

Ein Verfahren zum Ausgleich von Randeffekten bei der Berechnung von Konkurrenzindizes¹

Von Peter Biber

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München

1 Problematik

In einzelbaumorientierten Waldwachstumsmodellen (KAHN und PRETZSCH, 1997; NAGEL, 1996; STERBA et al., 1995; HASENAUER, 1994, PRETZSCH, 1992) sind Konkurrenzindizes wesentliche Steuergrößen für die Zuwachsprognose der einzelnen Bäume im Bestand. Die Berechnung von positionsabhängigen Konkurrenzindizes, also solchen, bei denen die Positionen der einzelnen Bäume einbezogen werden, ist einem systematischen Randeffekt unterworfen (RADTKE und BURKHART, 1998; MARTIN et al., 1976; MONSERUD und EK, 1974). Je näher ein Baum, dessen Konkurrenzindex berechnet werden soll, am Rand des zu betrachtenden Bestandesausschnittes steht, desto mehr wird sein tatsächlicher Konkurrenzindex unterschätzt, da seine Konkurrenten jenseits der Flächengrenzen nicht bekannt sind.

Dieses Problem wird meist durch Rekonstruktions- oder Hochrechnungsverfahren gelöst. Erstere Verfahren versuchen, den Bestand jenseits der Grenzen in ausreichender Tiefe plausibel zu rekonstruieren. Konkurrenzindizes für die Flächenbäume werden nun unter Einbeziehung des rekonstruierten Außenbestandes berechnet. Hochrechnungsverfahren berechnen über geometrische Methoden Korrekturfaktoren, mit deren Hilfe die Konkurrenzindizes randnaher Bäume modifiziert werden können.

Gebäuchliche Rekonstruktionsverfahren sind die Translation und die Spiegelung des interessierenden Bestandes. Bei der Translation wird jeweils ein exaktes Abbild des Bestandes an allen Flächenkanten angesetzt (MONSERUD und EK, 1974). Bei der Spiegelung werden alle Bäume auf der Fläche an den Flächenkanten, selten auch an Pflanzreihen (RADTKE und BURKHART, 1998), gespiegelt, so daß der Bestand von spiegelverkehrten Abbildern seiner selbst gesäumt wird. Als Hochrechnungsverfahren hat sich die sog. Lineare Expansion nach (MARTIN et al., 1976) bewährt.

Alle genannten Verfahren haben jedoch verschiedene Nachteile. So ist keines auf beliebig geformte Flächen anwendbar. Sowohl Translation als auch Spiegelung führen eine Regelmäßigkeit in das Baumverteilungsmuster ein, die in der Realität nicht existiert (MARTIN et al., 1976). Darüber hinaus kann bei diesen Verfahren nicht gewährleistet werden, daß zuwachsrelevante Bestandesstrukturen wie die Durchmischungsverhältnisse an den Flächenrändern im rekonstruierten Außenbereich plausibel fortgesetzt werden. Mit Hochrechnungsverfahren kann zwar eine statistisch einwandfreie Korrektur von Konkurrenzindizes erreicht werden, allerdings eignen sich diese nur bedingt zur Anwendung auf Konkurrenzmaße, die auf der Simulation von Lichteinfall beruhen oder ihr nahekommen (BRUNNER, 1997; BIBER, 1996).

Einer Empfehlung von MONSERUD und EK (1974) folgend entwickelte BIBER (1996) ein auf der Ausstreuung von Bäumen nach einem gesteuerten Zufallsprozeß basierendes einfaches Rekonstruktionsverfahren. In einem ausreichend groß gewählten Randbereich werden Abbilder der Flächenbäume ausgestreut und nur dann akzeptiert, wenn sie bestimmten

¹ Vortrag anlässlich der Jahrestagung 1999 der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Tagungsbericht, S. 189-202.

Bedingungen genügen. Die dimensionsabhängige Abstandsregelung dieser Bäume wird über die von PRETZSCH (1993) entwickelten Gleichungen des Strukturgenerators STRUGEN gesteuert. Die Regelung der Mischungsverhältnisse erfolgt über einen vom Benutzer normativ vorzugebenden Parameter. Grundsätzlich ist ein derartiges Verfahren geeignet, die genannten Nachteile herkömmlicher Verfahren zu vermeiden, allerdings greift der von BIBER (1996) vorgestellte Algorithmus nicht bzw. nur indirekt auf Informationen zur räumlichen Baumverteilung auf der jeweils interessierenden Fläche zurück. Hier wird eine in Entwicklung befindliche Erweiterung dieses Verfahrens vorgestellt, bei der die Steuergrößen zur Rekonstruktion der Bäume im Randbereich direkt aus dem interessierenden Bestand selbst abgeleitet werden. Da das hier vorgestellte Verfahren die Höhengschichtung von Beständen berücksichtigt, wird es im weiteren Text als „Schichtweises Streuen“ bezeichnet.

2 Funktionsweise

Steuergrößen

Das hier vorzustellende Verfahren benutzt zur Steuerung der Mischungsstrukturen den Parameter „Artendurchmischung“ M (FÜLDNER, 1995) und zur Steuerung der Baumabstände einer Erweiterung des Konzeptes der sogenannten Alpha-Regularität (KAHN und PRETZSCH, 1997), im weiteren Text kurz als „Alpha“ bezeichnet. Die Artendurchmischung M nach FÜLDNER (1995) errechnet sich für einen einzelnen Baum wie folgt, wenn seine nächsten drei Nachbarbäume einbezogen werden:

$$M = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 v_j \quad \text{wobei} \quad v_j = \begin{cases} 0 & j\text{'ter Nachbar gehört zur selben Art} \\ 1 & j\text{'ter Nachbar gehört zu einer anderen Art} \end{cases}$$

M kann dem zufolge genau vier Werte annehmen, das sind 0, 1/3, 2/3 und 1, wobei 0 keine und 1 die größte mit M meßbare Durchmischung ausdrückt.

Die Berechnung des Parameters Alpha für einen einzelnen Baum wird nach folgenden Schritten vollzogen. Nach einer von PRETZSCH und KAHN (1998) an umfangreichem Datenmaterial parametrisierten Gleichung kann der erwartete Abstand eines Baumes zu seinem nächsten Nachbarn, $Abst_erw$, wie folgt geschätzt werden:

$$Abst_erw = a_0 + a_1 \cdot Abst_02 + a_2 \cdot KDTM_0 + a_3 \cdot KDTM_1 + a_4 \cdot KDTM_2$$

wobei:

$Abst_02$	=	Abstand vom Bezugsbaum zu seinem zweitnächsten Nachbarn [m]
$KDTM_{0..2}$	=	Kronendurchmesser [m]/Transmissionskoeffizient, Bezugsbaum 0, Nachbarn 1 und 2 Transmissionskoeffizienten: Buche, Tanne = 1; Fichte 0.8; Eiche = 0.6; Kiefer = 0.2.
$a_0 \dots a_4$	=	Funktionsparameter; $a_0 = 0.0835$; $a_1 = 0.6761$; $a_2 = 0.0065$; $a_3 = 0.0031$; $a_4 = -0.0039$.

