

# Indizes zur Erfassung der Konkurrenz im Bergmischwald - eine Methodenstudie

Martin Bachmann  
Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Universität München

## 1. Einleitung

Algorithmen zur Einschätzung der Konkurrenzsituation von Einzelbäumen oder Beständen sind elementare Bestandteile aller gängigen Wachstums simulatoren. Im jeweiligen Simulator werden meist ein oder mehrere Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren umgesetzt, die der jeweilige Autor aus der Literatur abgegriffen oder wie in vielen Fällen speziell für den Einsatzbereich seines Simulators konzipiert hat.

Im Vordergrund dieser Untersuchung steht das Konkurrenzmodell als solches. Dabei wird anknüpfend an Arbeiten von MARTIN und EK (1984), PUKKULA und KOLSTRÖM (1987), TOMÉ (1989), BIGING und DOBBERTIN (1992) der Beitrag positionsabhängiger Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren zur Erklärung des Einzelbaumwachstums abgeschätzt. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Berücksichtigung der besonderen, i.d.R. geneigten Umgebungsbedingungen im Bergmischwald. Wälder, deren Geländeneigung 90 übersteigt (BML<sub>1</sub>, 1992), besitzen mit einem Waldanteil von bundesweit rund 35% eine hohe Flächenrelevanz, die es bei der Aufstellung von Wuchsmodellen zu berücksichtigen gilt.

Es werden Antworten auf folgende Fragen gesucht:

- Welche Konkurrenzeinflüsse lassen sich basierend auf ertragskundlichen Erhebungen sowie hauptsächlich geometrisch-orientierten Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren in typischen, i.d.R. am Hang stockenden Bergmischwäldern diagnostizieren?
- Was leisten dabei gängige und modifizierte Konkurrenzmodelle bei Unterstellung horizontaler Umgebungsbedingungen?
- Was leisten demgegenüber Verfahren, die an die besondere Situation geneigter Gelände-verhältnisse angepaßt werden?

## 2. Konkurrenzmodelle - zentrale Bausteine von Einzelbaumsimulatoren

Bei den einzelbaumorientierten Managementmodellen wird erstmals von NEWNHAM (1961) sowie daran anknüpfend im STAND PROGNOSES MODEL von STAGE (1976) eine numerische Erfassung der Konkurrenzsituation und deren Einwirkung auf die Einzelbaumdynamik in die Modellierung einbezogen.

Am lehrstuhlinternen Wachstumssimulator SILVA 2 (PRETZSCH, 1995), der alle typischen Bausteine eines Einzelbaumwachstumssimulators beherbergt, soll ihre Bedeutung dargestellt werden. Im eigentlichen Einzelbaumwachstums-Modul wird auf den Eingangsdaten aufbauend die Einzelbaumentwicklung modelliert. Dies geschieht im wesentlichen mit Hilfe von Zuwachsfunktionen, deren Schätzwerte die Fortschreibung der zugehörigen Eingangsdimensionen erlauben. Eine wesentliche, den Einzelbaumzuwachs steuernde Größe ist ein Index, der aus einem von PRETZSCH (1995) entwickelten abstandsabhängigen dreidimensionalen Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren hervorgeht. Die Wuchskonstellation, in welcher sich der Einzelbaum umgeben von seinen Nachbarn befindet, ist Ausgangspunkt für die Beschreibung der individuellen Konkurrenzsituation. Im Durchforstungsmodell ist der Konkurrenzindex, zudem eine wichtige Variable für die Beurteilung der Durchforstungsdringlichkeit des Einzelbaumes (KAHN, 1995).

Die Vorgehensweise bei der Berechnung eines positionsabhängigen Einzelbaum-

---

<sup>1</sup> Geschätzt auf der Basis erfaßter Wegelängen und Neigungsintensitäten für alle Besitzarten.

Konkurrenzwertes läßt sich nach einem Verfahrensvorschlag von BIGING und DOBBERTIN (1992) zerteilen. Dabei wird der Einzelbaum, dessen Konkurrenzsituation beurteilt werden soll, fortin als Zentralbaum bezeichnet.

Im ersten Schritt wird für jeden Zentralbaum geprüft, ob es sich bei dem jeweiligen Nachbarn definitionsgemäß um einen Konkurrenten handeln soll. Je nach Beschaffenheit kann das Konkurrenten-Auswahl- oder Suchradiusverfahren (search radius = SR) einer bestimmten Baugruppe zugeordnet werden:

- **SR1** = Verfahren mit festem Suchradius (fixed radius),
- **SR2** = Verfahren, die auf der Überlappung von Kronen oder von theoretischen Einflußzonen aufbauen (crown or influence-zone overlap),
- **SR3** = Verfahren, die auf der Winkelzählprobe beruhen (diameter in breast height gauge method or point tree samples; height angle gauge method).

Der zweite Schritt des Konkurrenzwert-Berechnungsalgorithmus dient der eigentlichen Quantifizierung des vom Einzelbaum zu erduldenen Konkurrenzdruckes. Dabei wird unter Einbezug der zuvor bestimmten Konkurrenten ein i.d.R. dimensionsloser, individueller Wert erzeugt, dessen Berechnung verschiedene Strategien zugrundeliegen. Wird die Distanz zwischen Konkurrent und Zentralbaum zusätzlich in die eigentliche Berechnungsformel einbezogen, spricht man von distanzgewichteten Verfahren. Bei den meisten Konkurrenzwert-Berechnungsformeln (CI-formula = Fo), die wiederum auf verschiedene Autoren zurückgehen, ist ein hoher Konkurrenzwert (competition index = CI) mit der Annahme hohen Konkurrenzdruckes verbunden. Auch die Konkurrenzwert-Berechnungsformeln lassen sich verschiedenen Bautypen zuordnen (DOYLE, 1983):

- **Fo1** = Berechnungsformeln, die auf Größenrelationen (size-ratio) oder auf Größenunterschieden (size-differences) von Einzelbaumkenngrößen beruhen,
- **Fo2** = Berechnungsformeln, die auf der Überlappung von Kronen oder von theoretischen Einflußzonen aufbauen (crown or influence-zone overlap),
- **Fo3** = Berechnungsformeln, die auf der Methode basieren, jedem Einzelbaum innerhalb eines Bestandes eine Zone zuzuweisen, die wiederum dessen Möglichkeiten zur Eroberung des Wuchsraumes widerspiegeln soll (growing space, area potentially available = APA).

Bei der Darstellung gängiger Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren im Abschnitt 4 wird ersichtlich, daß einige Autoren darüberhinaus Kombinationen der geschilderten Grundtypen verwenden (z.B. PRETZSCH, 1995).

### 3. Untersuchungsmaterial aus dem Bergmischwaldbereich

Die dargestellten Verfahren werden auf der Basis von Versuchsflächendaten empirisch analysiert und auf ihre Nützlichkeit hin überprüft.

Die im Abschnitt 1 dargestellte Zielsetzung erbrachte folgende Kriterien für die Flächenauswahl, die wiederum in wuchsraum- (a, b), bestandes- (c) sowie daten-determinierte (d, e) Vorgaben unterschieden werden können:

- a) Zugehörigkeit zum Wuchsraum tannenreicher bzw. buchenreicher Bergmischwälder (MAYER, 1976),
- b) Vielfalt an standörtlichen Wuchsbedingungen (Neigung, Exposition, Höhenlage etc.),
- c) breites Spektrum von Bestandesstrukturen (Baumartenzusammensetzung, Mischungsformen und -anteile, Alter, Schichtung),
- d) hoch aufgelöste Einzelbaumkenngrößen (Brusthöhendurchmesser, Höhen, Kronendimensionen, Stammfußpositionen),
- e) Vorliegen von Wiederholungsaufnahmen für die Zuwachsermittlung.

Für eine Analyse der Konkurrenzsituation sind neben den Einzelbaumgrößen allgemeine Angaben erforderlich, die den Lebensraum des gesamten Untersuchungsbestandes - der Versuchsparzelle - charakterisieren.

### 3.1 Erfassung parzellenspezifischer Wuchskonstellationen

Liegen keine 3-dimensionalen Stammfußpositionen (Theodolithen-Einmessung) vor, ist die Erhebung folgender Eingangsgrößen erforderlich:

- Orientierung des lokalen Koordinatensystems (Neigung und Exposition der Bezugsachsen):  
In den meisten Fällen ist eine der beiden hangparallel-orientierten Parzellengrenzen die X-Achse, während die Y-Achse (häufig  $\pm$  in der Fallinie) mit definierter Neigung hangauf- oder -abwärts verläuft.
- Absolute Höhenlage des Koordinatenursprungs:  
Diese Werte werden für die Ermittlung individueller Z-Koordinaten benötigt.
- Längen- und Breitenkreiszugehörigkeit:  
Diese Information ist für die unter Punkt 4.3 darzustellende Konstruktion eines sonnenstandsabhängigen Suchkegels erforderlich.

