

## Neue Algorithmen zur Quantifizierung von Konkurrenzverhältnissen\*

Martin BACHMANN

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, LMU München, D-85354 Freising, Am Hochanger 13

### 1. Zielsetzung

Ziel dieser Untersuchung ist die Auswahl geeigneter positionsabhängiger Konkurrenzindizes und ihre Adaption an Hangverhältnisse mit der Absicht, die konkurrenzabhängige Zuwachsschätzung von Einzelbäumen des Bergmischwaldes zu optimieren. Die Zielsetzung wird in fünf Arbeitsschritten verfolgt: 1. Aufbereitung geeigneten Datenmaterials, 2. Auswahl und Modifikation bewährter Konkurrenzindizes sowie Entwicklung angepaßter Bewertungsverfahren, 3. erste Erprobung der Algorithmen unter horizontalen und geneigten Umgebungsbedingungen mit Hilfe von Rangkorrelationen, 4. abschließende Evaluierung unter Einsatz geeigneter Zuwachsmoelle und 5. Implementierung in den Wachstumsimulator SILVA. Die Inhalte der Arbeitsschritte eins bis drei wurden auf der Tagung der Sektion Ertragskunde 1996 vorgestellt und werden nachfolgend nur tangiert (BACHMANN, 1996, 1997).

### 2. Datenmaterial

Von den 18 einbezogenen Versuchsflächen mit 61 Parzellen und einer Gesamtfläche von circa 16 ha liegen sieben im Wuchsgebiet Bayerischer Wald und 11 im Wuchsgebiet Bayerische Alpen (FOERST und KREUTZER, 1978). In Tabelle 1 sind die Flächen nach ihren laufenden, dreistelligen Versuchsnummern geordnet und näher charakterisiert. Bei der Analyse konkurrenzabhängiger Zuwachsreaktionen werden ertragskundliche Einzelbaummerkmale von 11328 Einzelbäumen - 4848 Fichten, 1583 Tannen und 4897 Buchen - berücksichtigt.

Tab. 1: Auflistung der 18 einbezogenen Versuchsflächen (Kreuth 120 bis 126 zusammengefaßt; n = Parzellenanzahl innerhalb der jeweiligen Versuchsanlage).

Versuchsbezeichnung (-name)	n	zuständiges Forstamt	horizontale Fläche [ha]	geneigte Fläche [ha]	Versuchsart
ROM 107 (Rohrmoos)	1	Sonthofen	0.31	0.32	Verjüngungsversuch
RUH 110	2	Ruhpolding	0.31	0.32	Verjüngungsversuch
ZWI 111	8	Zwiesel	1.99	2.02	Mischbestandsversuch
RUH 113	2	Ruhpolding	1.00	1.16	Plenterwaldversuch
PAR 115 (Partenkirchen)	5	Garmisch-P.	1.47	1.59	Naturwaldversuch
KRE 120-126	22	Kreuth	3.44	3.70	Verjüngungsversuche
FRY 129	3	Freyung	1.49	1.50	Plenterwaldversuch
BOM 130	4	Bodenmais	1.00	1.02	Plenterwaldversuch
ZWI 134	5	Zwiesel	1.43	1.50	Mischbestandsversuch
ZWI 135	5	Zwiesel	1.45	1.50	Mischbestandsversuch
ZWI 137	2	Zwiesel	0.97	0.98	Naturwaldversuch
ZWI 138	2	Zwiesel	0.91	0.95	Naturwaldversuch
Gesamtumfang:	18	61	15.78	16.55	

### 3. Methode

#### 3.1 Eingesetzte Konkurrenzindizes

Die Quantifizierung des Konkurrenzdruckes erfolgt mit vier bewährten Verfahren (Tab. 1, Formeln 1 bis 4): zwei auf Kronenmantelflächen bzw. -volumina bezugnehmende Ansätze der Autoren BIGING und DOBBERTIN (1992), der auf Durchmesserrelationen beruhenden Formel von HEGYI (1974) sowie dem auf Winkelsummen basierenden Ansatz von PRETZSCH (1995).

\* Vortrag anlässlich der Jahrestagung 1998 der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Tagungsbericht, S. 184 - 193

Tab. 2: Beschreibung der vier eingesetzten Konkurrenzwert-Berechnungsformeln.  $H, M, P, V$  = Konkurrenzwerte der jeweiligen Autoren;  $i$  = Zentralbaum;  $j$  = Konkurrent;  $D$  = Brusthöhdurchmesser [cm];  $Dist$  = horizontale Distanz [m];  $BETA$  = Steigung der Verbindungslinie zwischen Suchkegelspitze und Konkurrentenwipfel gegenüber der Horizontalen abzüglich der Steigung der Suchkegelmantelfläche [rad];  $CC$  = Kronenschirmfläche [m<sup>2</sup>];  $CM$  = Kronenmantelfläche [m<sup>2</sup>];  $CV$  = Kronenvolumen [m<sup>3</sup>]; Kronenformmodelle nach PRETZSCH (1992).

Formel 1 und 2 / Autoren		Formel 3 und 4 / Autoren	
$M = \sum_{j=1}^n \frac{CM_j}{CM_i * (Dist_{ij} + 1)}$	BIGING und	$H = \sum_{j=1}^n \frac{D_j}{D_i * (Dist_{ij} + 1)}$	HEGYI (1994)
$V = \sum_{j=1}^n \frac{CV_j}{CV_i * (Dist_{ij} + 1)}$	DOBBERTIN (1992)	$P = \sum_{j=1}^n BETA_{ij} * \frac{CC_j}{CC_i}$	PRETZSCH (1995)

Bei der Konkurrentenauswahl hat sich ein trichterförmiger Suchraum (Suchkegel) bewährt. Dessen Orientierung wird dreifach, seine Öffnungsweite sechsfach und seine Ansatzhöhe fünffach variiert (Abb. 1, Abb. 3). Zudem werden ebene oder geneigte Geländebeziehungen angenommen. In Kombination mit den vier Berechnungsformeln resultieren somit 720 Indizes.