Die Standardabweichung der normalverteilten wirklichen Baumabstände um $Abst_erw$ nimmt nach PRETZSCH und KAHN (1998) mit $Abst_erw$ zu. Sie kann mit folgender Gleichung geschätzt werden:

$$Stdabw = b_1 \cdot (1 - e^{-b_2 \cdot Abst_erw})$$

wobei:

b_1, b_2	=	Funktionsparameter; $b_1 = 5.7007$; $b_2 = 0.0585$.
------------	---	---

Für den interessierenden Baum wird nun die Differenz zwischen seinem wirklichen Abstand ($Abst$) und seinem erwarteten Abstand ($Abst_{erw}$) zu seinem nächsten Nachbarn auf der Grundlage von $Stdabw$ standardisiert:

$$Abst_{standard} = \frac{Abst - Abst_{erw}}{Stdabw}$$

Aus der Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung wird der zu $Abst_{Standard}$ gehörende Verteilungswert abgelesen. Er stellt den gesuchten Steuerparameter Alpha dar.

$$Alpha = N(Abst_{Standard}) \quad \text{wobei } N = \text{Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung}$$

Alpha kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. 0 würde sich für einen Baum errechnen, der seine Koordinaten mit einem anderen Baum teilt, 1 würde sich theoretisch dann ergeben, wenn der nächste Nachbar des Bezugsbaumes unendlich weit von ihm entfernt ist. Es ist zu beachten, daß Alpha keine lineare Transformation von $Abst_{Standard}$ darstellt. Auch stehen gleiche Alpha-Werte bei unterschiedlich dimensionierten Bäumen für unterschiedliche reale Baumabstände.

Verteilungen der Steuergrößen M und Alpha

Grundidee des hier vorgestellten Verfahrens ist es, die jenseits des Flächenrandes auszustreuenden Bäume so zu positionieren, daß die empirischen Häufigkeitsverteilungen der Parameter M und Alpha auf der Fläche auch für das Kollektiv der rekonstruierten Bäume möglichst gut zutreffen. Für jeden Flächenbaum muß also jeweils der Wert von M und der Wert von Alpha gefunden werden. Die vier möglichen M-Werte aller Bäume werden den Stufen 0, 1/3, 2/3 und 1 zugeordnet und die relativen Stufenhäufigkeiten ermittelt.

Die Verteilung von Alpha wird so konstruiert, daß der Bereich zwischen dem beobachteten Maximalwert und dem Minimalwert von Alpha in sechs Stufen gleicher Breite eingeteilt wird. Für jede dieser Stufen wird die relative Besetzungshäufigkeit berechnet. Jenseits des Maximal- und Minimalwertes wird die Verteilung mit dem Wert 0 belegt.

Ablauf des Schichtweisen Streuens

Abb. 1 zeigt den Ablauf des Schichtweisen Streuens in Struktogrammdarstellung. Zunächst werden, wie oben erläutert, für jeden Baum des interessierenden Bestandes die Parameter M und Alpha berechnet. Anschließend wird jeder Baum einer der drei Assmannschen Höhenschichten (ASSMANN, 1954), Oberschicht (O), Mittelschicht (M) und Unterschicht (U) zugeordnet. Auf dieser Grundlage kommt es zur Ermittlung von empirischen Häufigkeitsverteilungen für die Parameter M und Alpha nach dem oben beschriebenen Muster. Allerdings werden für jeden der beiden Parameter drei Verteilungen ermittelt. Die erste Verteilung betrifft lediglich die Bäume der Oberschicht, die zweite die Bäume der Ober- und der Mittelschicht zusammen und die dritte die Bäume von Ober- Mittel- und Unterschicht, also alle Bäume, zusammen.

In einem nächsten Schritt wird die Breite des Randstreifens um den interessierenden Bestand festgelegt, auf dem die später auszustreuenden Bäume Platz finden sollen. In der derzeitigen Version des Verfahrens wird diese Breite normativ mit 1/3 der längeren Flächenkante festgelegt, sofern die Fläche rechteckig ist. Ist letzteres nicht der Fall, empfiehlt sich ein von BIBER (1996) implementierter Algorithmus zur Konstruktion des Randstreifens. Weiter wird für jede im Bestand vorkommende Baumart, getrennt nach Höhenschichten, durch

Hochrechnung die Zielgrundfläche ermittelt, die sie im Randbereich erreichen muß um die gleiche flächenbezogene Grundfläche zu erhalten wie im Ausgangsbestand.

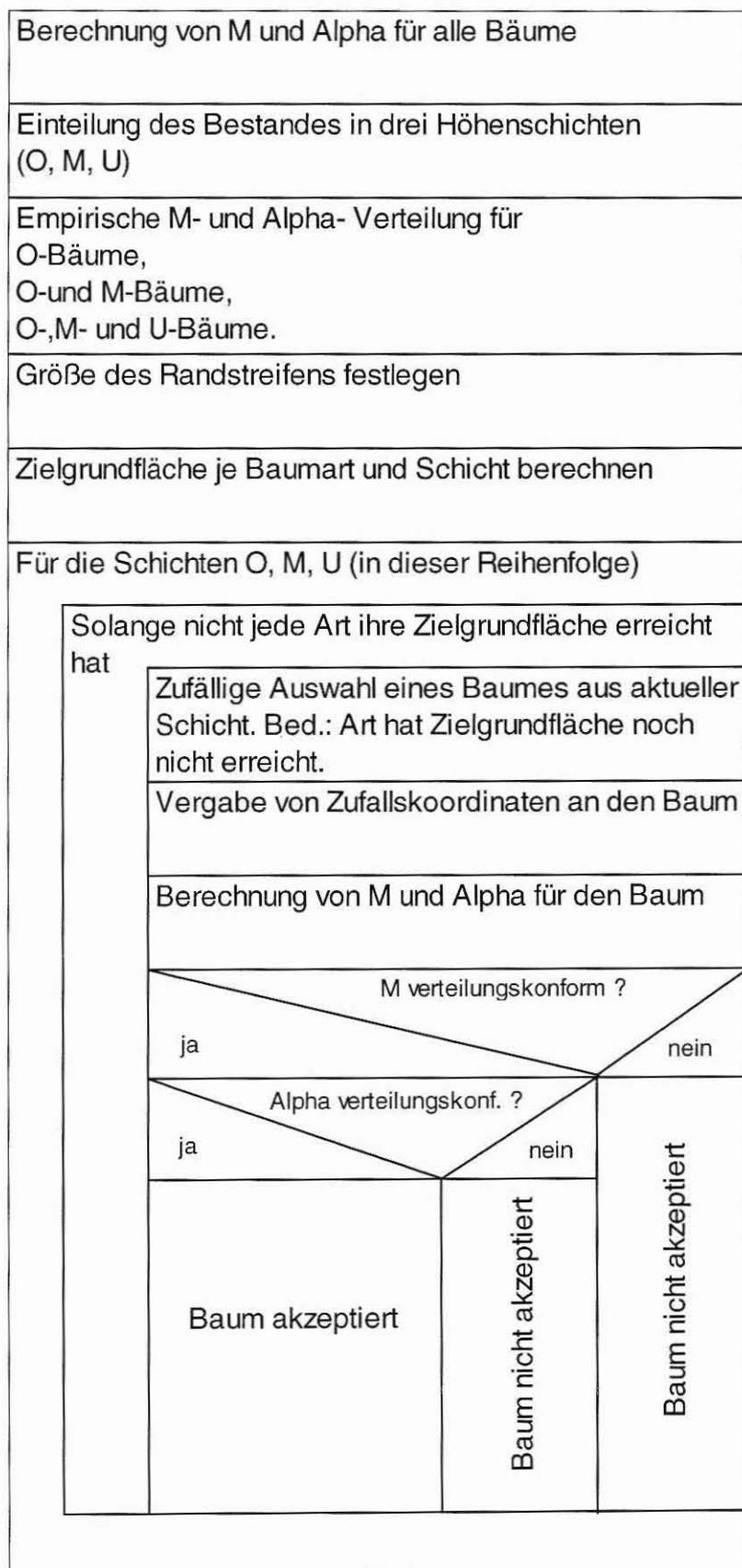


Abb. 1: Struktogramm für den Algorithmus „Schichtweises Streuen“.

