nächsten Nachbarn (POMMERENING, 1996). Die Artendurchmischung

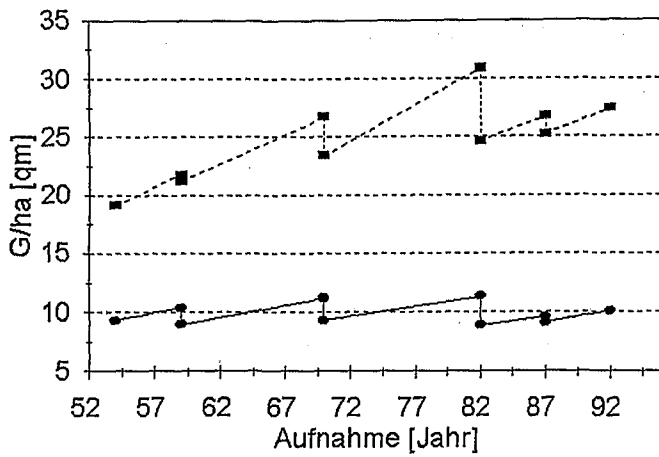


Abb. 1

Eingriffstärke, gemessen in entnommener Grundfläche pro ha für 4 Durchforstungen in Parzelle 1, Zwiesel 111. Die obere Linie zeigt die Entwicklung für das Fichtenkollektiv, die untere Linie für das Buchenskollektiv

Thinning weights, measured in terms of basal area per ha removed in plot 1, Zwiesel 111. The upper line indicates the development of the spruce trees, the lower line represents the beech trees

(M_i) gibt den relativen Anteil artfremder Nachbarn j ($j=1..n$) des i 'ten Baumes an:

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$$

wobei v_{ij} eine diskrete binäre Variable ist, die den Wert 0 annimmt, wenn der Nachbar j der gleichen Art angehört, den Wert 1, wenn es sich um eine andere Art handelt.

Für den i 'ten Baum und dessen n nächste Nachbarn j ($j=1..n$) ist die *Durchmesserdifferenzierung* (T_i) definiert als

$$T_i = 1 - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\min(BHD_i, BHD_j)}{\max(BHD_i, BHD_j)}$$

mit BHD=Brusthöhendurchmesser (cm). Statt des Brusthöhendurchmessers kann eine beliebige Dimensionsvariable (z.B. die Baumhöhe) berücksichtigt werden.

Die Strukturbeschreibung wird vervollständigt durch eine dritte Variable, den durchschnittlichen Abstand des i 'ten Baumes zu dessen n nächsten Nachbarn (A_i)

$$A_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n s_{ij}$$

mit s_{ij} =der Abstand des i 'ten Baumes zu dessen j 'ten Nachbarn (m). Bestände mit komplizierten räumlichen Strukturen lassen sich, wenn auch bisher nur bedingt, aus Stichprobenaufnahmen erzeugen (PRETZSCH, 1993; LEWANDOWSKI und GADOW, 1997). Diese Ansätze eröffnen neue Möglichkeiten für den Einsatz positionsabhängiger Wachstumsmodelle in der Forstpraxis. Zunächst geht es aber darum, die

Waldentwicklung zu modellieren, die zwar auch durch das Wachstum der Bäume, aber vor allem durch die Stärke und die Art der forstlichen Eingriffe bestimmt wird⁴⁾. Die Modellierung von Eingriffen gehört zweifellos zu den vorrangigen Aufgaben der Waldforschung (FRANZ, 1972; SCHOBER, 1987; FÜLDNER und GADOW, 1994; KAHN, 1995; DAUME, 1995).

Die Eingriffsart kann auf unterschiedliche Weise beschrieben werden. Eine übliche Darstellung ist die Verlagerung der Durchmesser-Verteilung (KRAMER, 1988, S. 85). Geeignet für die Modellierung sind auch der *Trennungparameter* (GADOW und STÜBER, 1993) oder das Verhältnis von relativer Stammzahlentnahme zu relativer Grundflächenentnahme (KASSIER, 1993). Im Herbst 1987 wurden im Buchenkollektiv der Parzelle 1 immerhin 32,7% der Stammzahl, aber nur 12,4% der Grundfläche entnommen, bei der Fichte waren es 26,6% der Stammzahl und 20,4% der Grundfläche. Das Verhältnis der Buchendurchforstung ist mit $32,7/12,4=2,64$ etwa doppelt so hoch wie bei der Fichtendurchforstung. Da selbst die vollwüchsigen Buchen Mühe hatten, mit der Fichte Schritt zu halten, wurden sie geschont; zum Erhalt der Mischung wurde bei der Fichte dagegen stärker im Herrschenden eingegriffen, – dies wäre eine mögliche Interpretation.