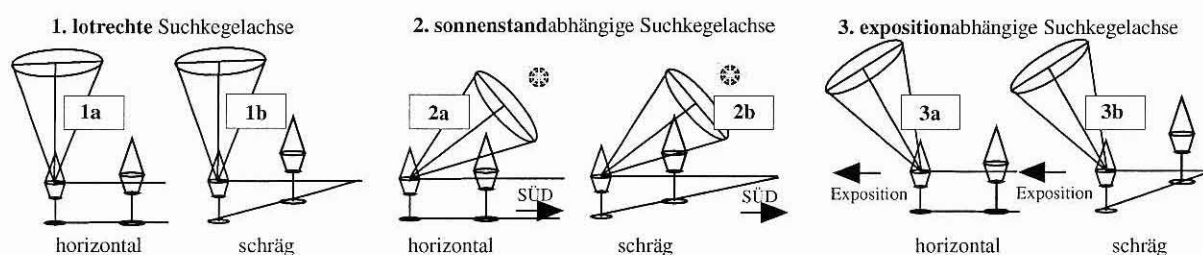


Abb. 1: Sechs Varianten bei der Anpassung der suchkegelabhängigen Konkurrentenauswahl an geneigte Verhältnisse: 1. lotrechte, 2. sonnenstandabhängige und 3. expositionabhängige Suchkegelachse; jeweils mit horizontaler (a) bzw. schräger (b) Geländebetrachtung.

### 3.2 Zuwachsmodelle

Eine zufällige Stichprobe von drei Bäumen je Versuchsparzelle, Baumart und relativer Höhengschicht (ASSMANN, 1954; MAGIN, 1959) erbringt 954 Einzelbaum-Datensätze und gewährleistet gleichmäßige Kollektivumfänge für die nachfolgende Datenanalyse.

Dem jährlichen Grundflächenzuwachs des Zentralbaumes wird neben dessen individuellem Grundflächenwert der logarithmisch transformierte Konkurrenzwert gegenübergestellt. Der Zuwachs wird aus der Durchmesserdiffferenz zwischen zwei Aufnahmen hergeleitet. Um den Standorteinfluß zu erfassen, wird eine 0/1-transformierte Variable eingesetzt, deren Herleitung neben bodenkundlichen Merkmalen auch die Höhenlage der Parzelle zugrunde liegt (Tab. 3).

Tab. 3: Zuwachsmodelle M1 bis M4 mit und ohne Konkurrenz- und Standortsberücksichtigung;  $ig$  = jährlicher Grundflächenzuwachs als Mittelwert einer Periode [cm<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>];  $Stao$  = 0/1-transformierte Standortvariable;  $G$  = Grundfläche [cm<sup>2</sup>];  $CI$  = Konkurrenzwert;  $a_0 \dots a_{11}$  = baumarten- und höhengschichtenspezifische Modellparameter;  $MSE$  = mittlerer quadratischer Fehler der Residuen.

Modell	Formeln 5 bis 8 (von oben nach unten)	$CI$	$Stao$	Modellvergleich [%]
M1	$ig = 1 / \exp(a_0 + a_1 \cdot G)$	nein	nein	-
M2	$ig = 1 / \exp(a_2 + a_3 \cdot Stao + a_4 \cdot G)$	nein	ja	$MSE_{M2} / MSE_{M1} \cdot 100$
M3	$ig = 1 / \exp(a_5 + a_6 \cdot G + a_7 \cdot \log(1 + CI))$	ja	nein	$MSE_{M3} / MSE_{M1} \cdot 100$
M4	$ig = 1 / \exp(a_8 + a_9 \cdot Stao + a_{10} \cdot G + a_{11} \cdot \log(1 + CI))$	ja	ja	$MSE_{M4} / MSE_{M2} \cdot 100$

Dabei sind die Charakteristika Exposition und Hangneigung bewußt ausgespart, da die an Bergwaldverhältnisse angepaßten Indizes diese Einflußgrößen bei der Konkurrentenfixierung bereits verwenden. Die Ausprägung 0 kennzeichnet bessere, die Ausprägung 1 schlechtere Standorte. Das zentrale Modell trägt die Bezeichnung M4 (Tab. 3, Formel 8).

Die Einbeziehung eines Konkurrenzindex erfolgt ebenfalls auf der Basis der in Tabelle 3 genannten Funktion M3 (Formel 7) - allerdings ohne Berücksichtigung des Standorts.

Als Referenz für die Modelle M4 und M3 dienen die Zuwachsmodele M2 und M1, welche explizit keine konkurrenzindizierende Größe berücksichtigen (Tab. 3, Formel 6 und 5). Für die Zuwachsschätzung mit Hilfe des Referenzmodells M2, das nur mit der Ausgangsgrundfläche des Baumes und der Standortvariablen arbeitet, wird der mittlere quadratische Fehler errechnet ( $MSE_{M2}$ ). Für das konkurrenz-sensitive Zuwachsmodele M4 wird ebenfalls der mittlere quadratische Fehler bestimmt ( $MSE_{M4}$ ) und zur Referenz in Beziehung gesetzt ( $MSE_{M4}/MSE_{M2} \cdot 100$ ). Anhand dieses Quotienten zeigt sich, inwieweit der eingesetzte Konkurrenzindex zu einer Reduktion des mittleren quadratischen Fehlers führt (BIGING und DOBBERTIN, 1992; PRETZSCH, 1995). Der Vergleich der Modelle M4 und M2 ist demzufolge auf die Evaluierung von Indizes ausgerichtet, deren Datenmaterial deutliche standörtliche Unterschiede aufweist.

Durch den Vergleich des konkurrenz-sensitiven Modells M3 mit dem Referenzmodell M1 kann der Beitrag zur Erklärung des Zuwachses, den die Konkurrenzindizes liefern, ohne Standortgröße abgeschätzt werden.

### **3.3 Multikriterielle Bewertungsmatrix**

Um diejenigen Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren herauszufinden, deren Konkurrenzwerte die individuellen Zuwachsreaktionen am stärksten beeinflussen, werden die Ergebnisse bei der Datenanalyse verglichen. Dies sind bei der nichtlinearen Grundflächenzuwachsfunction die in Prozent ausgedrückten Relationen des mittleren quadratischen Fehlers der Residuen. Der Vergleich erfolgt mit Hilfe eines dreiteiligen Bewertungsverfahrens unter Wahrung der baumarten- und höhenschichtenspezifischen Besonderheiten des Bergmischwaldes (BACHMANN, 1998), d.h. getrennt nach den Straten Fichte, Tanne und Buche sowie zusätzlich nach Ober-, Mittel- und Unterschicht (ASSMANN, 1954; MAGIN, 1959). Dabei werden verschiedene entscheidungstheoretische Strategien wie z.B. die Maximum-Minimum-Strategie verfolgt (ZIMMERMANN und GUTSCHE, 1991).