### 3.2 Erfassung einzelbaumabhängiger Kenngrößen

Die Erfassung von Einzelbaumkenngrößen muß im Kontext mit ihrer anschließenden Verarbeitung in verschiedenen Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren gesehen werden. Sie beschreiben zum einen die geometrische Einzelbaumwuchskonstellation, wobei insbesondere Kronencharakteristika und Stammfußkoordinaten zu nennen sind, und zum anderen Kenngrößen, die bei der anschließenden Zuwachsmodellierung benötigt werden (Grundflächenzuwachs, Ausscheidungskennung). Hinzu kommen Durchmesser- und Höhenmeßwerte (Tab. 1).

Tab. 1: Tabellarische Zusammenfassung aller wichtigen Eingangsgrößen, ihrer Einheiten und Genauigkeiten.

Parzellen-Charakteristika			Einzelbaum-Charakteristika		
Kenngröße	Einheit	Dezimalstelle	Kenngröße	Einheit	Dezimalstelle
Flächenabmessung	m	1	Baumnummer	-	-
Koordinatennetzlage	-	-	Baumartenkennung	-	-
Hangneigung	Altgrad	1	Ausscheidungskenn.	-	-
Korrekturfaktor	Altgrad	1	Durchmesser	cm	1
Exposition	Altgrad	-	Höhe, Kronenansatz	m	1
Nordrichtung	Altgrad	-	Kronenradien	m	1
Höhenlage üNN	m	-	Koordinaten	m	1
Geogr. Länge, Breite	Altgrad	2	Grundfl.-zuwachs/a	cm <sup>2</sup>	3
Tag, Monat, Jahr	d, m, a	-			

### 3.3 Kurzcharakteristik des Datenmaterials

Die resultierende Datengrundlage bilden 18 im Bergmischwaldbereich angesiedelte, langfristig beobachtete Versuchsflächen des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde der Universität München. Die 61 Parzellen mit insgesamt 93 Zustandserfassungen des Kronenraumes liegen in den Bayerischen Alpen sowie im Bayerischen Wald, sind aus sehr unterschiedlichen Anteilen der Baumarten Fichte, Tanne und Buche zusammengesetzt und besitzen ein mittleres Bestandesalter von 50 bis über 300 Jahren. Es stehen insgesamt rund 12.000 Einzelbaum-Datensätze zur Verfügung. Die Verteilung der für die Untersuchung von Konkurrenzprozessen am Hang bedeutsamen Merkmale Hangneigung und Exposition - in Form der um 180° entgegengesetzten Hangaufwärtsrichtung - auf Klassen ist in Abb. 1 dargestellt. Die Neigungsstufen variieren in 5 Gradstufen, die Himmelsrichtungen in Schritten von 22,5°. Eine Beschriftung des Kreissegments "-10 22 %" bei den Hangneigungsklassen bedeutet z.B., daß die Klasse mit 5° bis 10° Hangneigung mit 22 % der insgesamt 61 Parzellen abgedeckt ist.

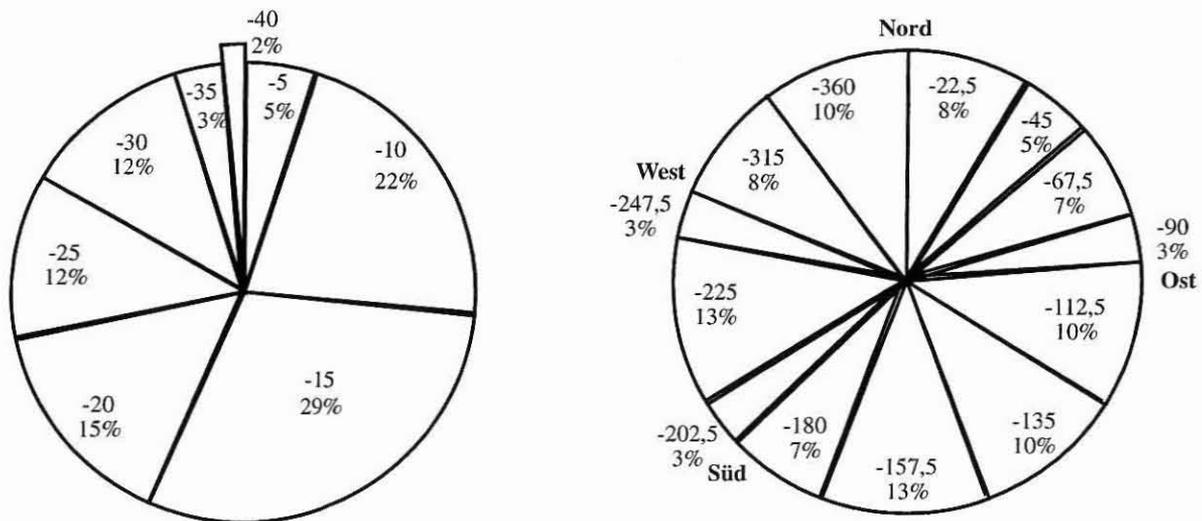


Abb. 1: Prozentische Verteilung der 61 einbezogenen Versuchspartellen auf Hangneigungs- (links) und Hangaufwärtsrichtungs-Klassen (rechts).

#### 4. Methodischen Vorgehen bei der Umsetzung und Bewertung von Konkurrenzmodellen

##### 4.1 Bewährte Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren

Da Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren bei dem Versuch einen leistungsfähigen, an den jeweiligen Einsatzbereich optimal angepassten Wachstumssimulator zu schaffen einen kleinen, aber wesentlichen Modellbaustein darstellen, versuchen viele Autoren diesen ständig zu optimieren. Eine vollständige Auflistung der in Kombination mit Konkurrenten-Auswahlverfahren nahezu unerschöpflichen Anzahl von Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren ist daher nicht möglich.

BIGING und DOBBERTIN (1992) haben eine sehr umfangreiche Auswahl unter gängigen Verfahren getroffen und diese mit eigenen angereichert. Ihre Zusammenstellung wurde um weitere Verfahren ergänzt, deren Algorithmen einen zusätzlichen Aspekt gegenüber den dort beschriebenen beinhalten.

Die Nennung der Berechnungsformeln erfolgt in alphabetischer Reihenfolge der Autoren (Tab. 3a und b). Zuvor werden häufig in Ansatz gebrachte Auswahlverfahren unter Berücksichtigung ihres Bautyps aufgelistet (Tab. 2). Eine Beschreibung gängiger Kombinationen aus Berechnungs- und Auswahlverfahren ist Gegenstand von Tab. 4.

Bei der Darstellung der Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren gelten formelübergreifend die folgenden Konventionen:

- $i$  indiziert eine Größe des Zentralbaums (Bsp.  $D_i$  =Brusthöhendurchmesser [m]),
- $j$  indiziert eine Größe des Konkurrenten (Bsp.  $H_j$  =Höhe [m]),
- $ij$  indiziert eine beidseitige Größe (Bsp.  $Dist_{ij}$  =Distanz zwischen beiden [m]),
- mit Ausnahme des Brusthöhendurchmessers [cm] verstehen sich alle Angaben von Einzelbaumdimensionen und Distanzen in Metern [m] sowie Potenzen davon [qm, cbm] (Beispiel  $CM_i$  =Kronenmantelfläche des Zentralbaums [qm]),
- der resultierende Konkurrenzwert wird jedoch grundsätzlich dimensionslos betrachtet,
- das kombinierte Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren wird mit einem Kürzel codiert, hinter dem sich an erster Stelle die Berechnungsformel und an zweiter Stelle der Konkurrenten-Auswahlalgorithmus verbirgt (Beispiel „H\_DS6“ mit der Formel von HEGYI (1974) und dem unten beschriebenen Suchverfahren „DS6“).

#### 4.1.1 Konkurrenten-Auswahlverfahren

Alle aus der Literatur<sup>2</sup> ermittelten Algorithmen zur Festlegung von Konkurrenten sind Gegenstand von Tab. 2. Überschreitet der vom Zentralbaum ausgehende Suchradius die Distanz zum jeweiligen Nachbarn, wird dieser als Konkurrent identifiziert.