Die Analyse der eingriffsbedingten Veränderung der *räumlichen Verteilung* der Arten und Baumdimensionen vermittelt weitere Einsichten und erleichtert die Modellierung von Durchforstungen in Mischbeständen auf der Grundlage der bereits erwähnten Verteilungen der *Artendurchmischung*, *Dimensionsdifferenzierung* und *Abstände zu den n nächsten Nachbarn* erheblich. Tabelle 2 zeigt beispielhaft die relativen Häufigkeiten der gemeinsam verteilten Durchmischungs- und Differenzierungswerte für den Gesamtbestand vor dem Eingriff und den ausscheidenden Bestand 1987, getrennt für die Fichten und Buchen. Es wurden jeweils die drei nächsten Nachbarn berücksichtigt. Je dunkler ein Feld umlegt ist, desto höher ist der relative Häufigkeitswert.

Aus den Daten der Tabelle 2 lassen sich Entnahmepräferenzen ableiten (vgl. DAUME 1995). Zum Beispiel befanden sich nur 13%, der Fichten im Herbst 1987 vor dem Eingriff in der Durchmischungs-klasse (0,33)⁵⁾ und in der Differenzierungsklasse (0,3 bis 0,5). Entnommen wurden in diesem Wertebereich aber 75% aller Bäume. Alle entnommenen Fichten hatten genau eine Buche zum Nachbarn. Ähnliche Interpretationen ergeben sich für das Buchenkollektiv. 40% aller entnommenen Buchen befanden sich in reinen Buchengruppen. Bei weiteren 40% der entnommenen Buchen waren 2 der 3 nächsten Nachbarn ebenfalls Buchen.

Besonders interessant im Zusammenhang mit der Analyse eines Eingriffes ist der Vergleich der beobachteten mit erwarteten Strukturparametern. Speziell handelt es sich dabei um die erwartete Verteilung der Differenzierungswerte bei gegebener Durchmesser-Verteilung bzw. die erwartete Verteilung der Durchmischungswerte bei gegebenen Artenanteilen. Auf diese Vergleichsmöglichkeiten bei der Analyse eines forstlichen Eingriffes soll hier nicht näher eingegangen werden. Einzelheiten finden sich bei POMMERENING (1997, S. 55 ff).

3. DAUERVERSUCHSFLÄCHEN, WUCHSREIHEN, INTERVALLFLÄCHEN

Die Ergebnisse aus langfristig beobachteten Dauerversuchsflächen, den sogenannten *echten Zeitreihen*, bildeten bisher die wichtigste Grundlage bei der Erstellung von Ertragstafeln und anderen Wachstumsmodellen für gleichaltrige Reinbestände und Mischbestände. Zu den Nachteilen der Dauerversuchsflächen gehören die langfristige Bindung an die Versuchsanlage und die damit verbundenen hohen

⁴⁾ Die Anzahl der möglichen Eingriffe in einem Bestand mit n Bäumen, einschließlich der Optionen *Kahlschlag* und *Nichtstun*, ist gleich 2^n .

⁵⁾ Bei 3 Nachbarn kann ein Baum nur 4 mögliche M-Werte annehmen.

Tab. 2

Relative Häufigkeiten der gemeinsam verteilten Durchmischungs- und Differenzierungswerte für den Gesamtbestand vor dem Eingriff und für den ausscheidenden Bestand, getrennt für die Fichten und Buchen 1987
Relative frequencies of the distributions of mingling and differentiation (Gesamt means before thinning, ausscheidend means removed trees, in 1987)

Fichte/spruce						Buche/beech					
Gesamt		M3				Gesamt		M3			
		0	0,33	0,67	1			0	0,33	0,67	1
T3											
	0 -0,3	0,00			0,00	0 -0,3	0,00			0,00	0,00
	0,3-0,5	0,00		0,00	0,00	0,3-0,5	0,07	0,07	0,04	0,01	0,01
	0,5-0,7	0,00	0,02		0,02	0,5-0,7	0,04	0,06	0,07	0,01	0,01
	0,7-1,0	0,00			0,06	0,7-1,0	0,04	0,07	0,08	0,03	0,03
ausscheidend		M3				ausscheidend		M3			
		0	0,33	0,67	1			0	0,33	0,67	1
T3	0 -0,3	0,00		0,00	0,00	0 -0,3			0,00	0,00	0,00
	0,3-0,5	0,00		0,00	0,00	0,3-0,5				0,00	0,00
	0,5-0,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,5-0,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,7-1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,7-1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Kosten einer dauerhaften Versuchsflächeninfrastruktur. Der Aufwand wird gänzlich untragbar, wenn nicht nur langfristige Entwicklungen beobachtet, sondern gleichzeitig auch allgemeingültige Aussagen über die Beziehungen zwischen Wachstum, Standort und waldbaulicher Behandlung erarbeitet werden sollen.