## **4. Ergebnisse**

Auch wenn in vielen Fällen die Berechnungsformel von HEGYI (1974) dem bestgeeigneten Konkurrenzmodell zugrunde liegt, befinden sich die Algorithmen aller einbezogenen Autoren unter den Besten. Damit tritt die Bedeutung der Formel deutlich hinter derjenigen des Konkurrenten-Auswahlverfahrens zurück.

### **4.1 Eignung der Indizes differenziert nach Baumarten und Höhenschichten**

Der Vergleich des quadratischen Fehlers der Modelle M4 und M2 ergibt, daß bei der schatten-toleranten Tanne mit 27% die höchste Fehlerreduktion ( $=1 - MSE_{M4}/MSE_{M2}$ ) mit dem Index von HEGYI (1974), einem lotrechten Suchkegel und der Einbeziehung von z-Koordinaten der Nachbarbäume erzielt wird. Auch für die Baumarten Fichte und Buche schneidet die Formel von HEGYI (1974) am besten ab. Bei der Fichte beträgt die Reduktion des quadratischen Fehlers 36% und bei der Buche sogar 44%. Bei der Fichte bringt eine Hangmodifikation der Suchverfahren allerdings keine Verbesserung, und für die Zuwachsverhältnisse der Buche ist es am besten, wie bei der Tanne die z-Koordinaten der Nachbarbäume zu berücksichtigen.

Erwartungsgemäß nimmt die Fehlerreduktion von der Ober- über die Mittel- zur Unterschicht hin zu und weist damit auf die zunehmende Relevanz der Einflußgröße Konkurrenz hin. In Abbildung 2 sind die Modellergebnisse für den Index  $H\_LH708$  dargestellt, welcher bei der multikriteriellen Betrachtung der MSE-Relationen überzeugt.

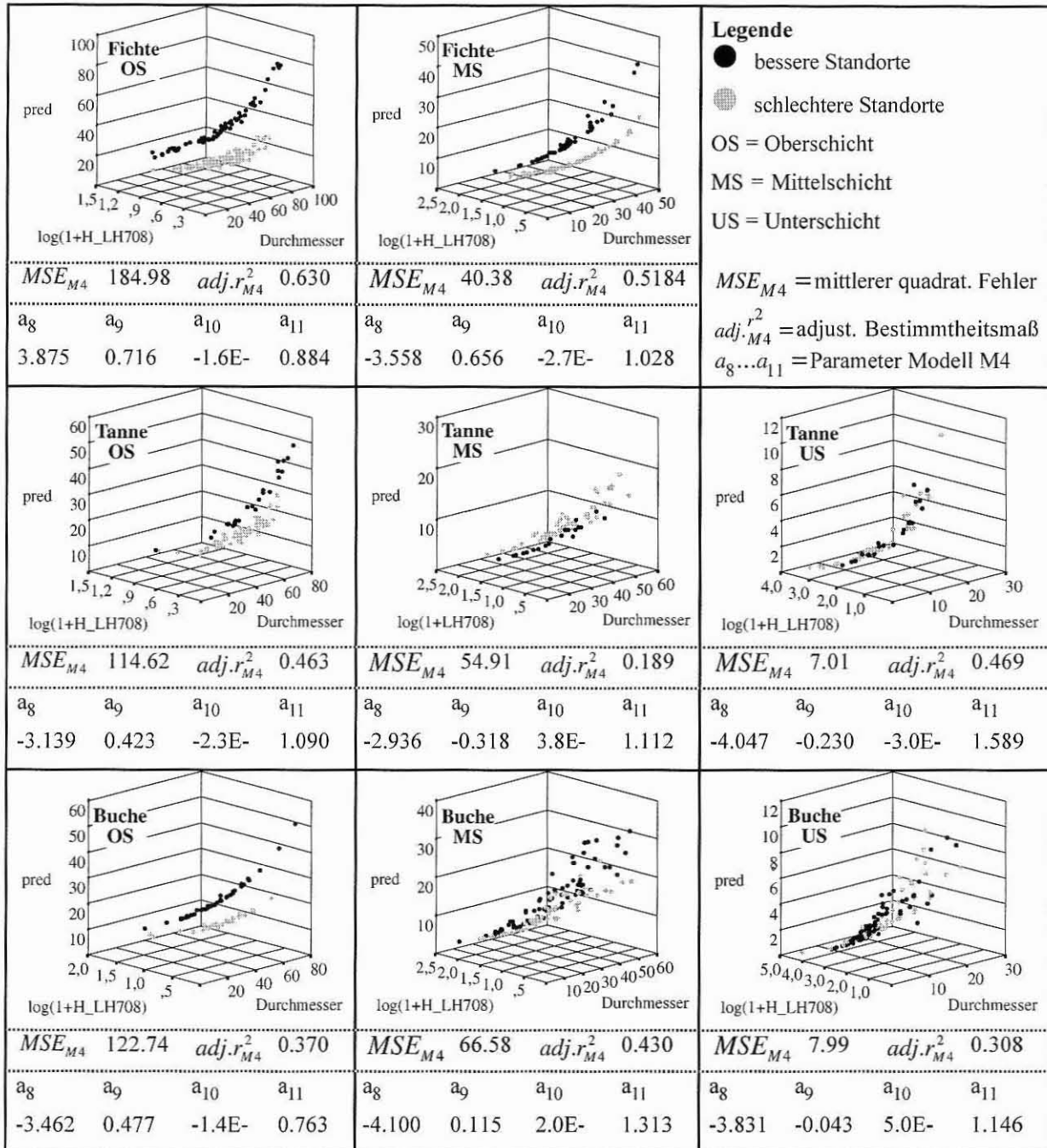


Abb. 2: Dreidimensionale Darstellung der baumarten- und höhenschichtenspezifischen Ergebnisse der standorts-, durchmesser- [cm] und konkurrenzabhängigen Schätzung des Grundflächenzuwachses (pred) mit dem Modell M4 (Fichte oben, Tanne Mitte, Buche unten; Oberschicht (OS) links, Mittelschicht (MS) Mitte, Unterschicht (US) rechts). Die individuelle Konkurrenzsituation wird durch den Index  $H\_LH708$  beschrieben (Formel HEGYI (1974), lotrecht ausgerichteter Suchkegel, ebene Umgebungsbedingungen, Ansatzhöhe des Suchkegels in 70% der Zentralbaumhöhe, Öffnungswinkel 80°). Bei den prognostizierten Zuwachswerten handelt es sich um  $cm^2 \cdot a^{-1}$  und bei den Durchmesserangaben um cm. Außerdem sind die Parameter-Schätzgrößen, das adjustierte Bestimmtheitsmaß sowie der mittlere quadratische Fehler der Residuen angegeben. Bei der Unterschicht der Fichte steht keine ausreichende Anzahl von Bäumen für die Parametrisierung des Zuwachsmodells zur Verfügung (siehe auch Legende).