Tab. 2: Gängige Suchalgorithmen zur Bestimmung von Konkurrenten. Der Ermittlung der potentiellen Kronenbreiten (CW1, CW2) liegt das von PRETZSCH (1992) beschriebene Verfahren zugrunde. Auf Grund des minimalen Höhenzuwachses und der damit verbundenen Schwierigkeiten bei der Höhenmessung wird jedoch die Bezugsgröße Höhe durch den Brusthöhendurchmesser ersetzt.

Kennung	Formel	Variablen-Beschreibung	Gruppe
CW1	$Dist_{ij} < (CW_i + CW_j)$	CW = potentielle Kronenbreite	SR2
CW2	$Dist_{ij} < 2 * (CW_i + CW_j)$		
KR1	$Dist_{ij} < (KR_i + KR_j)$	KR = tatsächlicher Kronenradius	SR2
DD85, DD90, DD95	$Dist_{ij} < (D_i^2 + D_j^2) * m$	m = Multiplikator (0.0085, 0.0900, 0.0095)	SR2
D15, D20, D25, D33, D35, D50	$Dist_{ij} < D_j * m$	D = Brusthöhen- durchmesser m = Multiplikator (0.15, 0.20, 0.25, 0.33, 0.35, 0.50)	SR3
DS8, DS6	$Dist_{ij} < (D_i + D_j) * m$	m = Multiplikator (1/8 bzw. 1/6)	SR3
H50, H60	$Dist_{ij} < \frac{H_j}{\tan(\alpha)}$	H = Höhe $\alpha$ = Öffnungswinkel (50 bzw. 60° [Altgrad]) KRA = Kronenan- satzhöhe	SR3
K50, K60	$Dist_{ij} < \frac{H_j - KRA_i}{\tan(\alpha)}$		
KV1	$Dist_{ij} < \frac{H_j - KRA_i}{(50 - KRA_i)} * 30$		SR3
0660	$Dist_{ij} < \frac{H_j - (H_i * 0.6)}{\tan 60^\circ}$		SR3

#### 4.1.2 Konkurrenzwert-Berechnungsformeln

Alle recherchierten Konkurrenzwert-Berechnungsformeln sind Gegenstand von Tab. 3a und b.

<sup>2</sup> Eine zweifelsfreie Ermittlung des jeweiligen Autors der Erstbeschreibung ist nicht möglich.

Tab. 3a: Gängige Konkurrenzwert-Berechnungsformeln, Teil 1 (alphabetisch geordnet nach Autoren).

Kennung, Formel	Variablen-Benennung	Gruppe
$A = n / \sum_{j=1}^n \left\{ \Pi \left[ \frac{\text{Dist}_{ij} * D_i}{D_i + D_j} \right]^2 \frac{D_j}{\text{Dist}_{ij}} \right\} \frac{1}{\sum \left( \frac{D_j}{\text{Dist}_{ij}} \right)}$	<p>A = CI ALEMDAG  n = Anzahl von Konkurrenten</p> <p>Dist<sub>ij</sub> = Distanz  D = Brusthöhen-durchmesser</p>	Fo3
$B = \sum_{j=1}^n \frac{O_{ij} * D_j}{Z_i * D_i}$	<p>B = CI BELLA  O<sub>ij</sub> = Überlappungszone  Z<sub>i</sub> = Einflußzone des Zentralbaums</p>	Fo2
$C^* = \sum_{j=1}^n \frac{CC_j}{CC_i * (\text{Dist}_{ij} + 1)}$	<p>C' = CI BIGING u. DOBBERTIN  CC = Kronenquerschnittsfläche  ' = Betrachtung in 50, 66, 75 % der Gesamthöhe des Zentralbaums</p>	Fo1
$M^* = \sum_{j=1}^n \frac{CM_j}{CM_i * (\text{Dist}_{ij} + 1)}$	<p>M' = CI BIGING u. DOBBERTIN  CM = Kronenmantelfläche</p>	Fo1
$V^* = \sum_{j=1}^n \frac{CV_j}{CV_i * (\text{Dist}_{ij} + 1)}$	<p>V* = CI BIGING u. DOBBERTIN  CV = Kronenvolumen</p>	Fo1
$MU^{**} = \sum_{j=1}^n \frac{CM_j}{CM_i}$	<p>MU'' = CI BIGING u. DOBBERTIN  '' = Betrachtung auf ZB-Seite in Kronenansatz- bzw. 66% Höhe; bei Konkurrent suchkegelabhängig</p>	Fo1
$VU^{**} = \sum_{j=1}^n \frac{CV_j}{CV_i}$	<p>VU'' = CI BIGING u. DOBBERTIN</p>	Fo1
$H = \sum_{j=1}^n \frac{D_j}{D_j * (\text{Dist}_{ij} + 1)}$	<p>H = CI HEGYI</p>	Fo1
$ME = \sum_{j=1}^n \frac{D_j}{D_i} * e^{\left[ \frac{16 * \text{Dist}_{ij}}{(D_i + D_j)} \right]}$	<p>ME = CI MARTIN und EK</p>	Fo1
$P_{0660} = \sum_{j=1}^n BETA_{ij} * \frac{CC_j}{CC_i}$	<p>P_0660 = CI PRETZSCH  BETA = Steigung d. Verbindungslinie zw. Suchkegelspitze u. Konkurrentenwipfel gegenüber der Horizontalen (&gt; 60°) minus 60°</p>	Fo1, Fo3

Tab. 3b: Gängige Konkurrenzwert-Berechnungsformeln, Teil 2 (alphabetisch geordnet nach Autoren). Bei den Verfahren MDR und DD werden jeweils drei verschiedene Abstandsfunktionen verwendet.

Kennung, Formel	Variablen-Benennung	Gruppe
$MDRF^{1,2,3} = \sum_{j=1}^{n1} \frac{D_j}{D_i} * F^{1,2,3}$ $MDRF^{1,2,3} = -\sum_{j=1}^{n2} \frac{D_i}{D_j} * F^{1,2,3}$	gegenüber überlegenem Konkurrenten $MDRF^{1,2,3}$ = CI TOMÉ und BURKHART gegenüber unterlegenem Konkurrenten $F^1 = \frac{1}{Dist_{ij}}, F^2 = \frac{1}{Dist_{ij}^2}, F^3 = e^{-Dist_{ij}}$	F o 1
$DDF^{1,2,3} = (D_j - D_i) * F^{1,2,3}$	$DDF^{1,2,3}$ = CI TOMÉ u. BURKHART gegenüber jedem Konkurrenten	F o 1
$MAOF^1 = \sum_{j=1}^{n1} \frac{O_{ij}}{Z_i} * F^1$ $MAOF^1 = -\sum_{j=1}^{n2} \frac{O_{ji}}{Z_j} * F^1$	gegenüber überlegenem Konkurrenten $MAOF^1$ = CI TOMÉ u. BURKHART gegenüber unterlegenem Konkurrenten	F o 2

#### 4.1.3 Bewährte Kombinationen aus Such- und Berechnungsalgorithmen

Alle recherchierten Kombinationen sind in Tab. 4 aufgelistet.

Tab. 4: Kombinationen gängiger Auswahlverfahren (Zeilen) und Berechnungsformeln (Spalten). Die Ziffern 50, 66 und 75 bei den Verfahren C\*, M\*, V\*, MU\*\* und VU\*\* geben die Betrachtungshöhe in % der Gesamthöhe bzw. in der Kronenansatzhöhe (K) des Zentralbaumes an.

Such- ver- fahren	Konkurrenzwert-Berechnungsformeln nach Autoren																									
	A	B	C*			M*			V*			MU**	VU**	H	ME	P	MDR			DD			MAO			
			50	66	75	50	66	75	50	66	75	K	66	K	66				F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	
CW1		+																								
CW2		+																								
KR1		+																								
D15																									+	
D20																									+	
D25	+																				+		+		+	
D33			+	+	+	+	+	+	+	+	+															
D35																					+	+	+	+	+	+
D50																					+		+			
DS8	+	+																								
DS6		+																								
H50			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+								
H60	+											+		+												
K50	+																									
KV1																										
0660																										
	4	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	7	7	1	5	5	5	5	5	5	3	

## 4.2 Modifikationen gängiger Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren

Neben den recherchierten Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren und deren Neukombination mit anderen traditionellen Suchalgorithmen wird nach einfachen Verbesserungsmöglichkeiten beispielsweise durch Annahme variierender Ansatzpunkte und Öffnungsweiten des lotrecht-orientierten Suchkegels gesucht.

