

Eine waldwachstumskundlich-ökonomische Simulationsstudie zu Effekten der Baumartenmischung Fichte-Buche Konzept und erste ertragskundliche Ergebnisse

P. Biber, Th. Knoke, H. Pretzsch

Technische Universität München

ZUSAMMENFASSUNG

Eine gegenüber Reinbeständen veränderte Dynamik von Mischbeständen kann sowohl auf Wachstums- als auch auf Dichteeffekten beruhen. Erstere sind das direkte Ergebnis von interspezifischer Konkurrenz bzw. Fazilitation, zweitere beziehen sich auf erreichbare räumliche Packungsdichten der Bäume im Bestand. Beide Effekte können sich entlang eines standörtlichen Gradienten verändern. Im Zusammenspiel mit Durchforstungseingriffen ergibt sich ein komplexes Bild der Mischbestandsdynamik. Dies gilt noch mehr, wenn Baumartenmischungen aus forstökonomischer Sicht beurteilt werden sollen.

Mit einer systematischen Simulationsstudie wird in Zusammenarbeit des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde mit dem Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung der Technischen Universität München derzeit angestrebt, die Bandbreite der möglichen Dynamiken für die Baumartenmischung Fichte/Buche auszuloten und ein erweitertes Verständnis im Hinblick auf biologische Produktivität und ökonomische Einwertung zu erzielen. Der Beitrag stellt das Konzept der Studie und erste ertragskundliche Ergebnisse dar.

Grundlage der Studie ist eine empirisch basierte Modifikation des Waldwachstumssimulator SILVA, die standortabhängige Mischungseffekte im Hinblick sowohl auf das Wachstum als auch auf die Bestandesdichte berücksichtigt. Erste Ergebnisse mit Null- und Z-Baum-Varianten zeigen ein Einlaufen auf Baumartenanteile, die relativ unabhängig von den Anteilen in den Ausgangsbeständen ausfallen. Die Mischung führt zu Produktivitätsgewinnen von maximal 60%, die auch bei Durchforstung erhalten bleiben.

SUMMARY

Different dynamics in pure and mixed stands may be caused by both growth and stand density effects. While the former directly result from competition or facilitation, the latter refer to possible spatial packing densities of the trees. Both effects may change along a spatial gradient. Complex dynamics emerge in interaction with thinning measures. Complexity increases if tree species mixtures are to be analyzed from an economist's point of view.

A systematic simulation study has been initiated in order to explore the bandwidth of possible dynamics for mixed stands of Norway spruce and European beech. We strive for an enhanced understanding of the biological productivity and its consequences for economic parameters. This contribution shows the study's concept as well as first growth and yield related results.

The study is based on a modified version of the forest growth simulator SILVA which includes site dependent mixture effects on both, growth and stand density. First results with no treatment and future tree concepts indicate a development towards equilibrium species fractions that are more or less independent from the initial fractions. Compared to pure stands mixed stands reached gains in productivity of up to 60% which were not impaired by thinnings.

1 EINLEITUNG

Die Frage, ob reine oder gemischte Bestände vorzuziehen seien, beschäftigt die Forstwissenschaft seit ihren Anfängen (HARTIG 1791, COTTA 1828). Unter den zahlreichen Aspekten, die in den Überlegungen zum Für und Wider gemischter Bestände zum Tragen kommen, spielt die Produktivität sowohl in biologischer als auch in ökonomischer Hinsicht eine zentrale Rolle (WIEDEMANN 1942, ASSMANN 1961, KENNEL 1965, METTIN 1985, GRIESS und KNOKE 2011, CLASEN et al. 2011, PRETZSCH et al. 2012, GRIESS und KNOKE 2013, PRETZSCH 2013, PRETZSCH et al. 2013a, , PRETZSCH et al. 2013b). Wenngleich seit Ende des 19. Jahrhunderts zahlreiche empirische Befunde zur biologischen Leistungsvergleich reiner und gemischter Bestände vorliegen, sind deren Ergebnisse widersprüchlich (SCHERER-LORENZEN et al., 2005), und erst jüngere Arbeiten, die sich an ökologisch-theoretischen Grundlagen orientieren und eine Zusammenschau bisher isoliert ausgewerteten Datenmaterials unternehmen, lassen allmählich Gesetzmäßigkeiten hinter den bisher wenig verstandenen Beobachtungen erkennen (PRETZSCH et al. 2010).