Die Abbildung zeigt die mit dem Modell M4 prognostizierten Zuwachswerte (pred) für Ober-, Mittel- und Unterschicht (links, Mitte, rechts) der Baumarten Fichte, Tanne und Buche (oben, Mitte, unten) in Abhängigkeit vom Konkurrenz- und Durchmesserwert sowie von der 0/1-transformierten Standortvariablen. Außerdem sind unter der baumarten- und höhenschichtenspezifischen dreidimensionalen Grafik die mittleren quadratischen Fehler ( $MSE_{M4}$ ), Bestimmtheitsmaße ( $adj.r_{M4}^2$ ) sowie die Parameter-Schätzgrößen ( $a_8 \dots a_{11}$ ) aufgeführt.

Das höchste prognostizierte Zuwachsniveau besitzt die in Abbildung 2 oben links dargestellte Baumart Fichte in der Oberschicht. Wie auf der Basis des gewählten Ausgleichs zu erwarten, steigen die Grundflächenzuwachswerte mit Zunahme des Brusthöhendurchmessers exponentiell an. Innerhalb der baumartenspezifischen Oberschicht (linke Reihe) ergibt sich erstens, daß eine deutliche Differenzierung in bessere - schwarze Punkte - und schlechtere Standorte - graue Punkte - vorliegt und zweitens, daß, obwohl die Konkurrenzwerte bei ähnlichen Durchmesserwerten erheblich variieren, der geschätzte Zuwachs nur in geringem Umfang von der Konkurrenzsituation des Einzelbaumes modifiziert wird. Diese Beobachtung läßt sich auch auf die Mittelschicht der Fichte (oben Mitte) ausdehnen. Im Gegensatz dazu zeigt die Mittelschicht von Tanne und Buche sowie deren Unterschicht eine erhebliche Variation der prognostizierten Zuwächse in Abhängigkeit von den indizierten Konkurrenzverhältnissen. Außerdem wird deutlich, daß die Standortgröße hier das Zuwachsniveau geringfügiger beeinflusst. Bei den Modellergebnissen der Tanne in der Mittelschicht werden - bei allerdings geringer Bestimmtheit - auf schlechteren Standorten höhere Grundflächenzuwächse prognostiziert als auf besseren Standorten.

#### **4.2 Resultate der suchkegelabhängigen Konkurrentenauswahl**

Um die Auswirkungen der Eingangsgrößen Ansatzhöhe und Öffnungswinkel des Suchkegels auf die Straffheit des Zusammenhanges zwischen Zuwachs und Konkurrenzwert herauszustellen, werden für jeden Formeltyp<sup>1</sup> und für jedes betrachtete Kollektiv die mit den zugehörigen Konkurrenzindizes ermittelten MSE-Relationen ( $MSE_{M4}/MSE_{M2} \cdot 100$ ) über dem Öffnungswinkel des Suchkegels dargestellt (Abb. 3). Die MSE-Relationen aller Verfahren, die eine einheitliche Betrachtungshöhe - z.B. in 70% der Zentralbaumhöhe - unterstellen, sind durch eine Linie verbunden. Dabei besitzt die Linie jeder Betrachtungshöhe eine andere Signatur. Die Suchkegel-Charakteristika sind darüberhinaus in Abbildung 4 anhand von Box-Plot-Grafiken verdeutlicht. Eingangsgrößen sind alle unter den jeweils zehn besten Indizes vorhandenen Suchkegel vom Typ LH bzw. deren Attribute Ansatzhöhe (links) und Öffnungswinkel (rechts).

Abbildung 3 zeigt die Verhältnisse für diejenigen Formeltypen, deren Leistung bei der Tanne und deren Höhenschichten am besten beurteilt wurde. Bei den beiden dargestellten Varianten H\_LS und P\_LH - lotrechter Kegel, schräge bzw. horizontale Betrachtung der Geländebeziehungen in Kombination mit den Formeln von HEGYI (1974) bzw. PRETZSCH (1995) - befindet sich die Ansatzhöhe des Suchkegels in 10 bis 50% der Zentralbaumhöhe (Abb. 4). Während in der Mittelschicht Werte in Höhe von 30 bis 50% vorherrschen, liegt die Ansatzhöhe ansonsten im Bereich von 10 bis 30%. Auch bezüglich der Öffnungsweite des Suchkegels lassen sich bei der Tanne mit Werten von 40 bis 60° deutliche Unterschiede gegenüber Fichte und Buche ausmachen.

Bei der Fichte verlagert sich die Ansatzhöhe des lotrecht orientierten und geneigte Umgebungs-

<sup>1</sup> Diese Bezeichnung steht für die Kombinationen der vier Formeln zur Quantifizierung des Konkurrenzdruckes (vgl. Formeln 1 bis 4 in Tab. 2) mit den sechs in Abbildung 1 dargestellten Varianten der Konkurrentenauswahl.