Dabei werden folgende, **suchkegel-abhängige** Varianten einbezogen:

- Suchkegel am Kronenansatzpunkt lokalisiert, Öffnungswinkel von 30 - 60°, in 5-Altgradstufen variierend (Bezeichnung K30 - K60),
- Suchkegel am Stammfußpunkt lokalisiert, Öffnungswinkel von 40 - 80°, in 5°-Stufen variierend (Bezeichnung H40 - H80),
- Ansatzpunkte in 10 - 90 % der Zentralbaumhöhe, in 10 %-Schritten (10 -90 %) sowie Öffnungswinkel in 10°-Schritten (10 -90°) variierend (Bezeichnung 0110 - 0990).

Weitere, **suchkegel-unabhängige** Varianten sind:

- Innerhalb derjenigen Konkurrenten-Auswahlverfahren, bei denen die Summe aus den Durchmesserwerten von Zentralbaum und Konkurrent gebildet wird (Tab. 5, oben), wird der Einfluß eines Nenners ( $q$ ) getestet, der in Einerschritten von 4 auf 15 ansteigt (Bezeichnung DS4 - DS15).
- Bei den ebenfalls von der Winkelzählprobe abgeleiteten Suchalgorithmen, die jedoch nur den Durchmesser des Zentralbaums zur Abgrenzung verwenden, wird die Auswirkung eines Multiplikators ( $m$ ) studiert, der sich in 0.05 Stufen von 0.05 auf 0.50 erhöht (Bezeichnung D05 - D50, Tab. 5, unten).

Tab. 5: Weitere, suchkegel-unabhängige Varianten der Konkurrentenauswahl (Erläuterung im Text).

Kennung	Formel	Variablen-Benennung	Gruppe
DS4 - DS15	$Dist_{ij} < \frac{D_i + D_j}{q}$	$q = 4..15$	SR3
D05 - D50	$Dist_{ij} < m * D_j$	$m = 0.05..0.5$	SR3

Alle unter a bis e beschriebenen Modifikationen bei der Konkurrentenauswahl sind zusammen mit den umgesetzten Berechnungsformeln der Autoren HEGYI (1974), BIGING und DOBBERTIN (1992) sowie PRETZSCH (1995) in Tab. 6 aufgelistet.

## 4.3 Anpassungen an geneigte Geländebeziehungen

Die Anpassung erfolgt in zwei Schritten: Im ersten werden die Wuchskonstellationen der Einzelbäume unter Zuhilfenahme der im Materialteil dargestellten parzellenspezifischen Zusatzinformationen durch Einbezug der tatsächlichen Neigungs- und Expositionsverhältnisse realistischer beschrieben. Im zweiten werden die Konkurrenten-Auswahlverfahren an diese Geländebeziehungen angepaßt und mit ausgewählten Berechnungsformeln neu kombiniert.

Zu Punkt 1 gehören:

- Berechnen 3-dimensionaler Stammfußkoordinaten (soweit nicht vorhanden):  
Auf der Basis eines in seiner Lage charakterisierten Koordinatensystems (welche Achse verläuft hangparallel, welche hangauf- oder abwärts; ggf. Angabe eines Korrekturfaktors) und der bereinigten Flächenabmessung (eine rechteckige Flächenform ist zwingend erforderlich) sind die vor Ort erfaßten Hang-Koordinaten auf Horizontalprojektion umzurechnen. Anschließend muß für jeden Einzelbaum eine zugehörige Z-Kordinate abgeleitet werden.

Tab. 6: Neukombinationen von durchmesser- (linker Block) und suchkegelabhängigen (mittlerer und rechter Block) Auswahlverfahren und Berechnungsformeln (Spalten) der Autoren HEGYI (1974), BIGING und DOBBERTIN (1992) sowie PRETZSCH (1995).

Such- ver- fahren	CIs		Such- ver- fahren	CIs				Such- ver- fahren	CIs	
	M*	H		M*	V*		M*		P	
	66			50	66	50	66	66		
CW1	+	+	H35		+			0110	+	
CW2	+	+	H40	+	+	+	+	...	+	
			H45	+	+	+	+	0190	+	
D05		+	H50					0210	+	
D10		+	H55	+	+	+	+	...	+	
D15	+	+	H60	+	+	+	+	0290	+	
D20	+	+	H65	+	+	+	+	0310	+	
D25	+		H70	+	+	+	+	...	+	
D30		+	H75		+			0290	+	
D33	+	+	H80		+			0410	+	
D35		+						...	+	
D40		+	K30	+	+	+	+	0490	+	
D45		+	K35	+	+	+	+	0510	+	
D50		+	K40	+	+	+	+	...	+	
			K45	+	+	+	+	0590	+	
DD85	+	+	K50	+	+	+	+	0610	+	
DD90	+	+	K55	+	+	+	+	...	+	
DD95	+	+	K60	+	+	+	+	0690	+	
								0710	+	
DS4		+	KV1		+			...	+	
DS5		+						0790	+	
DS6	+	+						0810	+	
DS7		+						...	+	
DS8	+							0890	+	
DS9		+						0910	+	
DS10		+						...	+	
DS11		+						0990	+	
DS12		+								
DS13		+								
DS14		+								
DS15		+								

b) Berücksichtigung von Randeffekten an der Grenze der jeweiligen Parzelle:

Zum einen wird durch Verschiebung konkreter Teilflächen ein Streifen nebst Bestockung am Parzellenrand angesetzt. Dabei bleiben die Neigungs- und Expositionsverhältnisse der Parzelle gewahrt. Die Tiefe dieser Umfassung ist, obwohl in ihrer Ausdehnung frei wählbar, im Anhalt an eine minimal auftretende Parzellenkantenlänge auf 30 m beschränkt worden. Zum anderen kann sich das Konkurrentenkollektiv von Bäumen, die unmittelbar am Rand stocken, zu annähernd 50 % - im Bereich der Parzellenecken sogar zu 75% - aus generierten Konkurrenten zusammensetzen. Um deren Einfluß abzuschwächen, wird ein Schutzstreifen von 5 m innerhalb der Parzelle definiert, dessen Individuen bzw. deren Konkurrenzwerte nicht in die anschließende Zuwachsmo­dellierung eingehen. Dieses Konzept ist denzufolge eine Kombination aus den gängigen Verfahren "expansion-" und "buffer-zone" (ALEMDAG, 1987; MARTIN und EK, 1984).

Die Annahme eines kegelförmigen Suchraumes hat sich im Rahmen vieler Studien bewährt (PUKKULA und KOLSTRÖM, 1987; BIGING und DOBBERTIN, 1992; PRETZSCH, 1992, 1995). Gerade unter Berücksichtigung geneigter Verhältnisse ergibt sich dabei die Frage,

ob nicht ein Abweichen von der lotrechten Suchkegelachse zur Verbesserung des Modells beitragen kann.

Zwei von vielen Möglichkeiten sollen weiterverfolgt werden:

- a) Ausrichtung in hangabwärtiger Himmelsrichtung:  
Die Neigung der Suchkegelachse wird direkt an die Hangneigung gekoppelt. Das bedeutet, daß die Suchkegelachse senkrecht zur Falllinie positioniert wird.
- b) Ausrichtung auf den Sonnenstand:  
Betrachtet wird der Inklinationswinkel zum oberen Kulminationspunkt des täglichen Sonnenstandes (Süden). Im Gegensatz zu dem unter a) dargestellten Ansatz ergeben sich hier in Abhängigkeit von der jeweiligen Exposition der Versuchsanlage maßgebliche Unterschiede in der Besetzung des Suchraumes. Eine entsprechend steile Nordexposition wird dazu führen, daß der Suchkegel hangaufwärts gerichtet ist oder gar teilweise in den Hang hineinragt, und somit beinahe alle in dieser Richtung vorhandenen Individuen zum Konkurrentenkollektiv zählen.