Relevant für strategische Entscheidungen auf großer Fläche werden biologische Ergebnisse erst dann, wenn sie in ökonomische Information umgesetzt werden. Dies setzt eine monetäre Bewertung ebenso voraus wie die Einbeziehung von Risiken sowohl natürlicher (Sturmwurf, Schneebruch, etc.) als auch ökonomischer Natur wie Preisschwankungen (HILDEBRANDT und KNOKE 2011, GRIESS et al. 2012).

Eine empirische Studie zur biologisch-ökonomischen Untersuchung einer Zwei-Baumarten-Mischung müsste mindestens folgende Faktoren berücksichtigen bzw. systematisch variieren: Mischungsanteile, Standort, waldbauliche Behandlung, ökonomische Rahmenbedingungen, Risiken in natürlicher und ökonomischer Hinsicht und die Zeit. Ein vollständiges Versuchsdesign dieser Art ist in der Praxis nicht realisierbar. Wohl aber können die jetzt schon vorhandenen biologischen Befunde als Stützstellen einer Implementierung in Waldwachstumsmodelle dienen und sind damit als Grundlage für Simulationsstudien nutzbar. Dem Nachteil, dass Modelle nicht besser sein können als die mit ihnen realisierte Beschreibung relevanter Gesetzmäßigkeiten, stehen die gewichtigen Vorteile gegenüber, dass eine Simulationsstudie nicht durch die räumlich- zeitlichen Restriktionen einer empirischen Untersuchung beengt ist, und dass in einer virtuellen Umgebung unbeobachtete Einflussfaktoren ausgeschlossen werden können, die die Gefahr von Fehlinterpretationen mit sich bringen würden.

Vor diesem Hintergrund wurde am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde und am Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung eine systematische Simulationsstudie zur Mischung von Buche und Fichte in gleichaltrigen Beständen entworfen, wobei die erstgenannte Institution sich mit den Aspekten der biologischen Produktion und zweitens sich mit den ökonomischen Gesichtspunkten befasst. Hier wird das Konzept dieser Studie zusammen mit ersten ertragskundlichen Ergebnissen vorgestellt.

2 MATERIAL UND METHODEN

Grundidee der Studie ist es, das bewährte Waldwachstumsmodell SILVA (PRETZSCH et al. 2002) so zu modifizieren, dass es neueste Erkenntnisse der Mischbestandsdynamik abbildet. Die langfristige Entwicklung definierter Mischbestände auf definierten Standorten unter Maßgabe ausgewählter Behandlungskonzepte wird simuliert, wobei die Simulationsergebnisse sowohl auf Bestandes- als auch auf Einzelbaumebene abgespeichert werden. Dieser Satz an Informationen reicht aus, um Aussagen zur biologischen Produktion zu treffen und dient als Grundlage für die weiterführenden ökonomischen Analysen.

2.1 MODELLHAFT BESCHREIBUNG DER MISCHUNGSEFFEKTE

Wie PRETZSCH et al. (2010) darlegen, ergeben sich Effekte von Baumartenmischungen aus dem Zusammenwirken von Konkurrenz und Fazilitation zwischen den Bäumen eines Bestandes, die im Mischbestand *ceteris paribus* anders ausfallen können als im Reinbestand. Dies äußert sich auf der für die vorliegende Studie relevanten Ebene in einem Wachstums- und einem Dichteeffekt, die beide getrennt zu betrachten sind. Für Fichte und Buche in Mischung lässt sich der Wachstumseffekt wie folgt schätzen (PRETZSCH et al. 2010, 2013b):