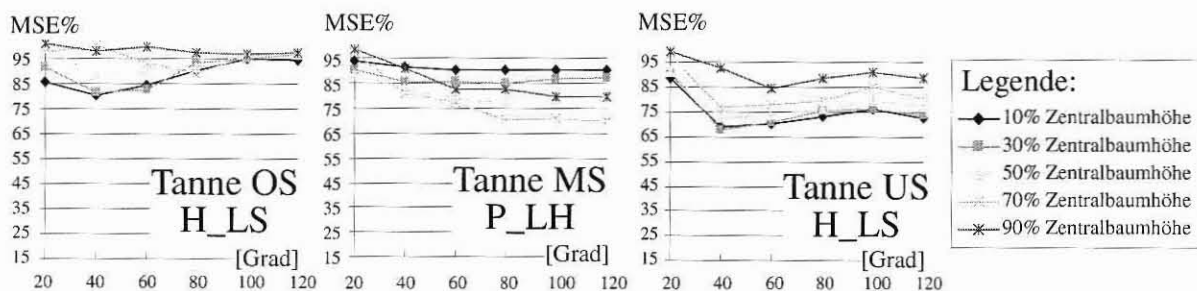


Abb. 3: Relationen des mittleren quadratischen Fehlers der Residuen (MSE%) günstig beurteilter Typen von Berechnungsformeln (H\_LS = HEGYI (1974), lotrechter Kegel, geneigtes Gelände; P\_LH = PRETZSCH (1995), lotrechter Kegel, ebenes Gelände) für die Baumart Tanne mit den Kollektiven Ober- (OS), Mittel- (MS) und Unterschicht (US). Die Quotienten ( $M_4/M_2 * 100$ ) sind in Abhängigkeit von der zugrundeliegenden Öffnungsweite des Suchkegels mit 20, 40, 60, 80, 100 und 120° (Abszisse) sowie von dessen Ansatzhöhe in 10, 30, 50, 70 und 90% der Zentralbaumhöhe dargestellt. Identische Ansatzhöhen sind durch eine Linie gleicher Signatur - gemäß Legende - verbunden.

bedingungen berücksichtigenden Suchkegels mit Verschlechterung der sozialen Position von 60 bis 70% der Höhe des Zentralbaumes in der Oberschicht auf ca. 20% in der Unterschicht. Mit 40% nimmt die Mittelschicht einen Zwischenposition ein. Im Gegensatz dazu zeigt sich die Öffnungsweite des Suchkegels mit 60 bis 80° und einem Mittelwert von etwa 70° stabil.

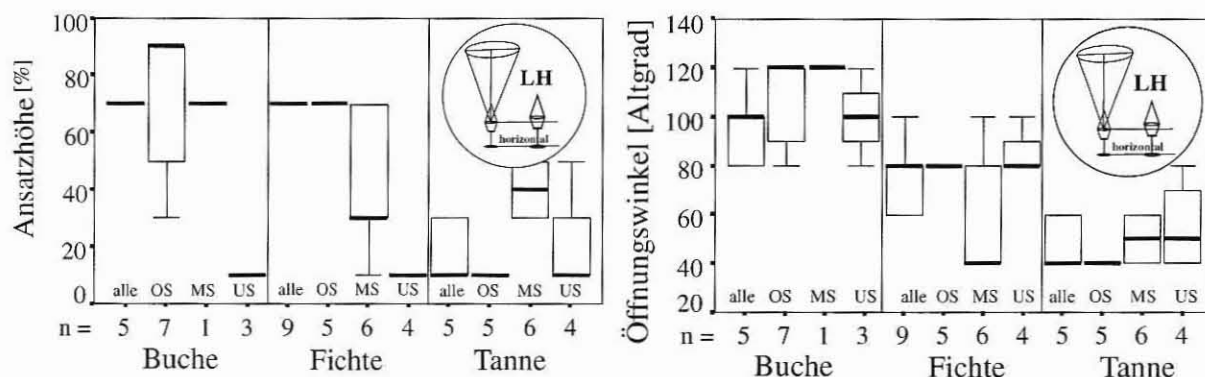


Abb. 4: Box-Plot-Grafiken der baumarten- und höhenschichtenspezifischen Ansatzhöhen (links) und Öffnungswinkel (rechts) des Suchkegels auf der Basis der unter den besten Zehn befindlichen Konkurrenzindizes. In die Darstellung sind lediglich diejenigen Suchkegelattribute einbezogen, welche im Zusammenhang mit einem lotrecht ausgerichteten sowie horizontale Umgebungsbedingungen unterstellenden Auswahlverfahren Verwendung finden (Kennung LH). Einen derartigen Suchkegel besitzen beispielsweise fünf der zehn Konkurrenzindizes, welche auf Grundlage des gesamten Buchenmaterials zu den höchsten MSE-Reduktionen führen ( $n$  = Stichprobenumfang). In diesen fünf Fällen ist der Suchkegel ohne Ausnahme in 70% der Zentralbaumhöhe mit einem Öffnungswinkel von 80 bis 120° - Median bei 100° - lokalisiert. Die Zugehörigkeit zur Ober-, Mittel- oder Unterschicht ergibt sich aus der Kennung OS, MS oder US.

Bei der Buche variiert der Öffnungswinkel des Kegels schichtspezifisch nur in geringem Umfang zwischen 80 und 120° und liegt im Mittel bei 100°. Im Baumartenvergleich stellt dieser Wert das Maximum dar. Auch der Ansatzpunkt der Kegelspitze liegt mit einem Wert von im Mittel 70% höher als bei Fichte und Tanne. Von dieser Betrachtung ist wiederum die Unterschicht mit einer mittleren Ansatzhöhe von 20% ausgenommen.

## 5. Diskussion

### 5.1 Bestimmung baumarten- und höhenschichtenspezifischer Suchkegelattribute

Die regressionsanalytische Betrachtung hat gezeigt, daß die Technik der Konkurrenten-identifizierung das Ergebnis der Zuwachsschätzung entscheidend beeinflusst. Die Bestimmung

effizienter, baumarten- und höhenschichtenspezifischer Suchkegelattribute erfolgt auf der Basis der bisherigen regressionsanalytischen Ergebnisse unter Einbeziehung verschiedener Indizes vom Formeltyp P\_LS (Formel von PRETZSCH (1995), lotrechter Kegel, geneigte Umgebungsbetrachtung) und mit der Absicht, die optimierte Konkurrentenauswahl in den Simulator SILVA (KAHN und PRETZSCH, 1997) zu implementieren.

Bei der Optimierung des Suchkegels liegt es nahe, die Abhängigkeit der Ansatzhöhe und des Öffnungswinkels von der Gesamthöhe des Zentralbaumes detaillierter herauszuarbeiten. Anstelle von relativen Höhenschichten (ASSMANN, 1954; MAGIN, 1959) werden fortan 5m-Stufen betrachtet. Anstelle des Bezuges zur Bestandeshöhe in der Form der Mittelhöhe der 100 höchsten Bäume je Hektar tritt damit die bezugslose Höhe des Einzelbaumes, die sich zudem näher an der einzelbaumorientierten Konzeption befindet. Die nach Baumarten und numerischen Höhenstufen gruppierten Kollektive werden wiederum zur Parametrisierung der standortsabhängigen Zuwachsmodele M2 und M4 herangezogen.