Alle folgenden Schritte werden zunächst für die Oberschicht des Bestandes, anschließend für die Mittelschicht und schließlich für die Unterschicht durchgeführt. Solange nicht jede Art im Randbereich ihre Zielgrundfläche in der aktuellen Bestandesschicht erreicht hat, wird ein Baum aus dem Ausgangsbestand, der aktuellen Bestandesschicht angehört und dessen Art ihre Zielgrundfläche noch nicht erreicht hat, zufällig ausgewählt. Die Auswahlwahrscheinlichkeit ist für alle Bäume gleich, sofern sie die zuvor genannten Kriterien erfüllen. Ein in seinen Dimensionen mit dem ausgewählten Baum identisches Abbild erhält nun Zufallskoordinaten zugeteilt, die mit gleicher Wahrscheinlichkeit jeden Punkt im zuvor festgelegten Randbereich beschreiben. Unter Heranziehung aller Flächenbäume und aller bereits zuvor etablierten Bäume im Randstreifen werden für den zufällig positionierten Baum die Parameter M und α berechnet.

Nun wird entschieden, ob diese Werte als konform mit den entsprechenden Verteilungen des Ausgangsbestandes akzeptiert werden. Maßstab sind die Verteilungen für M und α , die für die gerade in Bearbeitung befindliche Bestandesschicht incl. aller evtl. höheren Schichten gelten. Zunächst wird der für den Baum gefundene Wert von M der entsprechenden Stufe der Verteilung zugeordnet. Dann wird eine gleichverteilte Zufallszahl zwischen 0 und 1 gezogen. Ist diese Zufallszahl kleiner oder gleich der relativen Häufigkeit von M in der entsprechenden Stufe, wird für den Baum die analoge Prüfung für den Parameter α durchgeführt. Ist auch hier eine unabhängig gezogene Zufallszahl kleiner oder gleich dem entsprechenden Häufigkeitswert der α -Verteilung, dann wird der fragliche Baum endgültig mit der ihm zuvor zugeteilten Position im Randstreifen etabliert. In allen anderen Fällen wird der Baum abgelehnt und es beginnt ein neuer Auswahl-Entscheidungszyklus für einen zufällig selektierten Baum.

Sind für alle Baumarten der aktuellen Höhengschicht die Zielgrundflächen erreicht, geht der Algorithmus zur Bearbeitung der nächstniedrigen Schicht über. Mit dem Abschluß der Bearbeitung der Unterschicht ist der Streuprozeß abgeschlossen. An den Bestand mit seinem generierten Umgebungsbestand können nun beliebige Algorithmen zur Berechnung von Konkurrenzindizes angelegt werden.

Zum Test und zur Anwendung des Algorithmus wurde dieser unter Nutzung objektorientierter Konzepte in Gestalt entsprechender Software implementiert. Programmiersprache ist C++.

3 Verhalten des Verfahrens

Bergmischwaldparzelle Bodenmais 821/4

Für erste Untersuchungen zum Verhalten des Streualgorithmus wurde die Bergmischwaldparzelle Bodenmais 821/4 herangezogen. Es handelt sich um einen strukturreichen Bergmischwald-Altbestand im Wuchsbezirk Innerer Bayerischer Wald. Die Parzelle ist rechteckig, sie mißt 70 x 80 m (Abb. 2, links). Für einen Teil der nachfolgend beschriebenen Untersuchungen wurde eine auf der Parzelle zentrierte Kernparzelle ausgeschieden, die 38 x 48 m (Abb. 2, rechts) mißt. Die Größe der Kernparzelle ist so gewählt, daß bei der Konstruktion eines Randstreifens von 1/3 der längeren Flächenkante (s.o.) wieder die Original-Abmessungen von 70 x 80 m erreicht werden.

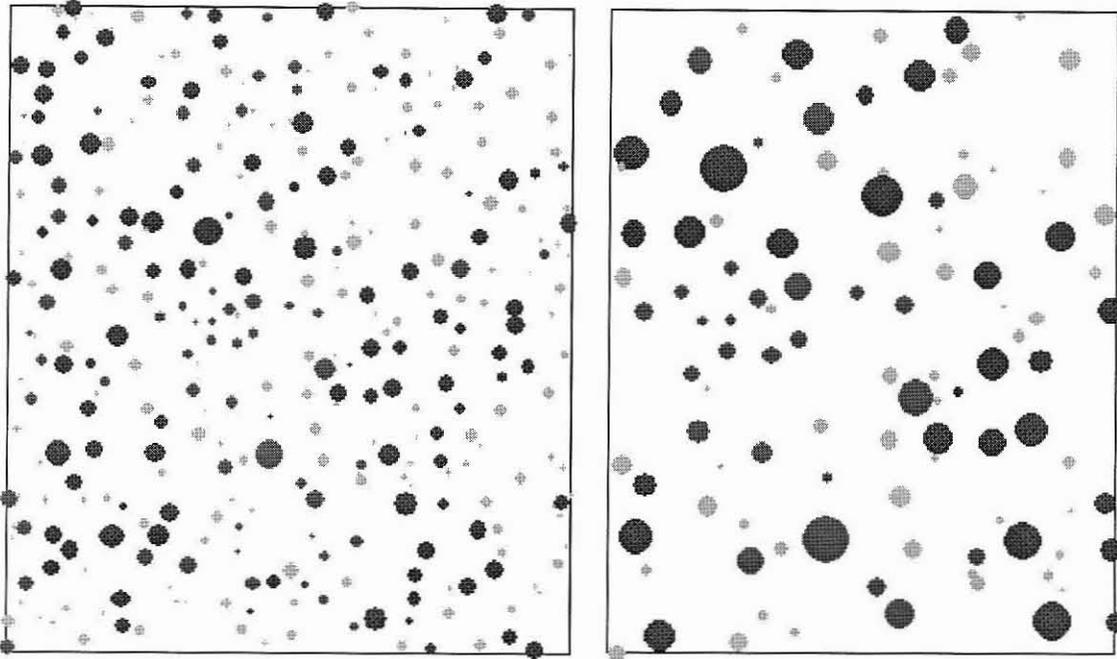


Abb. 2: Stammverteilungspläne für die Parzelle Bodenmais 821/4. Links: Gesamtparzelle, 70 x 80 m, rechts: Kernparzelle 38 x 48 m. Dunkel: Tanne, hell: Buche, mittel: Fichte. Die Größe der Signaturen ist proportional zum Brusthöhendurchmesser der einzelnen Bäume.