$$rP_{Fichte} = 1 + (2.686 - 0.067 \cdot Bonität_{Fichte}) \cdot Anteil_{Buche} \quad \text{Gleichung 1a}$$

$$rP_{Buche} = 1 + (3.149 - 0.064 \cdot Bonität_{Buche}) \cdot Anteil_{Fichte} \quad \text{Gleichung 1b}$$

rP ist dabei die relative Produktivität, der Biomasse- bzw. Volumenzuwachs des Grundflächenmittelstammes der im Index angegebenen Baumart im Verhältnis zum Reinbestand. Bonität ist die Oberhöhe der jeweiligen Baumart im Alter 100 nach den Ertragstafeln von ASSMANN und FRANZ (1963) bzw. SCHOBER (1975). Die Variable Anteil steht für den Anteil [0; 1[der jeweils anderen Baumart im Mischbestand. Im Reinbestand ist rP also stets 1. Die relative Produktivität des Grundflächenmittelstammes beider Baumarten nimmt nach den Gleichungen 1a und 1b mit dem Anteil der jeweils anderen Baumart zu, wobei dieser Effekt allerdings umso schwächer ausgeprägt ist, je größer die Bonität, also je günstiger der Standort ausfällt.

Mathematisch analog wird der Dichteeffekt beschrieben:

$$rN_{Fichte} = 1 + (-1.075 + 0.025 \cdot Bonität_{Fichte}) \cdot Anteil_{Buche} \quad \text{Gleichung 2a}$$

$$rN_{Buche} = 1 + (3.184 - 0.073 \cdot Bonität_{Buche}) \cdot Anteil_{Fichte} \quad \text{Gleichung 2b}$$

Die relative maximale Dichte rN der im Index benannten Baumart beschreibt das Verhältnis der maximalen Baumzahl der Art pro ha im Mischbestand (dort bezogen auf 1 ha ideale Anteilsfläche) zur maximalen Baumzahl der Art im Reinbestand bei gleichem Mitteldurchmesser. Die Vorzeichen und Werte der Parameter drücken für den Dichteeffekt ein uneinheitlicheres Bild aus als für den Wachstumseffekt. So nimmt die relative maximale

Dichte der Fichte mit steigendem Buchenanteil ab. Dies ist aber umso ausgeprägter, je schwächer der Standort ist. Umgekehrt ist es bei der Buche, deren maximale Dichte mit zunehmenden Fichtenanteilen steigt, am wenigsten jedoch auf guten Standorten.

2.2 IMPLEMENTATION IM WALDWACHSTUMSSIMULATOR SILVA

Vor der Implementation der durch die Gleichungen 1a, 1b, 2a, 2b beschriebenen Mischungseffekte wurden alle bisher im Waldwachstumssimulator SILVA realisierten Mischungseffekte, sie betreffen im Wesentlichen die Quantifizierung der Einzelbaumkonkurrenz, (PRETZSCH et al. 2002) deaktiviert. In diesem Zustand simuliert SILVA das Wachstum und die Mortalität der Bäume eines Bestandes in Fünfjahresschritten, ohne dass Wachstum und Bestandesdichte von direkten Mischungseffekten betroffen wären. An dieser Stelle ansetzend wurde SILVA so modifiziert, dass nach jedem Fünfjahresschritt für den Gesamtbestand der Anteil beider Baumarten berechnet und deren Bonität nach obiger Definition aus dem Standort-Leistungsmodell von SILVA entnommen wird. Diese Information genügt zur Schätzung von r_P und r_N nach den oben gegebenen Definitionen.