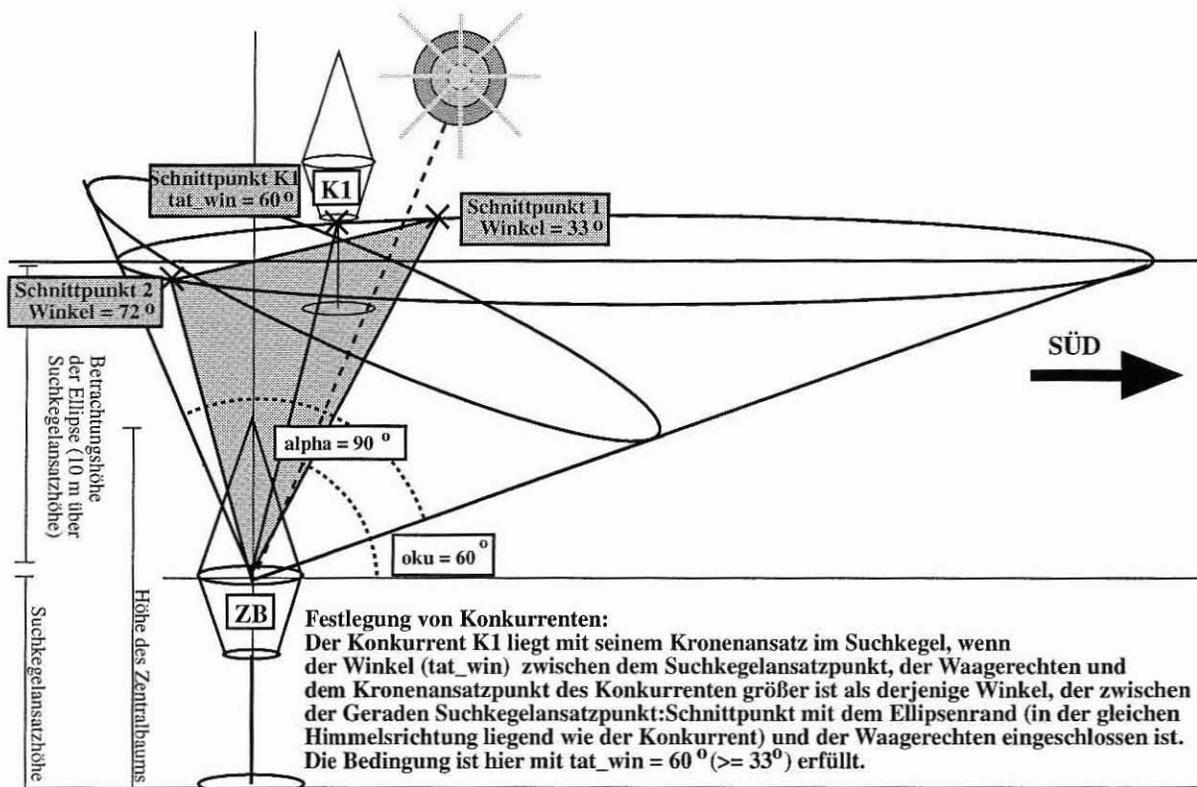


Abb. 2: Konkurrentenauswahl mit Hilfe eines sonnenstands-abhängigen Suchkegels ( $\alpha =$  Suchkegelöffnungswinkel,  $oku =$  oberer Kulminationspunkt des täglichen Sonnenstandes, beide in Altgrad; weitere Erläuterungen in der Grafik und im Text).

Bei der Umsetzung der heuristisch abgeleiteten Optimierungsversuche treten zwei Schwierigkeiten auf:

- a) Abschattungseffekte, wie sie durch vorgelagerte Geländehindernisse oder andere beispielsweise am Gegenhang anzutreffende Bestockungen denkbar sind, können, da diese nicht eingemessen wurden, im Rahmen dieses Modells keine Berücksichtigung finden.
- b) Solange die Suchkegelachse des Zentralbaums lotrecht verläuft, sind die Kriterien für die Festlegung von Konkurrenten geometrisch einfach beschreibbar, da die Kegelmantelfläche in alle Richtungen die gleiche Inklination besitzt. Der potentielle Konkurrent gehört zum Konkurrenten-Kollektiv, wenn die Steigung einer Geraden ausgehend vom Ansatzpunkt der Suchkegelspitze zu seinem Wipfel steiler ist als diejenige der Suchkegel-Mantelfläche in

derselben Richtung. Wird nun diese lotrechte Position der Suchkegelachse zugunsten einer bestimmten Suchrichtung - z.B. Süden - verlassen, besitzt die zugehörige Suchkegelmantelfläche dorthin die geringste und in der entgegengesetzten Richtung - entsprechend Norden - die größte Steigung. Alle übrigen Bereiche der Mantelfläche besitzen eine intermediäre Steigung, die zwischen den genannten Rahmenwerten nicht linear verläuft. Der Ansatz ist in Abb. 2 graphisch skizziert.

Nach Festlegung der im Zuge der neuen Auswahlverfahren einschlägigen Kontrahenten (sonnenstands- bzw. expositionsabhängige Suchkegel-Orientierung) werden diese nun in den eigentlichen Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren weiterverarbeitet.

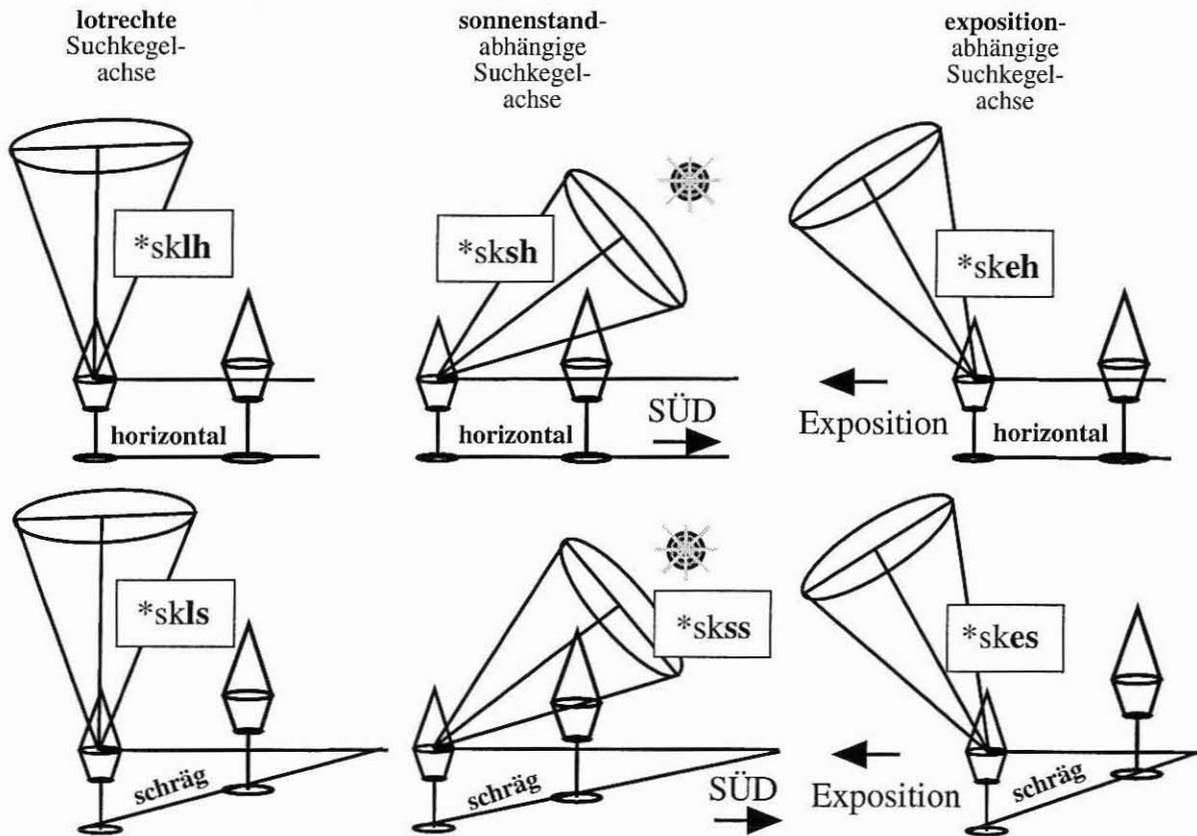


Abb. 3: Suchkegel-abhängige Varianten für die Festlegung von Konkurrenten im geneigten Gelände (Erläuterung im Text).

Im Anhalt an die beschriebenen suchkegel-abhängigen Varianten bei Zugrundelegung horizontaler Ausgangsbedingungen (vgl. 4.2) werden auch hier zusätzlich die Auswirkungen verschiedener Suchkegelöffnungswinkel (20, 40, 60, 80, 100 und 120 Altgrad) sowie - ansatzhöhen (in 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 und 0.9 der Zentralbaumhöhe) einbezogen (Tab. 7 und Abb. 3). Zum Vergleich wird auch eine Variante mitgeführten, welche horizontale Bedingungen unterstellt (LH102 bis LH912).