Einen Überblick über die Baumzahlen auf Gesamt- und Kernparzelle gibt, nach Bestandsschichten aufgeschlüsselt, Tab. 1. Die Oberschicht wird demnach zahlenmäßig von der Fichte, die Mittelschicht von Buche und Tanne und die Unterschicht von der Buche dominiert. Zur Verfügung stehen insgesamt 337 Bäume auf der Gesamtparzelle und 107 Bäume auf der Kernparzelle.

Tab. 1: Stammzahlen auf Gesamt- und Kernparzelle Bodenmais 821/4, gegliedert nach Ober-, Mittel- und Unterschicht des Bestandes (O, M, U).

Gesamtparzelle 70 x 80 m				
Art	O	M	U	Summe
Fichte	76	19	1	96
Tanne	6	58	4	68
Buche	3	131	39	173
<u>Summe</u>	<u>85</u>	<u>208</u>	<u>44</u>	<u>337</u>
Kernparzelle 38 x 48 m				
Fichte	24	4	0	28
Tanne	3	23	0	26
Buche	0	42	11	53
<u>Summe</u>	<u>27</u>	<u>69</u>	<u>11</u>	<u>107</u>

Konkurrenzindex KKL

Vorläufig wurde das Schichtweise Streuen nur im Zusammenhang mit einem einzigen Konkurrenzindex, dem sogenannten KKL (PRETZSCH, 1995) untersucht. Auf seine Berechnung wird hier nicht näher eingegangen, es sei jedoch gesagt, daß es sich um einen

positionsabhängigen Konkurrenzindex handelt, der sowohl die horizontale als auch die vertikale Bestandesstruktur erfaßt. Die Beiträge der einzelnen Konkurrenten zum Index KKL werden mit baumartenspezifischen Lichttransmissionsfaktoren gewichtet (PRETZSCH und KAHN, 1998). Die Auswahl der Konkurrenten eines Baumes erfolgt nach der sogenannten Suchkegelmethode (BACHMANN, 1998; PRETZSCH und KAHN, 1998).

Kompensation des Randeffectes im Vergleich mit anderen Verfahren

Im folgenden wird gezeigt, wie sich der Randeffect auf den KKL der Bäume der Kernparzelle auswirkt und inwieweit das schichtweise Streuverfahren ihn im Vergleich mit den Rekonstruktionsverfahren Translation und Spiegelung kompensieren kann. Dazu wurden für alle Bäume der Kernparzelle die KKL-Werte jeweils mit und ohne Berücksichtigung der bekannten, jenseits der Kernparzellengrenzen stockenden Bäume berechnet. Weiter wurden 30 Läufe mit dem vorgestellten Streualgorithmus durchgeführt. Da das Verfahren nicht deterministisch ist, erhält man bei jedem Lauf etwas andere Konstellationen im generierten Randbestand (s. Abb. 3) und damit etwas unterschiedliche KKL-Werte für die einzelnen Bäume auf der Kernfläche.

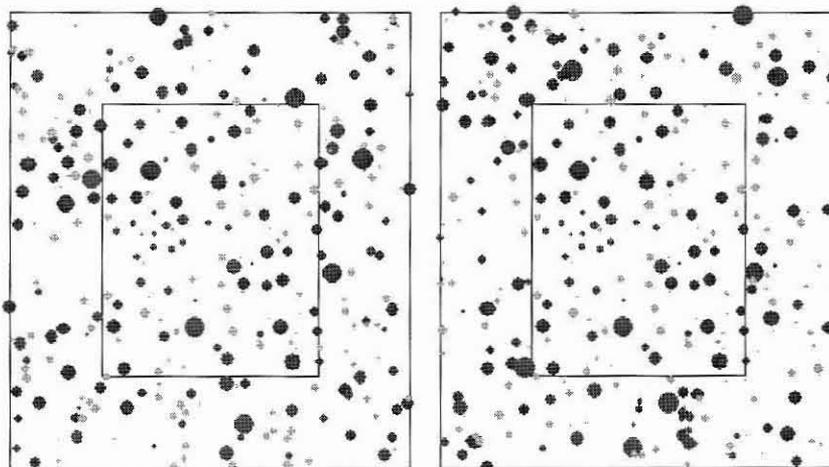


Abb. 3: Zwei über schichtweises Streuen generierte Randsituationen für die ausgeschiedene Kernparzelle. Zur Erklärung der Signaturen s. Abb 2.

Für die erhaltenen KKL-Werte wurden je Baum der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung berechnet. Ergänzend wurde der 16 m breite Randstreifen, der sich für die Kernparzelle ergibt, jeweils nach dem Translations- und dem Spiegelungsprinzip mit Bäumen besetzt (Abb. 4). Bei der Spiegelung bildeten die Kanten der Kernparzelle die Spiegelachsen. Über die Parzellenecken erfolgte eine Punktspiegelung der Bäume.

Abb. 5 zeigt den absoluten Randeffect auf den KKL, der ohne Berücksichtigung irgendwelcher realer oder generierter Randbäume beobachtet wird. Im Bereich von 0 bis 7 m Entfernung vom Parzellenrand kommt es zu erheblichen Unterschätzungen des tatsächlichen KKL. Die in der Abbildung als absolute Differenzen zwischen wirklichem und ohne Einbeziehung der Randbäume kalkulierte KKL aufgetragene Werte können bis zu 100 % des tatsächlichen KKL betragen.

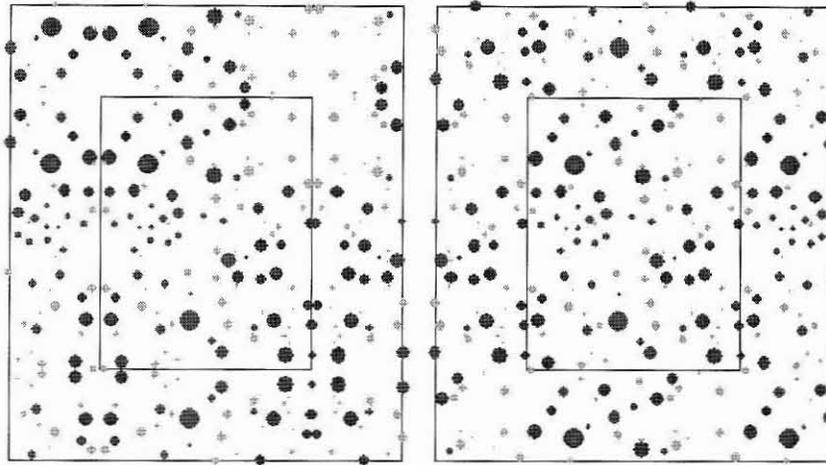


Abb. 4: Randsituation für die Kernparzelle bei Spiegelung (links) und Translation (rechts). Zur Erklärung der Signaturen s. Abb 2.