Um den Wachstumseffekt nach den Gleichungen 1a, 1b auf die einzelnen Bäume umzulegen, wird am Ende jedes Simulationsschrittes der zurückliegende Volumenzuwachs für jeden Baum ermittelt, der bis dahin einem Zuwachs im Reinbestand entspricht. Durch Multiplikation mit dem zuvor ermittelten r_P ergibt sich der Volumenzuwachs des Baumes unter den wirklichen Mischungsverhältnissen. Da SILVA nicht die Einzelbaumvolumina, sondern Brusthöhendurchmesser und Baumhöhen mitführt, wird unter der Annahme, dass der Wachstumseffekt der Mischung in seiner Eigenschaft als Konkurrenz- bzw. Fazilitationseffekt hauptsächlich den Durchmesser- und weniger den Höhenzuwachs betrifft (vgl. PRETZSCH 1992), der Durchmesserwert am Ende des Simulationsschrittes so verändert, dass der um den Mischbestandseffekt korrigierte Volumenzuwachs realisiert wird. Hierbei gilt die Annahme, dass der Wachstumseffekt der Mischung auf alle Bäume einer Art in gleicher Weise wirkt.

Etwas aufwändiger gestaltete sich die Implementierung des Dichteeffektes der Baumartenmischung. Das einzelbaumorientierte Mortalitätsmodell (PRETZSCH et al. 2002) wurde insoweit modifiziert, dass es nach wie vor die Absterbewahrscheinlichkeit eines jeden Baumes im zurückliegenden Fünfjahres-Simulationsschritt berechnet, diese aber nicht unmittelbar zur Feststellung der Einzelbaummortalität verwendet wird. Vielmehr wird ein Schritt zwischengeschaltet, in dem auf der Basis der Reineke-Regel (REINEKE 1933) die maximale Stammzahl N_{\max} je ha beider Baumarten im Reinbestand geschätzt wird:

$$N_{\max \text{ Fichte}} = e^{12,57} \cdot dg^{-1,664} \quad \text{Gleichung 3a}$$

$$N_{\max \text{ Buche}} = e^{12,45} \cdot dg^{-1,789} \quad \text{Gleichung 3b}$$

Hierbei entspricht dg dem Durchmesser des Grundflächenmittelstamms der jeweiligen Baumart in cm. Die Allometrikoeffizienten (-1,664 und -1,789) entsprechen den von PRETZSCH und BIBER (2005) anhand langfristiger Versuchsflächen ermittelten artspezifischen Werten, die Konstanten $e^{12,57}$ und $e^{12,45}$ wurden auf der Basis orientierender Simulationsläufe mit Reinbeständen eingestellt. Durch Multiplikation des so erhaltenen N_{\max} -Wertes mit dem entsprechenden r_N -Wert aus Gleichung 2a bzw. 2b erhält man die jeweilige maximale hektarbezogene Stammzahl der jeweiligen Baumart im Mischbestand. Über deren Flächenanteil und die Größe der Bestandesfläche lässt sich ohne weiteres die maximale Stammzahl im Mischbestand ermitteln. Übersteigt nun die tatsächliche Stammzahl die, unter Berücksichtigung der Mischung, maximal mögliche, muss die Differenz durch Mortalität ausgeglichen werden. Die Bäume, die absterben, werden in der absteigenden Reihenfolge ihrer zuvor ermittelten Sterbewahrscheinlichkeiten selektiert.

2.3 DEFINITION DER SZENARIEN

Es wurden sechs Ausgangsbestände, vier Misch- und zwei Reinbestände definiert. Die Kennwerte der Reinbestände sind so gewählt, dass sie auf gutem Standort nach ASSMANN und FRANZ (1963) und SCHOBER (1970) einem typischen Fichten- bzw. Buchenreinbestand im Alter von ca. 20 bzw. 30 Jahren entsprechen. Für die Fichte bedeutet das: Stammzahl/ha = 4100, $dg = 8,6$ cm, Mittelhöhe (hg) = 7,6 m. Die entsprechenden Kennzahlen für den Buchenreinbestand sind: Stammzahl/ha = 6400, $dg = 5,3$ cm, hg = 8,7 m. Als Mischbestände wurden vier Varianten, namentlich 1) 10% Buchen- und 90% Fichtenanteil, 2) 25% Buche, 75% Fichte, 3) 50% Buche, 50% Fichte sowie 4) 75% Buche, 25% Fichte definiert. Die Kennwerte dieser Bestände ergeben sich durch Multiplikation der Reinbestandsstammzahlen mit den Mischungsanteilen, z.B. hat der Mischbestand 50% Buche, 50% Fichte Stammzahlen von $6400/2 = 3200$ Buchen bzw. $4100/2 = 2050$ Fichten. Mitteldurchmesser und -höhen der jeweiligen Reinbestände werden beibehalten (Abb. 1).