Tab. 7: Neue suchkegel-abhängige Varianten (insgesamt  $6 * 5 * 6 = 180$ ).

Kennung	Ausrichtung der Suchkegelachse	Betrachtung der Geländebeziehungen	Suchkegel-Ansatzhöhe	Suchkegel-Öffnungswinkel
EH102 - EH912	Exposition	horizontal	1=0.1 bis 9=0.9	2=20° bis 12=120°
ES102 - ES912	Exposition	schräg	dto. (5 vers.)	dto. (6 vers.)
SH102 - SH912	Sonne	horizontal	dto.	dto.
SS102 - SS912	Sonne	schräg	dto.	dto.
LH102 - EH912	lotrecht	horizontal	dto.	dto.
LS102 - ES912	lotrecht	schräg	dto.	dto.



Nach erfolgter SPEARMAN-Rangkorrelation werden die Verfahren für alle Straten nach abnehmenden absoluten Korrelationsindices geordnet und Rangziffern - im Fall der konventionellen Verfahren aus der Literatur sind es die Ränge 1 bis 61 - vergeben (siehe Bewertungsmatrix, Tab. 9, linker Block). Eine Umwandlung in Betragsgrößen ist notwendig, da es in einigen Fällen verfahrensbedingt auch zu positiven Werten kommt (z.B. Verfahren nach ALEMDAG, 1978). Gleiche Korrelationsindices haben diesselben Rangziffern zur Folge. Wird z.B. die Platzziffer 5 doppelt vergeben, erhalten beide Verfahren den Rang 6. Alle Straten werden einheitlich gewichtet. Dem liegt die Absicht zugrunde, ein Verfahren ausfindig zu machen, das nach Möglichkeit für alle Baumarten und sozialen Höhengschichten geeignet ist.

Die gruppen-übergreifende Bewertung erfolgt durch Ermittlung einfacher statistischer Kenngrößen. Im ersten Schritt werden dabei getrennt für die beiden Eingangsgrößen Korrelationsindex und Rangziffer die Maxima und Minima innerhalb jedes Konkurrenzwert-Berechnungsverfahrens bestimmt (Tab. 9, rechter, oberer Block). Als zusätzliches Gütemaß für die nicht ordinal-skalierten Rangziffern werden die Rubriken "Diff. Rangziffer" (max. Rangziffer minus min. Rangziffer) sowie "Mitte Rang" (Mitte zwischen max. Rangziffer und min. Rangziffer) einbezogen. Im zweiten Schritt erfolgt auf der Basis dieser Kenngrößen die Auswahl zwischen den Berechnungsverfahren (Tab. 9, rechter, unterer Block). So wird beispielsweise aus der Rubrik „min. Korrelationsindex“ - hier ist innerhalb eines Verfahrens und über 20 Straten hinweg der schlechteste Korrelationsindex vorgetragen - dasjenige Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren ausgewählt, welches den maximalen-minimalen Korrelationswert besitzt (Max Min Korrelationsindex). Zusätzlich werden die 10 besten Verfahren sowie deren zugrundeliegende Korrelationswerte und Rangziffern festgehalten.

## 5. Leistung herkömmlicher und abgewandelter Verfahren bei Unterstellung horizontaler Umgebungsbedingungen

Die aufwendigen Rechenschritte für insgesamt 228 verschiedene Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren - davon 61 gängige und 167 neu-kombinierte - werden nur mit dem Datenmaterial der Versuchsflächen bei Garmisch (vgl. 4.4) umgesetzt.

Tab. 10: Ergebnis des auf der SPEARMAN-Rangkorrelation basierenden Bewertungsverfahrens für 61 gängige Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren.

Top Ten	CI	Min Korrr	CI	Max Rang	CI	Prod. Korrr	CI	Max Korrr	CI	Min Rang
1	V66_D33	0,303	P_0660	32	P_0660	3,5E-6	V50_D33	0,934	A_K50	1
2	M66_D33	0,277	C50_D33	39	M66_D33	2,9E-6	M50_D33	0,910	M50_D33	1
3	M75_D33	0,248	M50_D33	40	M50_D33	2,6E-6	M50_H50	0,910	M66_H50	1
4	M66_H50	0,245	M66_D33	43	M66_H50	1,6E-6	V66_D33	0,910	MG50_H50	1
5	V50_D33	0,220	V50_H50	44	V66_D33	1,6E-6	V66_H50	0,910	DDF1_D25	1
6	M50_D33	0,220	V50_D33	45	V50_D33	1,5E-6	V75_D33	0,910	DDF1_D35	1
7	V66_H50	0,208	M66_H50	46	M75_D33	1,4E-6	MUK_H50	0,886	H_D33	1
8	V75_D33	0,205	H_H60	46	H_D33	1,0E-6	VU66_H50	0,886	H_K50	1
9	C50_D33	0,195	H_D33	47	A_D25	1,0E-6	VUK_H50	0,886	B_KR1	1
10	M75_H50	0,176	DDF1_D50	50	H_D25	9,8E-7	A_D25	0,874	V50_D33	1
Top Ten	CI	mittl. Korrr	CI	Median Korrr	CI	Stabw. Korrr	CI	Diff. Rang	CI	Mittl. Rang
1	P_0660	0,577	H_D25	0,608	M66_D33	0,162	C50_D33	30	P_0660	16,5
2	M50_D33	0,560	H_H60	0,607	A_DS8	0,166	MDRF2_D35	31	M50_D33	20,5
3	H_D25	0,558	A_K50	0,605	B_DS8	0,170	P_0660	31	V50_D33	23
4	A_K50	0,558	H_D33	0,600	M75_D33	0,174	DDF3_D35	35	M66_D33	23,5
5	H_D33	0,556	P_0660	0,588	ME_DS8	0,174	MDRF3_D35	36	M66_H50	23,5
6	M66_D33	0,552	ME_D33	0,585	ME_DS8	0,174	M50_D33	39	C50_D33	24
7	A_D25	0,551	H_H50	0,577	V66_D33	0,176	M66_D33	39	H_D33	24
8	V50_D33	0,547	ME_KV1	0,577	M66_H50	0,178	DDF2_D35	39	H_H60	24
9	M66_H50	0,543	H_KV1	0,568	H_DS8	0,179	V50_H50	40	V50_H50	24
10	H_H60	0,541	A_D25	0,565	C50_D33	0,181	C50_H50	42	DDF1_D50	26

Die auf der SPEARMAN-Rangkorrelation aufbauende Bewertungsmatrix führt bei den 61 aus der Literatur abgegriffenen Verfahren zu der in Tab. 10 dargestellten Liste, deren Inhalt sich wie folgt zusammenfassen läßt:

- die Korrelationen erreichen 0.93 (Spalte "Max Korr", Verfahren: V50\_D33),
- sie nehmen von der Unter- zur Oberschicht hin ab (nicht aus der Tabelle ersichtlich),
- die Korrelationen sind bei Fichte geringfügig schlechter als bei Buche und Tanne (nicht aus der Tabelle ersichtlich),
- bei den durchmesser-abhängigen Formeln sind die Verfahren von HEGYI und ALEMDAG häufig überlegen,
- es treten kronen-abhängige Berechnungsformeln in den Vordergrund (M\*, V\*,MU\*\*, VU\*\*, P)
- bei den Suchverfahren stechen suchkegel- sowie (\_H\*, \_0660) vereinzelt auch durchmesser-abhängige (\_D33, \_D25) hervor.

Auf der Basis der gewonnenen Resultate werden bisher vielversprechende Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren wie diejenigen von BIGING und DOBBERTIN (1992), HEGYI (1974) und PRETZSCH (1995) mit anderen Konkurrenten-Auswahlverfahren neu kombiniert, die zugehörigen Konkurrenzindices errechnet und mit einer SPEARMAN-Korrelation zusammen mit den bisherigen Verfahren erneut bewertet. Die Ergebnisse (Tab. 11) können wie folgt zusammengefaßt werden:

- die Korrelationen steigen bis 0.97 (Spalte "Max Korr", Verfahren: V66\_H70),
- mit wenigen Ausnahmen (V66\_D33, V50\_D33, M50\_D33) sind die neu-kombinierten Verfahren den bisherigen überlegen,
- kronenmantelflächen- bzw. volumen-bezogene Verfahren setzen sich noch deutlicher ab,
- suchkegel-abhängige Verfahren führen gegenüber durchmesser-abhängigen Modifikationen zu besseren Ergebnissen.