In Abb. 6 sind die Differenzen zwischen den wirklichen und den mit den verschiedenen Ausgleichsverfahren erhaltenen KKL-Werten aufgetragen. Offensichtlich sind bei allen Verfahren die ursprünglich bestehenden KKL-Defizite tendenziell überkompensiert worden. Abgesehen von einzelnen Ausreißern bei der Spiegelung scheinen alle drei Verfahren ähnliche Ausgleichswirkung zu zeigen. Relativ breit sind die mit Mittelwert \pm zweifacher Standardabweichung grob geschätzten 95 %-Konfidenzintervalle für die über schichtweises Streuen erhaltenen KKL-Werte. Diese Streubreite nimmt naturgemäß mit abnehmender Randentfernung der Bäume zu, da der zufällige Einfluß des Streuverfahrens um so größer wird, je näher ein Baum an der Grenze des generierten Randbestandes steht.

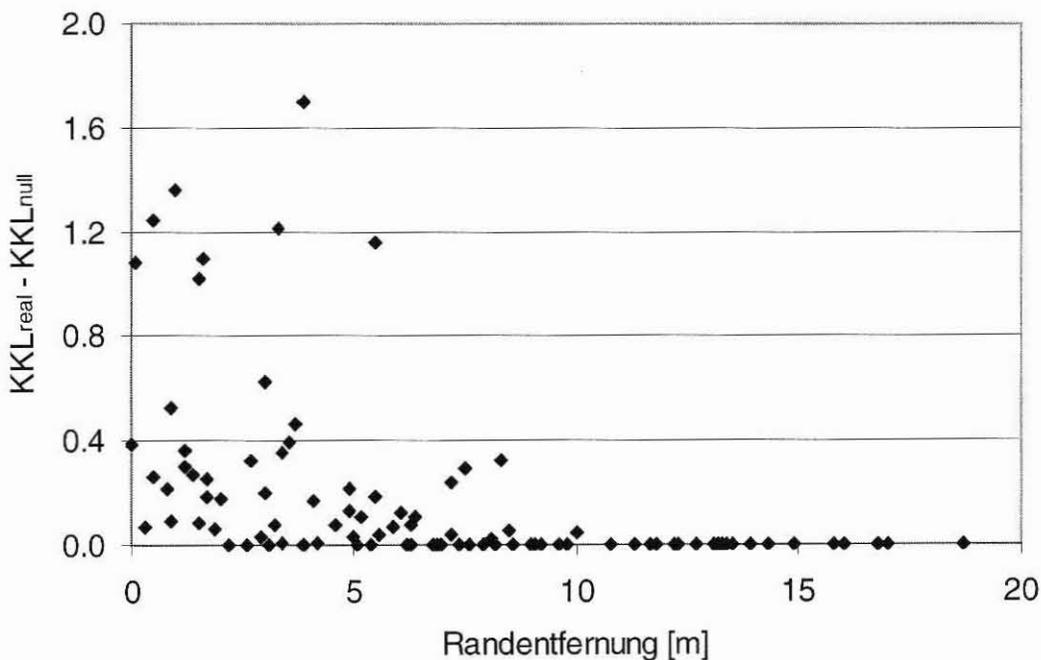


Abb. 5: Quantifizierung des Randeffektes für die Kernfläche von Bodenmais 821/4. Die Grafik zeigt für jeden Baum die Differenz zwischen dem tatsächlichen (KKL_{real}) und dem Konkurrenzindex ohne Berücksichtigung der Bäume jenseits der Kernparzelle (KKL_{null}).

Einen summarischen Verfahrensvergleich liefert Abb. 7. Hier wird die Differenz des über alle Bäume gemittelten KKL bei unterbliebenem Randausgleich bzw. den verschiedenen

angewandten Ausgleichsverfahren und des mittleren tatsächlichen KKL aller Bäume betrachtet. Erwartungsgemäß fällt die mittlere Unterschätzung des tatsächlichen KKL ohne Randausgleich am geringsten bei den Bäumen der Oberschicht aus und nimmt über die Mittel- zur Oberschicht hin um ein Mehrfaches zu. Erstaunlicherweise haben alle Ausgleichsverfahren im Mittel durchweg zu einer Überschätzung des tatsächlichen KKL geführt, wobei diese Überschätzung sogar in der Größenordnung der zuvor beobachteten Unterschätzung bei Vernachlässigung des Randeffektes liegt. Für den Gesamtbestand, also ohne Unterscheidung nach Bestandesschichten, führt das Schichtweise Streuen im Durchschnitt zur geringsten Fehlschätzung des tatsächlichen KKL, gefolgt von der Translation. Am vergleichsweise ungünstigsten erweist sich die Spiegelung. Cum grano salis können diese Aussagen auch für die einzelnen Höhengschichten getroffen werden. Allerdings berechtigen diese für einen Einzelfall erhaltenen Ergebnisse noch keinesfalls zu Verallgemeinerungen.