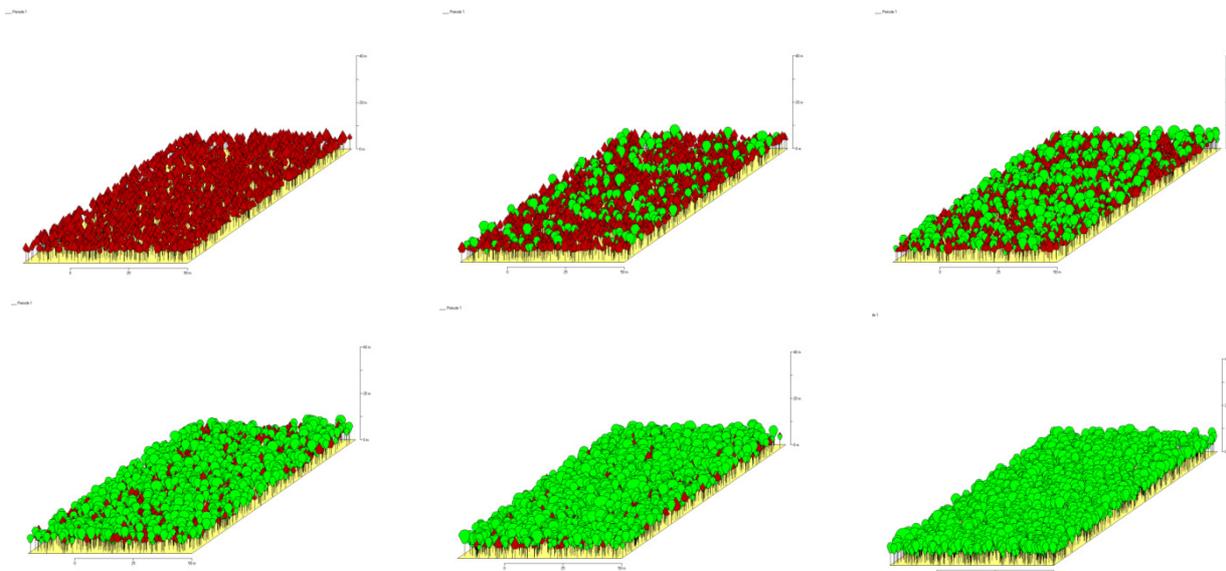


Abb. 1: Ausgangsbestände der gezeigten Simulationsläufe. Oben von links nach rechts: 100 % Fichte, 10% Buche – 90% Fichte, 25% Buche – 75% Fichte. Unten von links nach rechts: 50% Buche – 50% Fichte, 75% Buche – 25% Fichte, 100% Buche. Durch ihre breite Krone und höhere Stammzahl je Einheit Fläche wirkt die Buche in der Darstellung überrepräsentiert.

Für jeden dieser Ausgangsbestände wurden drei Standortszenarien zugrunde gelegt: 1) „gut“ entspricht einer Oberhöhenbonität der Fichte im Alter 100 von 40,0 m und 34,5 m bei der Buche, 2) „mittel“ entspricht 36,0 m (Fichte) und 31,5 m (Buche), 3) „schlecht“ entspricht 32,0 m (Fichte) und 28,5 m (Buche). Diese Bonitätskombinationen beider Baumarten repräsentieren die von PRETZSCH aus dem in PRETZSCH et al. (2010) vorgestellten Datenmaterial abgeleiteten typischen Verhältnisse.