Durch Vergleich der mittleren quadratischen Fehler der Residuen der Modelle mit und ohne konkurrenzindizierender Größe wird ersichtlich, in welcher Ansatzhöhe bzw. mit welchem Öffnungswinkel innerhalb einer baumartenspezifischen numerischen Höhenschicht die höchste MSE-Reduktion erreicht wird.

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse für die Ansatzhöhe des Suchkegels. Bei den drei einbezogenen Baumarten wird deutlich, daß eine Verlagerung der in Prozent der Zentralbaumhöhe angegebenen Ansatzhöhe mit fortschreitender Gesamthöhe mit Ausnahme der Höhenstufe 5 bis 9.9 m bei Fichte und Buche nicht beobachtet werden kann. Mit einer Ansatzhöhe von 10% befindet sich die Suchkegelspitze bei der Tanne am tiefsten, gefolgt von der Fichte mit 50% und der Buche mit 70%. Die aus der Umsetzung mit dem Formeltyp P\_LS resultierende Betrachtung zeigt, daß sich die Spitze des Suchkegels unabhängig von der Höhe des Zentralbaumes an der gleichen relativen Stammposition befindet, auf der Grundlage absoluter Dimensionen jedoch nach oben wandert. Aus biologischer Sicht ist dieses Ergebnis ein Indiz dafür, daß sich oberirdisch wirksame Konkurrenzeffekte auch bei fortschreitender Baumhöhe auf vergleichbare Kronenbereiche beschränken und diese wiederum baumartenspezifisch sind.

Tab. 4: Angabe der Ansatzhöhe des Suchkegels in Prozent der Höhe des Zentralbaumes, in welcher auf der Basis des Residuenvergleiches der Modelle M4 und M2 die höchste MSE-Reduktion erzielt wurde. Fehlende Angaben sind auf eine zu geringe Anzahl von Beobachtungswerten (n.a.) bzw. sehr geringe Bestimmtheitsmaße bei der Zuwachsschätzung (n.s.) zurückzuführen. In der Höhenstufe 40 bis 44.9 m ist keine Buche vorhanden.

Baumart	numerische Höhenstufe [m]									Durchschnitt
	0-4.9	5-9.9	10-14.9	15-19.9	20-24.9	25-29.9	30-34.9	35-39.9	40-44.9	
Fichte	n.a.	70%	n.s.	50%	50%	50%	50%	50%	n.a.	50%
Tanne	n.a.	30%	10%	10%	n.s.	10%	10%	n.a.	n.a.	10%
Buche	n.a.	n.s.	n.s.	70%	70%	70%	70%	n.a.	-	70%

Mit Ausnahme der Fichte läßt die Betrachtung der Öffnungsweite des Suchkegels eine deutliche Abhängigkeit von der Höhe des zugrundeliegenden Zentralbaumes erkennen. In Abbildung 5 ist diese funktional mit Hilfe einer einfachen linearen Regression dargestellt. Bei der Fichte ergibt sich ein Öffnungswinkel von 60°, der unabhängig von der Höhe des Zentralbaumes ist. Im Gegensatz dazu ergibt sich für die Buche ein Winkel, der von 40° bei einer Höhe von 5 m auf ca. 100° bei einer Höhe von 40 m ansteigt. Bei der Tanne werden ausgehend von 20° etwa 60° bei einer Höhe von 45 m erreicht. Damit zeigen auch die Öffnungsweiten der Suchkegel deutliche baumartentypische Besonderheiten.

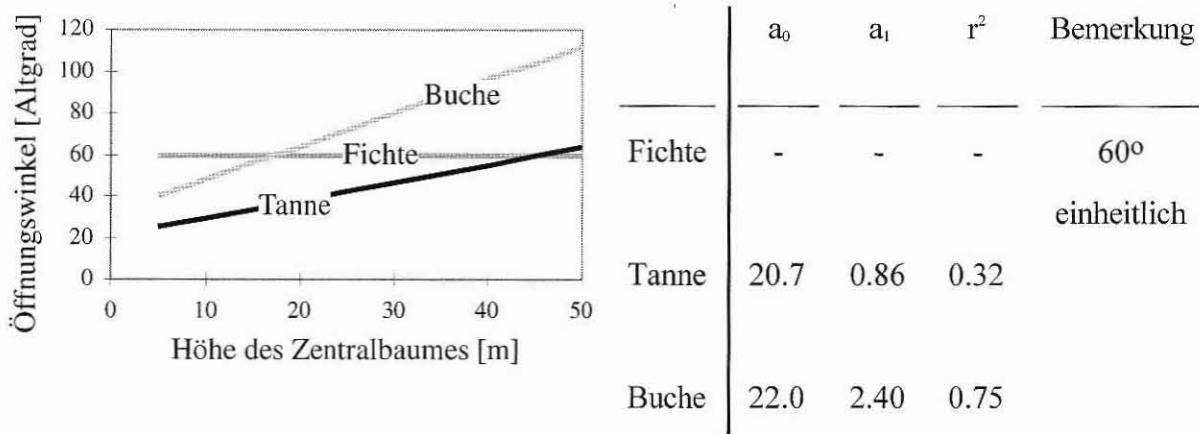


Abb. 5: Linearer Ausgleich der Öffnungsweite [Altgrad] des Suchkegels über der Höhe [m] des Zentralbaumes [m]. Der Regression liegen die Öffnungswinkel des Suchkegels der innerhalb einer Baumart und numerischen Höhenstufe am besten beurteilten Konkurrenzindizes vom Formeltyp P\_LS sowie die zugehörigen Höhenstufen zugrunde. Die Parameter  $a_0$  und  $a_1$  bezeichnen den y-Achsenabschnitt bzw. die Steigung,  $r^2$  das Bestimmtheitsmaß. Bei der Fichte ergibt sich infolge der Unabhängigkeit der Öffnungsweite von der Zentralbaumhöhe ein fixer Winkel von 60°.

Abschließend sind die baumarten- und höhenschichtenspezifischen Modifikationen des Suchkegels in Abbildung 6 zusammengefaßt. Basierend auf den von PRETZSCH (1992) konzipierten Kronenmodellen sind die Abmessungen des Suchkegels dreier Modellbäume der Baumarten Fichte, Tanne und Buche dargestellt, deren Baumhöhe zudem von 5 m ausgehend über 20 m auf 40 m fortschreitet. Anhand der als Strecken am Abbildungsfuß aufgeführten Suchkegeldurchmesser in 50 m Betrachtungshöhe wird deutlich, daß kleine Tannen den kleinsten Kegeldurchmesser besitzen, während kleine Buchen (5 m), mittlere Tannen (20 m) und hohe Fichten (40 m) über einen mittleren und alle übrigen Varianten über einen Suchkegel maximalen Durchmessers verfügen.