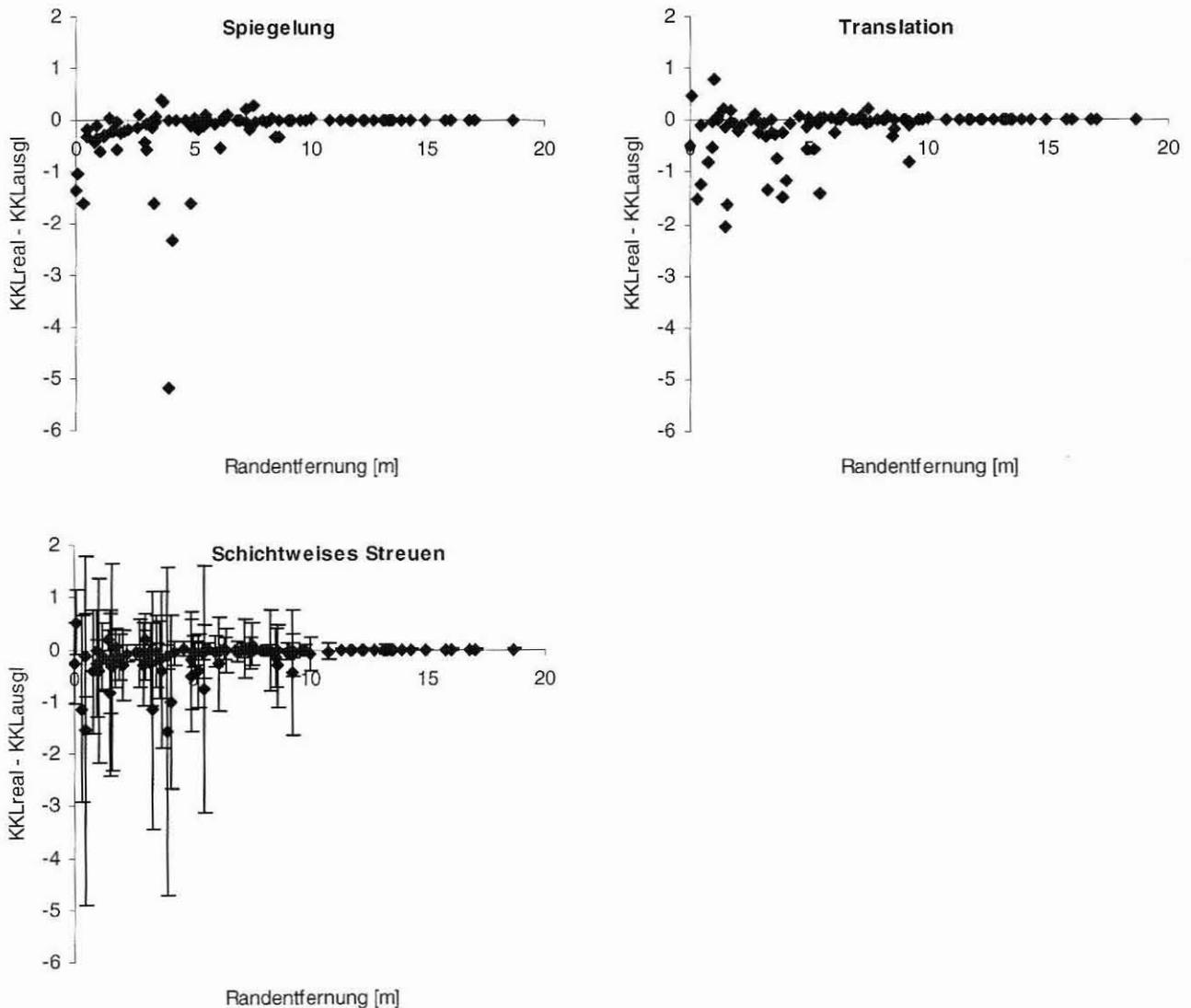


Abb. 6: Ausgleich des Randeffektes für die Kernfläche durch Spiegelung, Translation und Schichtweises Streuen. Aufgetragen ist die Differenz zwischen dem tatsächlichen KKL der einzelnen Bäume (KKL_{real}) und dem KKL, der sich durch die Anwendung des jeweiligen Ausgleichsverfahrens ergibt (KKL_{ausgl}). Die eingezeichneten Streubreiten im Diagramm unten links geben den Bereich des mittleren KKL \pm der zweifachen Standardabweichung an.

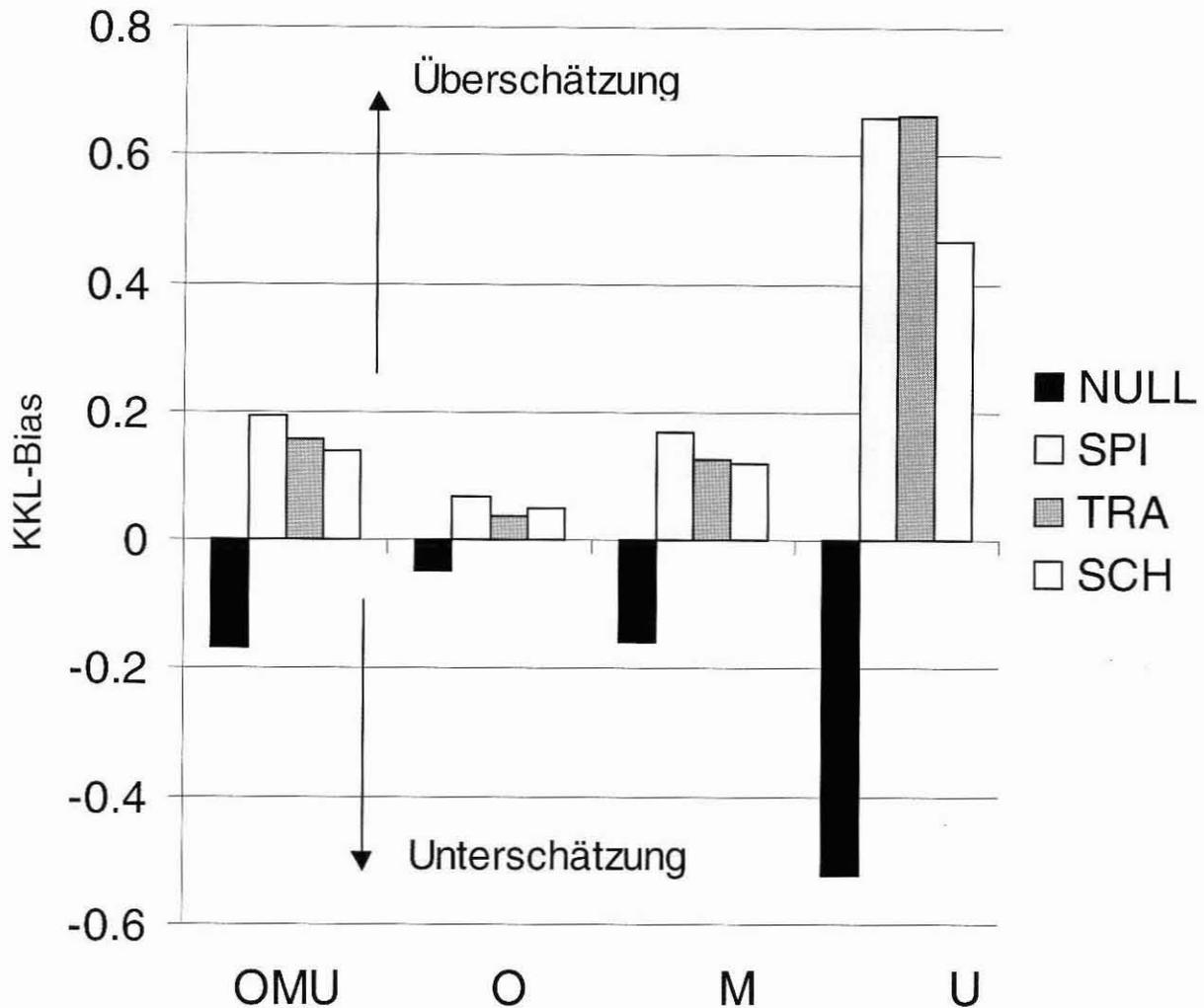


Abb. 7: KKL-Bias als Differenz zwischen dem mittleren durch Ausgleich bzw. Unterlassen des Randausgleichs erhaltenen KKL und des tatsächlichen mittleren KKL der Kernflächenbäume. O, M und U stehen für die Bestandeshöhenschichten, NULL; kein Randausgleich, SPI: Spiegelung, TRA: Translation, SCH: Schichtweises Streuen.

Verteilung der Steuergrößen M und Alpha im generierten Randbestand

Eine andere Möglichkeit zur Überprüfung des vorgestellten Verfahrens liegt im Vergleich struktureller Merkmale des generierten Randbestandes mit solchen des Ausgangsbestandes. Ein derartiger Vergleich erscheint als sehr stichhaltig für die Gütebeurteilung des vorgestellten Ausgleichsverfahrens. Ziel des Verfahrens ist es ja, die auf einer Fläche angetroffenen strukturellen Verhältnisse jenseits ihrer Grenzen möglichst gut nachzubilden und plausibel fortzusetzen.