Tab. 11: Ergebnis des auf der SPEARMAN-Rangkorrelation basierenden Bewertungsverfahrens für insgesamt 228 bewährte und modifizierte Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren.

Top Ten	CI	Min Korr	CI	Max Rang	CI	Prod. Korr	CI	Max Korr	CI	Min Rang
1	M66_0450	0,313	M66_0260	132	V50_K50	8,7E-6	V66_H70	0,970	A_K50	1
2	M66_0560	0,313	M66_H65	137	M66_0750	7,7E-6	M50_H60	0,946	M50_H40	1
3	M50_K40	0,309	M66_0360	144	M66_0660	6,9E-6	M66_H80	0,946	M66_H80	1
4	M66_0750	0,308	P_0670	147	P_0560	6,2E-6	V50_D33	0,934	M66_K40	1
5	M66_0650	0,304	M66_0460	149	M66_0560	6,0E-6	V50_H55	0,934	M66_0550	1
6	V66_D33	0,303	M66_0560	149	P_0450	5,5E-6	V50_K50	0,934	M66_0750	1
7	M66_0550	0,301	M66_H70	150	M50_K60	5,4E-6	P_0730	0,934	M66_0760	1
8	V50_K40	0,301	P_0570	150	M50_K50	5,3E-6	M50_D33	0,910	M66_0470	1
9	M66_H65	0,299	P_0560	151	V50_K60	5,3E-6	M50_H50	0,910	DDF1_D35	1
10	V50_K30	0,298	V50_K60	152	P_0570	5,2E-6	M50_H40	0,910	H_D33	1
Top Ten	CI	mittl. Korr	CI	Median Korr	CI	Stabw. Korr	CI	Diff. Rang	CI	Mittl. Rang
1	P_0560	0,582	M50_K50	0,612	H_DS13	0,109	P_0510	101	M66_0260	73
2	V50_K50	0,582	H_D20	0,610	P_0210	0,110	M66_H65	117	P_0670	74
3	M66_0750	0,579	H_D35	0,608	H_DS11	0,112	M66_0260	118	P_0560	77
4	P_0550	0,577	H_D25	0,608	H_D05	0,116	P_0410	121	P_0570	77,5
5	M66_0660	0,577	H_H60	0,607	H_DS14	0,121	M66_0360	125	M66_H65	78,5
6	P_0660	0,577	A_K50	0,605	H_DS12	0,126	P_0210	128	M66_0560	80
7	P_0670	0,575	H_D40	0,603	P_0110	0,127	P_0310	128	P_0550	81
8	P_0450	0,575	M66_0660	0,602	P_0310	0,128	M66_0160	132	P_0470	81
9	P_0570	0,574	M66_0760	0,602	P_0510	0,129	M66_0460	133	M66_0360	81,5
10	V50_K60	0,573	M66_0850	0,601	P_0610	0,131	M66_H70	134	M66_H60	82,5

Bei den Formeln von BIGING und DOBBERTIN (1992), HEGYI (1974) und PRETZSCH (1995) sowie hauptsächlich suchkegel-abhängigen Konkurrentenauswahl-Strategien lassen sich mit Hilfe einer SPEARMAN-Rangkorrelation hohe Korrelationsindices sowie signifikante Zusammenhänge zwischen den individuellen Konkurrenzindices und den zugehörigen Grundflächenzuwächsen aufzeigen. Diese auf der Unterstellung horizontaler Umgebungsverhältnissen beruhenden Leistungen bilden die Referenz, an welcher die an den geneigten Wuchsraum angepaßten Verfahren gemessen werden.

## 6. Leistung von an geneigte Wuchsbedingungen angepaßten Verfahren

Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt konnten die im Methodenteil dargestellten suchkegel-abhängigen Anpassungen an geneigte Umgebungsbedingungen lediglich für zwei Konkurrenzwert-Berechnungsformeln realisiert werden - für den Algorithmus von HEGYI (1974) sowie für einen distanzgewichteten Kronenmantelflächen-Ansatz von BIGING und DOBBERTIN (1992). Bei letzterem werden abweichend von der Vorgabe der Autoren die Kronenmantelflächen von Zentralbaum und jeweiligem Konkurrent in der Ansatzhöhe des Suchkegels und nicht in 50, 66 oder 75% der Zentralbaumhöhe ins Verhältnis gesetzt. Die Ausrichtung der Suchkegelachse auf den Sonnenstand (Kennungen "\_SH" und "\_SS") erfolgt zum Zeitpunkt des Sonnenhöchstands im jeweiligen Erhebungsjahr (21.Juni).

Tab. 12: Ergebnis des auf der SPEARMAN-Rangkorrelation basierenden Bewertungsverfahrens für 180 suchkegel-abhängige Modifikationen eines Verfahrens von BIGING und DOBBERTIN (1992).

Rang- folge	CI	Min Korr	CI	Max Rang	CI	Prod. Korr	CI	Max Korr	CI	Min Rang
1	M_SS312	0,434	M_LS504	44	M_LS512	0,002	M_LH706	0,836	M_LH706	1
2	M_LS512	0,418	M_LS506	44	M_LS510	0,002	M_LH708	0,834	M_LS106	1
3	M_SS310	0,408	M_LS508	45	M_SS312	0,001	M_LS706	0,834	M_LS306	1
4	M_LS708	0,382	M_LH508	46	M_LS508	0,001	M_LS708	0,832	M_LS510	1
5	M_SS510	0,380	M_LS510	47	M_LS506	0,001	M_LH710	0,830	M_LS512	1
6	M_LS510	0,380	M_LH504	49	M_LH506	0,001	M_LS710	0,826	M_LS712	1
7	M_SS512	0,378	M_LH506	50	M_LS712	0,001	M_LH910	0,825	M_SH512	1
8	M_LS710	0,375	M_LS306	52	M_LH508	0,001	M_LH912	0,823	M_SS110	1
9	M_LH708	0,367	M_LS512	52	M_SS310	0,001	M_LH712	0,823	M_SS312	1
10	M_LS706	0,365	M_LH306	53	M_LH504	0,001	M_LH908	0,820	M_SS512	1
Rang- folge	CI	mittl. Korr	CI	Median Korr	CI	Stabw. Korr	CI	Diff. Rang	CI	Mitte Rang
1	M_LS512	0,599	M_SS312	0,598	M_SS302	0,059	M_SH902	4	M_LS506	24
2	M_LS510	0,594	M_LS512	0,597	M_SS502	0,072	M_EH902	13	M_LS508	24
3	M_LS508	0,589	M_LS510	0,579	M_EH502	0,074	M_ES902	13	M_LS510	24
4	M_SS312	0,588	M_LS306	0,572	M_SH302	0,075	M_SS902	14	M_LH508	27
5	M_LS506	0,587	M_LH512	0,572	M_EH302	0,076	M_SH702	21	M_LS306	27
6	M_LH506	0,586	M_LS506	0,572	M_ES302	0,077	M_SS702	21	M_LS504	27
7	M_LH508	0,579	M_LH506	0,571	M_SH102	0,080	M_SH904	23	M_LS512	27
8	M_LS712	0,578	M_LH304	0,570	M_SS102	0,081	M_ES904	25	M_LH306	28
9	M_LH504	0,571	M_LH306	0,569	M_ES502	0,083	M_EH702	28	M_LH506	29
10	M_LH510	0,571	M_SS110	0,568	M_ES102	0,087	M_ES702	28	M_LH504	31

In die SPEARMAN-Rangkorrelationen werden ausgehend von über 12000 Einzelbaum-Datensätzen nur ca. 5000 der Baumarten Fichte, Tanne und Buche einbezogen.

Diese Datenreduktion geht zurück auf:

- die Lage von Individuen im 5 m breiten Schutzstreifen innerhalb der jeweiligen Parzelle,
- auf das Fehlen von Kronenkenngrößen,
- auf wiederholte Kronenablotungen innerhalb von 20 Jahren (unabhängige Stichprobe),
- andere Baumarten (Lärche, Bergahorn, sonstiges Laubholz),

- unplausible Grundflächenzuwächse.