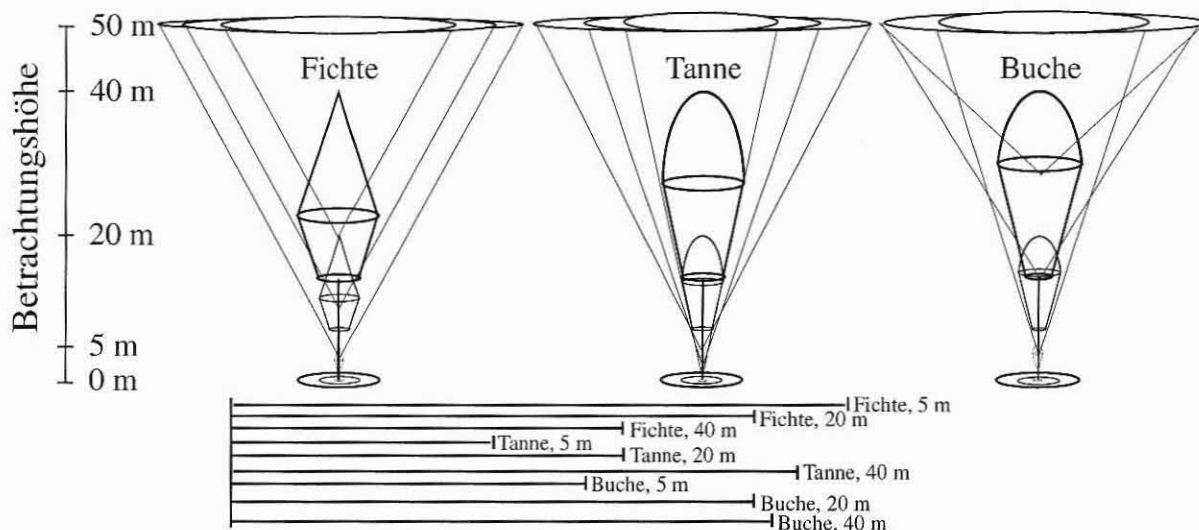


Abb. 6: Darstellung der Modifikationen der Ansatzhöhe und Öffnungsweite des Suchkegels anhand dreier Modellindividuen der Baumarten Fichte, Tanne und Buche, deren Baumhöhe von 5 m ausgehend über 20 m auf 40 m fortschreitet. Die in vergrößertem Maßstab am Abbildungsfuß aufgeführten Strecken vergleichen die Suchkegeldurchmesser in einer Betrachtungshöhe von 50 m über dem Stammfußpunkt.

### 5.2 Erprobung mit Hilfe des Einzelbaumsimulators SILVA

Für die Erprobung der modifizierten Konkurrenten-Auswahlverfahren wird unabhängiges Datenmaterial von fünf mit Fichte, Tanne und Buche bestockten Parzellen einer Wuchsreihe



aus dem Inneren Bayerischen Wald - Forstamt Bodenmais - herangezogen. Diese Parzellen erscheinen aufgrund ihrer Baumartenzusammensetzung, der mit 10.9 bis 19.6° erheblich ausgeprägten Hangneigung sowie der mit Hilfe eines Theodoliten sehr genau erfaßten Stammfußpositionen geeignet. Aus dem Datenpool von insgesamt 936 Einzelbäumen werden 20 Individuen je Baumart und numerischer Höhenstufe für die Parametrisierung der Zuwachsfunktionen M3 und M1 zufällig ausgewählt. Das Stichprobenkollektiv umfaßt etwa 100 Individuen je Baumart.

Die Berechnung der individuellen Konkurrenzwerte erfolgt mit dem Wachstumsmodell SILVA und den darin enthaltenen Konkurrenzalgorithmen P\_0660 (PRETZSCH, 1995) sowie P\_mod. Der letztgenannte Ansatz basiert ebenfalls auf dem Winkelsummenverfahren von PRETZSCH, jedoch in Kombination mit dem im vorhergehenden Abschnitt vorgestellten, an die jeweilige Baumart und numerische Höhenstufe angepaßten Suchkegel-Auswahlverfahren.

Der Verknüpfung der Zuwachswerte mit der jeweiligen Konkurrenzgröße erfolgt mit dem exponentiellen Zuwachstmodell M3. Infolge identischer Standortverhältnisse auf den Parzellen eins bis fünf wird dabei keine Standortgröße berücksichtigt. Als Referenzverfahren für den Vergleich des mittleren quadratischen Fehlers der Residuen dient das Modell M1, welches den Zuwachs allein aus der Grundfläche des Einzelbaumes schätzt. Durch die modifizierte, baumarten- und höhenschichtenspezifische Konkurrentenauswahl erfolgt die Parametrisierung im Gegensatz zu der bisherigen Vorgehensweise nicht mehr getrennt für jede baumartenspezifische Höhenschicht oder -stufe, sondern nur mehr getrennt nach Baumarten.

Abschließend sind in Abbildung 7 die MSE-Relationen aus dem Vergleich des Fehlers der Residuen der Zuwachstmodelle M3 und M1 dargestellt. Gegenüber dem Referenzmodell M1 kommt es zu einer deutlichen MSE-Reduktion in Höhe von annähernd 50% bei der Fichte, von 30 bis 45% bei der Tanne und von 20% bei der Buche. Entgegen der Optimierungsbestrebung führt nur bei der Tanne der modifizierte Index P\_mod zu einer Verbesserung der Schätzergebnisse. Bei Fichte und Buche resultiert die Verwendung des bewährten Verfahrens P\_0660 in geringfügig höheren MSE-Reduktionen.