Für jeden der sechs Bestände in Kombination mit jedem der drei Standorte wurden drei Behandlungsszenarien gerechnet.: 1) Eine Nullvariante, bei der jeder aktive Eingriff unterbleibt, 2) eine Normalvariante, bei der 100 Z-Stämme den Baumartenanteilen entsprechend ausgewählt und je Fünfjahresintervall bis zu 1,5 Bedränger je Z-Baum entnommen werden und 3) eine Intensivvariante, die sich von der Normalvariante insofern unterscheidet, als dass je Eingriff und Z-Baum bis zu 2,5 Bedränger entnommen werden.

Jedes der $6 \times 3 \times 3 = 54$ Szenarien wurde über einen Zeitraum von 100 Jahren gerechnet und wegen der in Silva implementierten Zufallseffekte fünfmal wiederholt, so dass insgesamt 270 einzelne Läufe simuliert wurden.

3. ERGEBNISSE

Die Entwicklung der Baumartenanteile der Nullvariante zeigt ein Einlaufen auf offenbar standorttypische Gleichgewichtswerte, die weitgehend unabhängig von den Mischungsanteilen in der Ausgangssituation sind (Abb. 2). Zunächst, etwa in den ersten 40 Simulationsjahren, baut die Buche ihre Position stark auf Kosten der Fichte aus – danach bleiben die Verhältnisse in etwa konstant. Auf dem besten Standort deutet sich eine Gegenbewegung zugunsten der Fichte an. In allen Fällen kristallisiert sich eine Dominanz der Buche heraus, dies umso ausgeprägter, je schlechter der Standort ist.