Daher wurde untersucht, inwieweit die empirischen Verteilungen der Parameter M und Alpha für die Versuchsfläche Bodenmais 821/4 im durch schichtweises Streuen generierten Randbestand nachgebildet werden können. Eine Übereinstimmung dieser Verteilungen in Randbestand und Ausgangsbestand ist nicht selbstverständlich, da der vorgestellte Algorithmus zu keiner Zeit die Konvergenz dieser Verteilungen überprüft. Für die Untersuchungen wurde die Parzelle Bodenmais 821/4 in ihrer gesamten Ausdehnung von

70 x 80 m herangezogen. Zunächst wurden sowohl für M als auch für Alpha die jeweils drei benötigten Verteilungen berechnet und registriert. Anschließend wurden 30 Ausgleichsläufe durchgeführt, wobei jeweils die entsprechenden Verteilungen für M und Alpha ausschließlich für die generierten Randbäume festgehalten wurden. Berechnet wurden schließlich die mittleren relativen Stufenhäufigkeiten sowie deren Standardabweichungen.

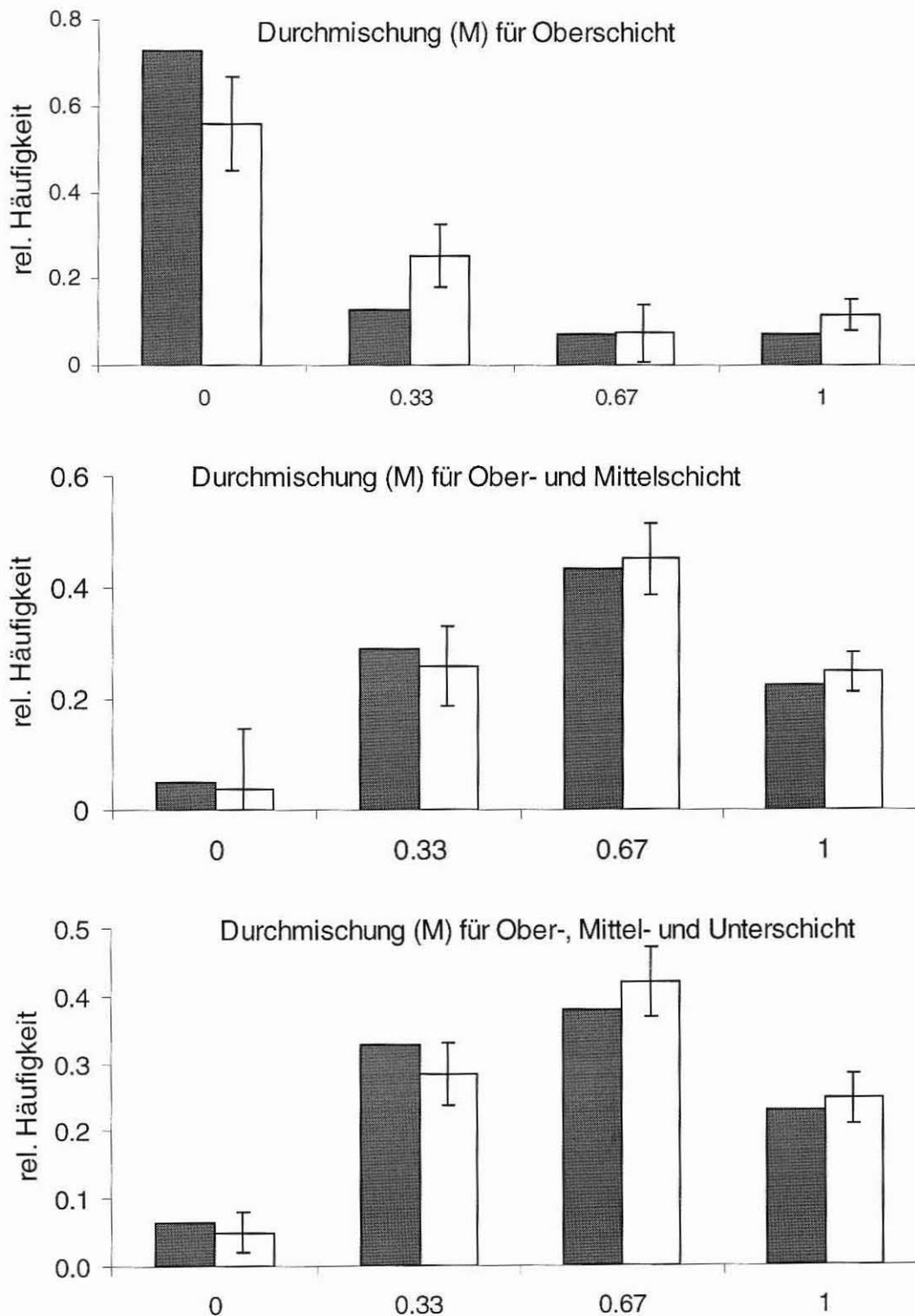


Abb. 8: Verteilungen des Parameters M (Artendurchmischung) für die Gesamtparzelle Bodenmais 821/4 (dunkel) sowie für den generierten Randbestand (hell). Die relativen

Häufigkeiten für den generierten Randbestand sind Mittelwerte von 30 Ausgleichsläufen. Daher wird auch der Bereich von +/- der zweifachen Standardabweichung gezeigt.