Einen kostengünstigen und zeitsparenden Ausweg bot bisher das sog. *Wuchsreihenkonzept*. Unter einer *Wuchsreihe* versteht man eine Reihe von einmalig aufgenommenen Probestellen, mit deren Hilfe das zeitliche Nacheinander der Beobachtungen auf Dauerversuchsflächen durch ein räumliches Nebeneinander von Beobachtungen ersetzt werden kann (BIBER, 1996).

Allerdings müssen Einzelbaum-Entwicklungen mit Hilfe von Bohrungen oder Stammanalysen reproduziert werden, und die größte Schwierigkeit besteht darin, das historische Umfeld der Bäume zu reproduzieren, um ihren speziellen Wachstumsrhythmus aus der Kenntnis der früheren unmittelbaren Nachbarschaftsverhältnisse erklären zu können. Diese Reproduktionen können mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sein und deshalb ist das *Wuchsreihenkonzept* grundsätzlich nur als letzter Ausweg zu betrachten, wenn sonst keine Beobachtungen zur Verfügung stehen.

Einen praktikablen Kompromiß bietet das *Intervallflächenkonzept*, bei dem die Nachteile der Dauerversuchsflächen und der *Wuchsreihen* aufgehoben, ihre Vorzüge jedoch beibehalten werden (GADOW und STÜBER, 1996). Die Intervallflächen werden dem Versuchsziel entsprechend ausgewählt und mindestens 2 Mal aufgenommen. Zwischen der Anfangs- und der Endaufnahme darf kein Eingriff erfolgen. Um kurzfristige Witterungseinflüsse auszuschalten und die relativ zum Zuwachs hohen Meßfehler zu reduzieren, sollten die Zeitintervalle zwischen den Aufnahmen mindestens 5 Jahre betragen. Da das für Dauerversuchsflächen notwendige *eiserne Durchhalten* über lange Zeiträume nicht unbedingt erforderlich ist, können sich erhebliche Kosteneinsparungen ergeben.

Das Intervallflächenkonzept erhebt nicht nur Zustände, sondern auch mindestens eine eingriffsbedingte Zustandsveränderung bei der

ersten Aufnahme, sowie eine ununterbrochene Wachstumsphase nach dem Eingriff. Der Versuch braucht nicht weitergeführt, sondern kann nach dem ersten Wachstumsintervall jederzeit abgebrochen werden. Wartezeiten sind also gering. Eingebunden in ein sinnvolles betriebliches Inventurkonzept⁶⁾ wären die Daten ohne zusätzlichen Aufwand verfügbar.

4. DANKSAGUNG

Für die Bereitstellung der Daten danke ich Herrn Prof. Dr. PRETZSCH. Die Auswertungen hat Herr HENDRIK HEYDECKE mit großer Sorgfalt durchgeführt.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Beitrag befaßt sich mit einigen Fragen der Dichte- und Strukturentwicklung in Mischbeständen am Beispiel der Parzelle 1 der bayerischen Versuchsfläche Zwiesel 111. Besondere Bedeutung hat die Modellierung forstlicher Eingriffe. Die Anlage und der Erhalt von Dauerversuchsflächen ist nicht immer notwendig, und häufig sogar unnötig. Eine praktische Lösung bietet das sog. *Intervallflächenkonzept*. Dabei kommt es darauf an, geeignete Flächen dem Versuchsziel entsprechend auszuwählen und mindestens 2 Mal aufzunehmen. Zwischen der Anfangs- und der Endaufnahme darf kein Eingriff erfolgen.

6. Summary

Title of the paper: *Development of the structure of a beech-spruce forest.*

The paper presents methods that can be used for describing the development of a mixed forest, based on data from plot 1 of the

⁶⁾ Die *Kontrollstichprobe* bzw. *Betriebsinventur* ist (neben dem unglücklichen, nur auf die Volumenschätzung ausgerichteten Probekreis-Entwurf) wegen der in regelmäßigen Abständen stattfindenden Aufnahmen ungeeignet, da die dazwischenliegenden Eingriffe nicht erfaßt werden.