Die Ergebnisse sind in Tab. 12 für ein kronenmantelflächen-basiertes Verfahren von BIGING und DOBBERTIN (1992) und in Tab. 13 für das Verfahren von HEGYI (1974) dargestellt. Folgende Ergebnisse sind auf der Basis des derzeitigen Auswertungsstandes aufzeigbar:

- expositions- ("\_EH" und "\_ES") bzw. sonnenstands-abhängige ("\_SH" und "\_SS") Modifikationen bei der Ausrichtung des Suchkegels erbringen bisher nur in wenigen Fällen die gewünschten Verbesserungen (z.B. Tab. 12, "M\_SS312"),
- bei lotrechter Suchkegelausrichtung und Annahme geneigter Wuchskonstellationen ("\_LS") sind die Korrelationen i.d.R. besser als bei Unterstellung horizontaler Bedingungen ("LH"),
- bei effektiven Verfahren ist der Öffnungswinkel des Suchkegels häufig größer als 60°,
- in vielen Fällen ist der Suchkegel in der halben Zentralbaumhöhe oder darüber angeordnet.

## 7. Zusammenfassung

Im Zentrum der noch nicht abgeschlossenen Methodenstudie steht die Bewertung bewährter und modifizierter Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren. Eingebaut in positionsabhängige Einzelbaumsimulatoren sollen sie den besonderen, durch Exposition und Hangneigung geprägten Wuchsbedingungen im Bergmischwald gerecht werden.

Den Datenfundus bilden 60 Parzellen mit Kronenkenngößen und Stammfußpunkten von über 12000 Einzelbäumen aus dem Versuchsflächennetz des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde. Zunächst wird mit Hilfe einer auf der SPEARMAN-Rangkorrelation aufbauenden Bewertungsmatrix bei 61 gängigen Konkurrenzwert-Berechnungsverfahren die Korrelation mit dem Einzelbaumzuwachs bei Unterstellung horizontaler Umgebungsverhältnisse betrachtet.

Tab. 13: Ergebnis des auf der SPEARMAN-Rangkorrelation basierenden Bewertungsverfahrens für 180 suchkegel-abhängige Modifikationen des Verfahrens von HEGYI (1974).

Rang- folge	CI	Min Korr	CI	Max Rang	CI	Prod. Korr	CI	Max Korr	CI	Min Rang
1	H_LS912	0,390	H_LS512	41	H_LS712	0,001	H_LH710	0,848	H_EH112	1
2	H_LS712	0,344	H_LS510	44	H_LS710	0,001	H_LH708	0,845	H_LH506	1
3	H_LS910	0,338	H_LS712	44	H_LS912	0,001	H_LH712	0,845	H_LH710	1
4	H_LS706	0,328	H_LH506	46	H_LS708	0,001	H_LS708	0,844	H_LH912	1
5	H_LH912	0,325	H_LS508	47	H_LH708	0,001	H_LH912	0,843	H_LS106	1
6	H_LH706	0,324	H_LS710	48	H_LS512	0,001	H_LS710	0,843	H_LS712	1
7	H_SS110	0,321	H_LS506	49	H_LS510	0,001	H_LH508	0,839	H_LS912	1
8	H_LH910	0,314	H_LH710	51	H_LH706	0,001	H_LH510	0,839	H_SS110	1
9	H_SS310	0,312	H_LH508	53	H_LH710	0,001	H_LS508	0,838	H_SS512	1
10	H_SS312	0,307	H_LH304	54	H_LS706	0,001	H_LS712	0,838	H_LH708	2
Rang- folge	CI	mittl. Korr	CI	Median Korr	CI	Stabw. Korr	CI	Diff. Rang	CI	Mitte Rang
1	H_LS712	0,593	H_LS712	0,575	H_SH902	0,060	H_SH902	5	H_LS510	23
2	H_LS710	0,585	H_LH712	0,569	H_SS302	0,061	H_EH902	13	H_LS512	23
3	H_LS708	0,578	H_LS710	0,567	H_EH902	0,063	H_SS902	13	H_LS712	23
4	H_LS912	0,577	H_LH512	0,562	H_SS902	0,068	H_ES902	16	H_LH506	24
5	H_LH708	0,576	H_SS312	0,561	H_EH502	0,075	H_SS702	19	H_LS508	25
6	H_LS512	0,575	H_LH710	0,557	H_SH302	0,075	H_SH702	20	H_LH710	26
7	H_LS510	0,574	H_LS512	0,557	H_SS502	0,075	H_EH702	28	H_LS506	26
8	H_LS508	0,570	H_LH510	0,553	H_EH302	0,076	H_SH904	28	H_LS710	27
9	H_LS506	0,570	H_LS510	0,552	H_ES902	0,076	H_ES904	30	H_LS912	28
10	H_LH710	0,569	H_SS310	0,552	H_SH702	0,077	H_EH904	31	H_LH304	29

Dabei zeigen insbesondere kronenkenngrößen-basierte Berechnungsformeln sowie suchkegel-abhängige Konkurrenten-Auswahlverfahren bemerkenswert enge statistische Zusammenhänge zwischen diagnostiziertem Konkurrenzdruck und dem individuellen Grundflächenzuwachs. Diese werden durch 167 Neukombinationen aus Such- und Bewertungsalgorithmen noch deutlicher.

Die Anpassung an Hangstandorte erfolgt durch ein expositions- bzw. sonnenstands-abhängiges Konkurrenten-Auswahlverfahren sowie durch Ableitung und Verarbeitung 3-dimensionaler Stammpositionen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt - ein kronenmantelflächen-abhängiger Berechnungsalgorithmus von BIGING und DOBBERTIN (1992) sowie das Verfahren von HEGYI (1974) sind an geneigte Verhältnisse adaptiert - ergeben sich zwar Verbesserungen durch Einbezug der dritten Einzelbaum-Koordinate, ein Abweichen von der lotrechten Suchkegel-Ausrichtung verbessert das Abbildungsvermögen auf den Einzelbaum-Grundflächenzuwachs jedoch nicht maßgeblich.

## **8. Literatur**

- ALEMDAG, I.S. (1987). Evaluation of some competition indexes for the prediction of diameter increment in plated white spruce. For. Manage. Inst. Inf. Rep. FMR-X-108, 39 p.
- BELLA, I.E. (1971). A new competition model for individual trees. For. Sci. 17, p. 364-372.
- BIGING, G.S. und DOBBERTIN, M. (1992). A Comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. For. Sci. 38, p. 695-720.
- BML (Hrsg., 1992). Bundeswaldinventur 1986 - 1990, Band II. 366 S.
- DOYLE, T.W. (1983). Competition and growth relationships in a mixed-aged, mixed-species forest community. Ph.D. diss. Univ. of Tenn. 86 p.
- HEGYI, F. (1974). A simulation model for managing jack-pine stands. P. 74-90 in Growth models for tree and stand simulation, Fries, J. (ed.). Royal Coll. of For., Stockholm, Sweden.
- MAGIN, R. (1956). Struktur und Leistung mehrschichtiger Mischwälder in den bayerischen Alpen. Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns, H. 30, 161 S.
- MAYER, H. (1976). Gebirgswaldbau - Schutzwaldpflege. Gustav Fischer Vlg., 436 S.
- NEWNHAM, R.M. (1961). Stand structure and diameter growth of individual trees in a young red pine stand. Can. Dep. For. Rural Dev., Int. Rep. FMR-1, 19 p.
- KAHN, M. (1995). Die Fuzzy-Logik basierte Modellierung von Durchforstungseingriffen. AFJZ, H. 9/10, S. 169-176.
- MARTIN, G.L. und EK, A.R. (1984). A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. For. Sci. 30, p. 731-743.
- PRETZSCH, H. (1992). Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstliche Forschungsberichte Nr. 115, 332 S.
- PRETZSCH, H. (1995). Zum Einfluß der Baumverteilung auf den Bestandeszuwachs. AFJZ, H. 9/10, S. 190-201.
- PUKKULA, T. und KOLSTRÖM, T. (1987). Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine. Silva Fennica, vol 21n:o 1, p. 55-67.
- PUKKULA, T. (1989). Methods to describe the competition process in a tree stand. Scand. J. For. Res. 4, p. 187-202.
- STAGE, A.R. (1976). An expression for the effect of aspect, slope and habitat type on tree growth. For. Sci. 22, p. 457-460.
- TOMÉ, M. und BURKHART, H.E. (1989). Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees. For. Sci. 35, p. 816-831.

### Adresse des Autors:

Martin Bachmann  
Lehrstuhl für Waldwachstumskunde  
Forstwissenschaftliche Fakultät  
Ludwig-Maximilians-Universität München  
Hohenbachernstraße 22  
D - 85354 Freising  
Telefax: 0049-08161-71-4721  
E-mail: u6282ab@sunmailhost.lrz-muenchen.de