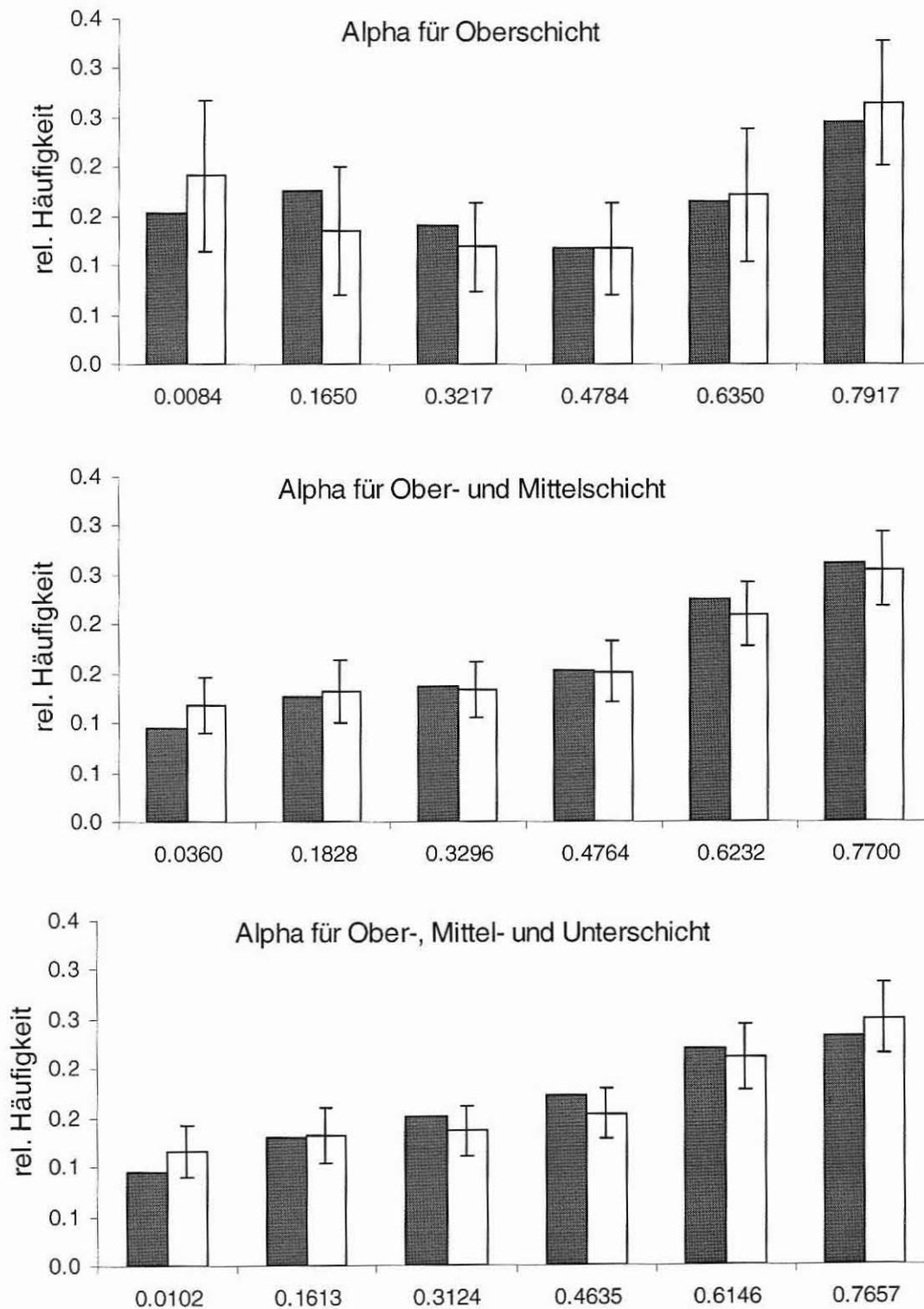


Abb. 9: Verteilungen des Parameters Alpha für die Gesamtparzelle Bodenmais 821/4 (dunkel) sowie für den generierten Randbestand (hell). Die relativen Häufigkeiten für den generierten Randbestand sind Mittelwerte von 30 Ausgleichsläufen. Daher wird auch der Bereich von +/- der zweifachen Standardabweichung gezeigt. Die Zahlenwerte auf der Abszisse geben die jeweilige Stufenuntergrenze an.

Abb. 8 zeigt den Vergleich der Durchmischungsverteilungen für Ausgangsbestand und rekonstruierten Randbestand. Wie zu erkennen ist, werden die je nach Schichtbezug unterschiedlich geformten Verteilungen des Ausgangsbestandes im generierten Randbestand gut erreicht. Nur in wenigen Fällen liegt die relative Besetzungshäufigkeit einer M-Stufe im Ausgangsbestand außerhalb des Bereiches der entsprechenden mittleren Besetzungshäufigkeit im generierten Randbestand \pm deren zweifacher Standardabweichung. Gleiches gilt für die in Abb. 9 dargestellten Verteilungen des Parameters Alpha. Hier liegen die relativen Stufenhäufigkeiten für den Ausgangsbestand ausnahmslos im Bereich der korrespondierenden Werte für den generierten Randbestand \pm deren zweifacher Standardabweichung.

4 Diskussion/Ausblick

Mit dem schichtweisen Streuverfahren wird ein Algorithmus zum Ausgleich des Randeffektes bei der Berechnung von positionsabhängigen Konkurrenzindizes vorgestellt, der die eingangs geschilderten wichtigsten Nachteile der gebräuchlichen Verfahren vermeidet. Sein Konzept ist darauf ausgerichtet, auch strukturreiche, mehrschichtige Mischbestände abzudecken. Insbesondere für solche Bestände bietet sich der Einsatz von Wachstumsmodellen an, die sich positionsabhängiger Konkurrenzindizes bedienen. Den hier gezeigten ersten Testläufen zufolge erscheint sein Ausgleichsverhalten eher besser, zumindest aber nicht schlechter zu sein, als das des Spiegelungs- und des Translationsverfahrens. Allerdings sind noch Testläufe auf einer breiten Datenbasis notwendig, um gesicherte Aussagen hierzu treffen zu können. In weitere Testläufe sind verschiedenartige Konkurrenzindizes ebenso einzubeziehen wie der Vergleich von Strukturparametern für Ausgangs- und Randbestand, die nicht zur Steuerung der Streuung herangezogen werden. Ein wichtiger Aspekt des Schichtweisen Streuens ist sein nicht-deterministischer Charakter. Durch mehrfache Wiederholung der Ausstreuung und Mittelung der resultierenden Konkurrenzindizes können deren Werte stabilisiert werden.

5 Literatur

- Assmann, E. 1954: Die Standraumfrage und die Methodik von Mischbestandsuntersuchungen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, Jg. 125, S. 149-153
- Bachmann, M. 1998: Indizes zur Erfassung der Konkurrenz von Einzelbäumen. Methodische Untersuchungen in Bergmischwäldern. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 172, 1998, 261 S.
- Biber, P. 1996: Konstruktion eines einzelbaumorientierten Wachstumssimulators für Fichten-Buchen- Mischbestände im Solling. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen, Reihe A, Bd. 142, 1996, 252 S.
- Brunner, A. 1997: A light model for spatially explicit forest stand models. Forest ecology and management 107:19-46
- Füldner, K. 1995: Zur Strukturbeschreibung in Mischbeständen. Forstarchiv 66, S.235-240.
- Hasenauer, H. 1994: Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände, Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien, 152 S.
- Kahn, M. und Pretzsch, H. 1997: Das Wachstumsmodell SILVA-Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, Jg. 168, H. 6/7, S. 115-123.

- Martin, G.L., Ek, A.R., Monserud, R.A. 1976: Control of plot edge bias in forest stand growth models. *Canadian Journal of Forest Research*, 7:100-105.
- Monserud, R.A. und Ek, A.R. 1974: Plot Edge Bias in Forest Stand Growth Simulation Models. *Canadian Journal of Forest Research*, 4:419-423.
- Nagel, J. 1996: Anwendungsprogramm zur Bestandesbewertung und zur Prognose der Bestandesentwicklung, *Forst und Holz*, 51. Jg., H. 3, S.76-78.
- Pretzsch, H. und Kahn, M. 1998: Konzeption und Konstruktion des Wuchsmodells SILVA 2.2 –Methodische Grundlagen- Unveröffentlicher Projektbericht, Lehrstuhl f. Waldwachstumskunde der Universität München, 279 S.
- Pretzsch, H. 1995: Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, Jg. 166, H. 9/10, S.190-201
- Pretzsch, H. 1993: Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen. Versuche mit dem Strukturgenerator STRUGEN. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, Bd. 114, 87 S. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- Pretzsch, H. 1992: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände, *Forstliche Forschungsberichte München*, Nr. 115, 332 S.
- Radtke, P.J. und Burkhart, H.E. 1998: A comparison of methods for edge bias compensation. *Canadian Journal of Forest Research*, 28:942-945.
- Sterba, H., Moser, M., Hasenauer, H., Monserud, R. A. 1995: PROGNAUS-ein abstandsunabhängiger Wachstumssimulator für ungleichaltrige Mischbestände. *Tagungsbericht Sektion Ertragskunde des DVFFA, Joachimsthal*, 1995, S. 173-183.