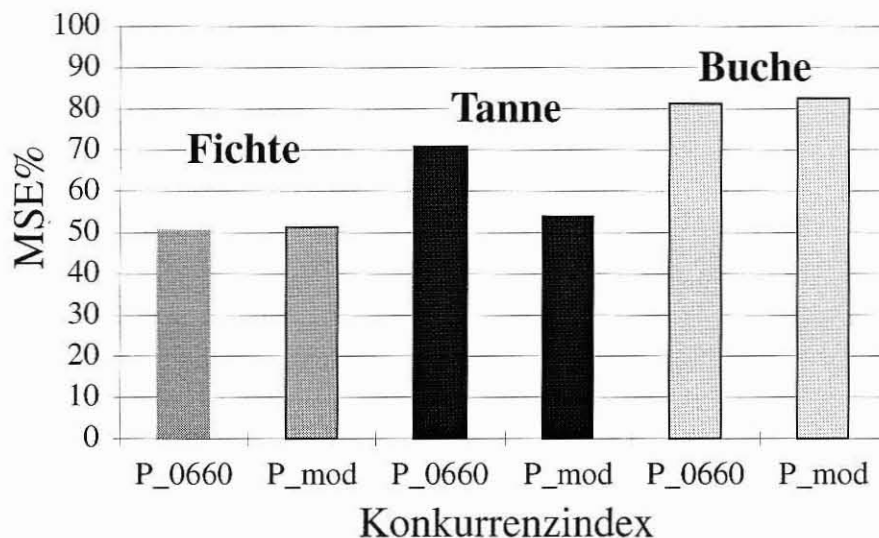


Abb. 7: Relationen der mittleren quadratischen Fehler der Residuen (MSE%) der standortsunabhängigen Zuwachstmodelle M3 - mit Konkurrenzindex P\_0660 bzw. P\_mod - und dem Referenzmodell M1 - ohne Index - für die Baumarten Fichte (dunkelgrau), Tanne (schwarz) und Buche (hellgrau).

### **5.3 Bedeutung der Standortsgröße im Zuwachsmmodell**

Mit der Herleitung der 0/1-transformierten Standortvariablen wird die Absicht verfolgt, durch die Einbindung der Standortfaktoren Höhenlage über NN und allgemeine Standortgüte in die Standortvariable die Größen Hangneigung und Exposition explizit auszusparen, da diese bei der Konzeption verschiedener Konkurrenzindizes einbezogen werden. Dadurch soll der konkurrenzrelevante Erklärungsbeitrag dieser beiden Größen bei der Zuwachsschätzung des Einzelbaumes erfaßt werden. Um generell zu überprüfen, inwieweit der Konkurrenzgröße ein Standortsbezug inhärent ist, werden die 720 an geneigte Umgebungsbedingungen angepaßten Indizes anhand des Zuwachsmmodells ohne Standortsgröße - M3 - erprobt. Als Referenzmodell dient das standorts- und konkurrenzunabhängige Modell M1. Die baumarten- und höhenschichtenspezifische Betrachtung zeigt, daß insbesondere bei der Fichte und baumartenübergreifend in der Oberschicht hohe MSE-Reduktionen mit Suchkegeln erreicht werden, welche auf den Sonnenstand ausgerichtet sind. Der Suchkegel, welcher in 30 bis 50% der Zentralbaumhöhe lokalisiert ist, besitzt eine Öffnungsweite von 100 bis 120° und berücksichtigt bei der Konkurrentenidentifizierung dreidimensionale Stammfußkoordinaten. Auch hier ist die Berechnungsformel für die günstige Beurteilung des Verfahrens unerheblich. Es erscheint biologisch plausibel, daß Konkurrenzmodelle dieser Bauart bei lichtbedürftigeren Baumarten wie der Fichte im Gegensatz zu Buche und Tanne sowie bei lichtexponierten Kollektiven wie der Oberschicht in den Vordergrund treten. In Abwesenheit einer expliziten Standortsgröße zeigt sich zudem deren Befähigung, einen wesentlichen Teil der Standortseinflüsse in Form der Größen Hangneigung und Exposition widerzuspiegeln.

### **6. Zusammenfassung**

Bei der Anpassung positionsabhängiger Konkurrenzindizes an Bergmischwaldstandorte haben sich baumarten- und höhenschichtenspezifische Konkurrenten-Auswahlverfahren bewährt, deren Konkurrentenidentifizierung ein lotrechter Suchkegel sowie dreidimensionale Stammfußpositionen zugrunde liegen. Die Quantifizierung des individuellen Konkurrenzdrucks erfolgt dabei am effektivsten mit auf Kronen- und Durchmessergrößen zugreifenden Berechnungsformeln der Autoren BIGING und DOBBERTIN (1992), HEGYI (1974) sowie PRETZSCH (1995).

### **7. Literatur**

- ASSMANN, E. (1954). Die Standraumfrage und die Methodik von Mischbestandsuntersuchungen. AFJZ, 125. Jg., H. 5, S. 149-153.
- BACHMANN, M. (1996). Indizes zur Erfassung der Konkurrenz im Bergmischwald - eine Methodenstudie. Tagungsbericht, Dt. Verband Forstl. Forschungsanstalten, Sektion Ertragskunde, Neresheim 1996, S. 249-266.
- BACHMANN, M. (1997). Zum Einfluß von Konkurrenz auf das Einzelbaumwachstum in Fichten/Tannen/Buchen-Bergwäldern. AFJZ, 168 Jg, H. 6/7, S. 127-130.
- BACHMANN, M. (1998). Indizes zur Erfassung der Konkurrenz von Einzelbäumen. Methodische Untersuchung in Bergmischwäldern. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 171, 261 S.
- BIGING, G. S. und DOBBERTIN, M. (1992). A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. FS, 38. Jg., S. 695-720.
- HEGYI, F. (1974). A simulation model for managing jack-pine stands. In: Fries, J. (Hrsg.). Growth models for tree and stand simulation. Royal College of Forest, Stockholm, S. 74-90.
- KAHN, M. und PRETZSCH, H. (1997). Das Wachstumsmodell SILVA - Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. AFJZ, 168. Jg., H. 6/7, S. 115-123.
- MAGIN, R. (1959). Struktur und Leistung mehrschichtiger Mischwälder in den bayerischen Alpen. Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns, H. 30, 161 S.
- PRETZSCH, H. (1992). Konzeption und Konstruktion von Wachstumsmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 115, 332 S.
- PRETZSCH, H. (1995). Zum Einfluß der Baumverteilung auf den Bestandeszuwachs. AFJZ, 165. Jg., H. 9/10, S. 190-201.
- ZIMMERMANN, H. J. und GUTSCHE, L. (1991). Multi-Criteria-Analyse, Einführung in die Theorie der Entscheidung bei Mehrfachzielsetzungen. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, 307 S.