Bavarian research trial Zwiesel 111. Specific emphasis is placed on describing the changes of density and structure, caused by thinnings. It is argued that it is not always necessary to establish costly longterm growth trials in order to obtain useful data for growth models. A practical approach would be to gather observations about the changes caused by growth and the changes caused by thinnings. This can be achieved if plots are measured twice at 2 successive thinnings.

7. Résumé

Titre de l'article: *Evolution de la structure d'un peuplement mélangé de hêtres et d'épicéas.*

La présente contribution s'intéresse à quelques questions relatives à l'évolution des grosseurs et des structures dans des peuplements mélangés en prenant comme exemple la parcelle 1 du dispositif expérimental bavarois Zwiesel 111. La modélisation des interventions sylvicoles revêt une importance toute particulière. L'installation et l'entretien de placettes permanentes ne sont pas toujours nécessaires et sont même souvent inutiles. Le concept des «placettes temporaires» offre une solution pratique. Il importe de bien choisir des surfaces parfaitement adaptées à l'objectif de la recherche, et d'y pratiquer au moins 2 inventaires entre lesquels ne doit avoir bien aucune intervention.

J. M.

8. Literatur

- ASSMANN, E.: Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft, München Bonn, Wien. 490 S., 1961
- BIBER, P.: Konstruktion eines einzelbaumorientierten Wachstumssimulators für Fichten-Buchen-Mischbestände im Solling. Diss., Forstw. Fak. d. Ludwig-Maximilians-Univ. München. 239 S., 1996
- DAUME, S.: Durchforstungssimulation in einem Buchen-Edellaubholz-Mischbestand. Diplomarbeit, Institut f. Forsteinr., Univ. Göttingen. 103 S., 1995
- FRANZ, F.: Ertragskundliche Prognosemodelle. Forstw. Cbl. 91, 65–80, 1972

- FRANZ, F.: Fichten-Buchen-Mischbestandsversuch Zwiesel 111. Exkursionsführer MWWEF 55. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde d. Ludwig-Maximilians-Univ., München. 29 S., 1986
- FÜLDNER, K. and GADOW, K. VON: How to Define a Thinning in a Mixed Deciduous Beech Forest. Proc. IUFRO Conference in Louisa, Portugal. Mixed stands – research plots, measurements and results, models. 31–42, 1994
- GADOW, K. VON und FÜLDNER, K.: Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. Tagungsbericht der Arbeitsgruppe Forsteinrichtung, Klieken bei Dessau, 15. 10. 1992. 1992
- GADOW, K. VON und STÜBER, V.: Die Inventuren der Forsteinrichtung. Forst und Holz 49 (5): 129–131, 1993
- GEHRHARDT, E.: Ertragstafeln für reine und gleichartige Hochwaldbestände von Eiche, Buche, Tanne, Fichte, Kiefer, grüner Douglasie und Lärche. 2. Aufl. Julius Springer Verlag, 1930
- KAHN, M.: Die Nachbildung von Durchforstungseingriffen in Rein- und Mischbeständen mit dem Wachstumssimulator SILVA 2. Tagungsbericht d. Sektion Ertragskunde des DVFFA Joachimsthal, 29. 5. 1995 bis 31. 5. 1995. 151–165, 1995
- KASSIER, H. W.: Dynamics of Diameter and Height Distributions in Commercial Timber Plantations. PhD dissertation, Faculty of Forestry, Univ. of Stellenbosch, South Africa, 1993
- KENNEL R.: Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand. Diss., Univ. München. 93 S., 1964
- KRAJICEK, J. E., BRINKMANN, K. A. und GINGRICH, S. F.: Crown competition – a measure of density. For. Sci. 7: 35–42, 1961
- KRAMER, H.: Waldwachstumslehre. Paul Parey. 374 S., 1988
- LEE, W. K. und GADOW, K. VON: Ein iteratives Verfahren zur Modellierung der Konkurrenz. Im Druck, AFJZ, 1997
- LEWANDOWSKI, A. und GADOW, K. VON: Ein heuristischer Ansatz zur Reproduktion von Waldbeständen. Im Druck, AFJZ, 1997
- POMMERENING, A.: Eine Analyse neuer Ansätze zur Bestandesinventur in strukturreichen Wäldern. Diss., Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen, 1997
- PRETZSCH, H.: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Schriftenreihe d. Forstw. Fak. d. Univ. München, No. 115, 332 S., 1992
- PRETZSCH, H.: Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen – Versuche mit dem Strukturgenerator STRUGEN. Schriften aus der Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen u. d. Nieders. Forstl. Vers. Anst., Band 114. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/Main, 1993
- SCHOBER, R.: Durchforstung nach Zahlen? AFJZ 158 (10): 174–183, 1987