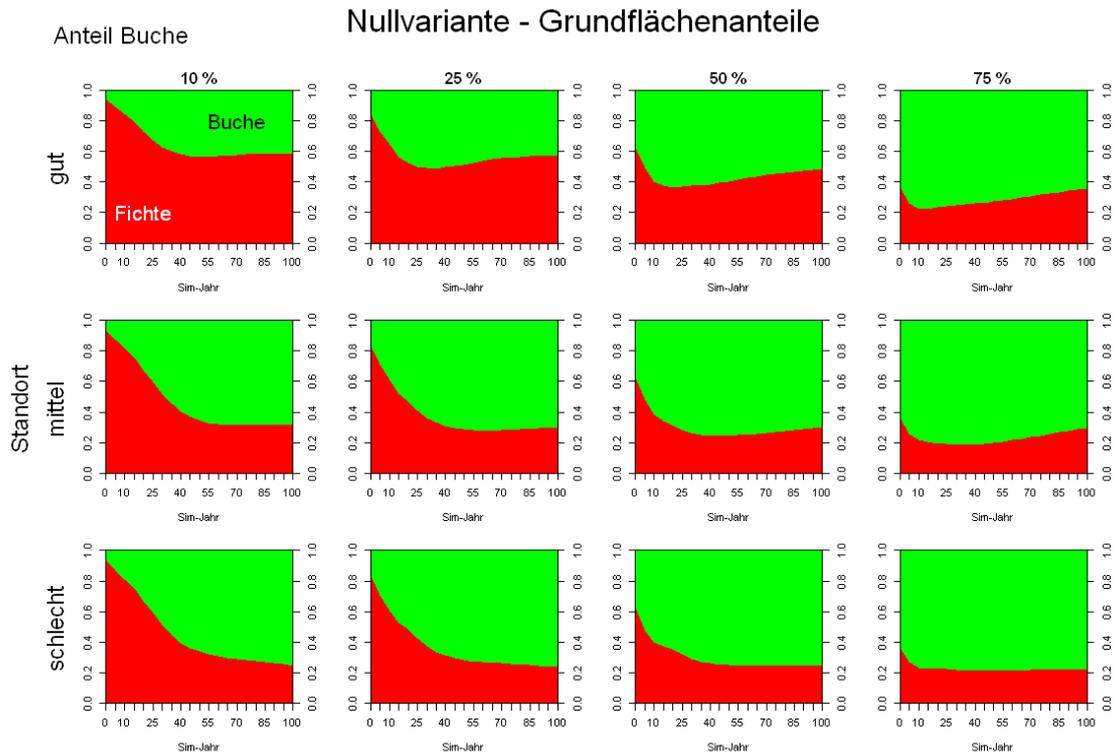


Abb. 2: Entwicklung der Grundflächenanteile von Fichte und Buche im Zuge der Nullvariante über einen Simulationszeitraum von 100 Jahren. Spalten von links nach rechts: Buchenanteile im Ausgangsbestand – 10%, 25%, 50%, 75%. Zeilen von oben nach unten Standortszenarien „gut“, „mittel“, „schlecht“.

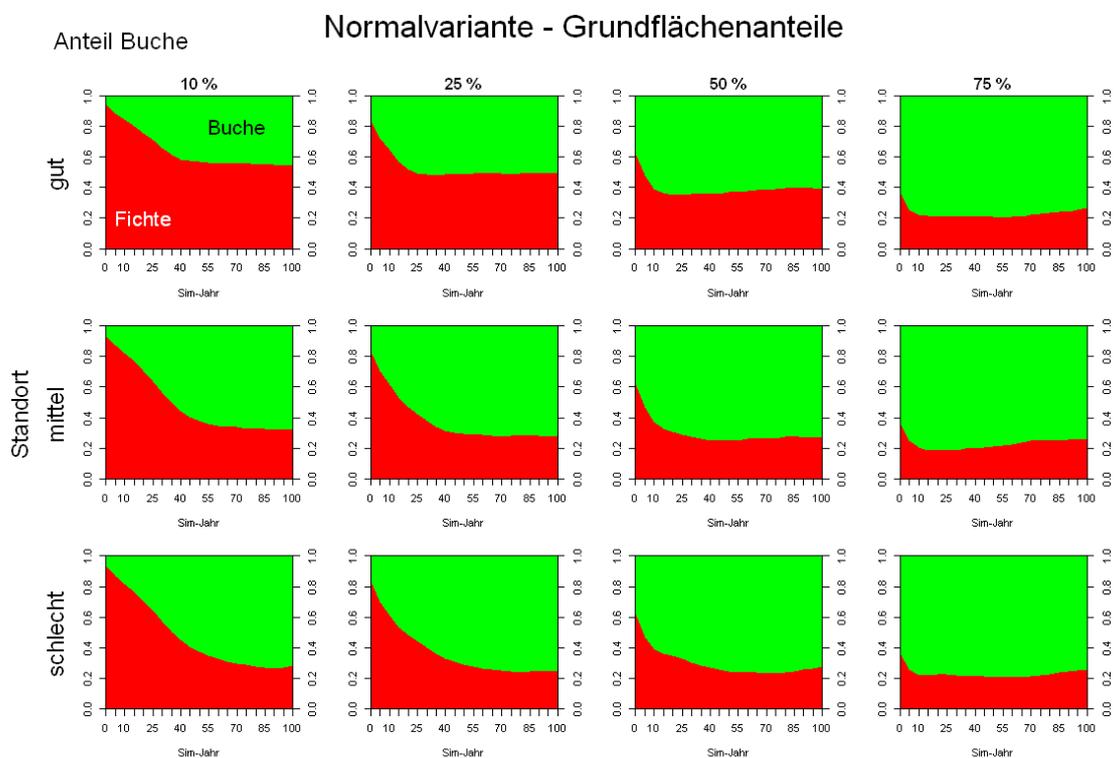


Abb. 3: Entwicklung der Grundflächenanteile von Fichte und Buche im Zuge der Normalvariante über einen Simulationszeitraum von 100 Jahren. Spalten von links nach rechts: Buchenanteile im Ausgangsbestand – 10%, 25%, 50%, 75%. Zeilen von oben nach unten Standortszenarien „gut“, „mittel“, „schlecht“.

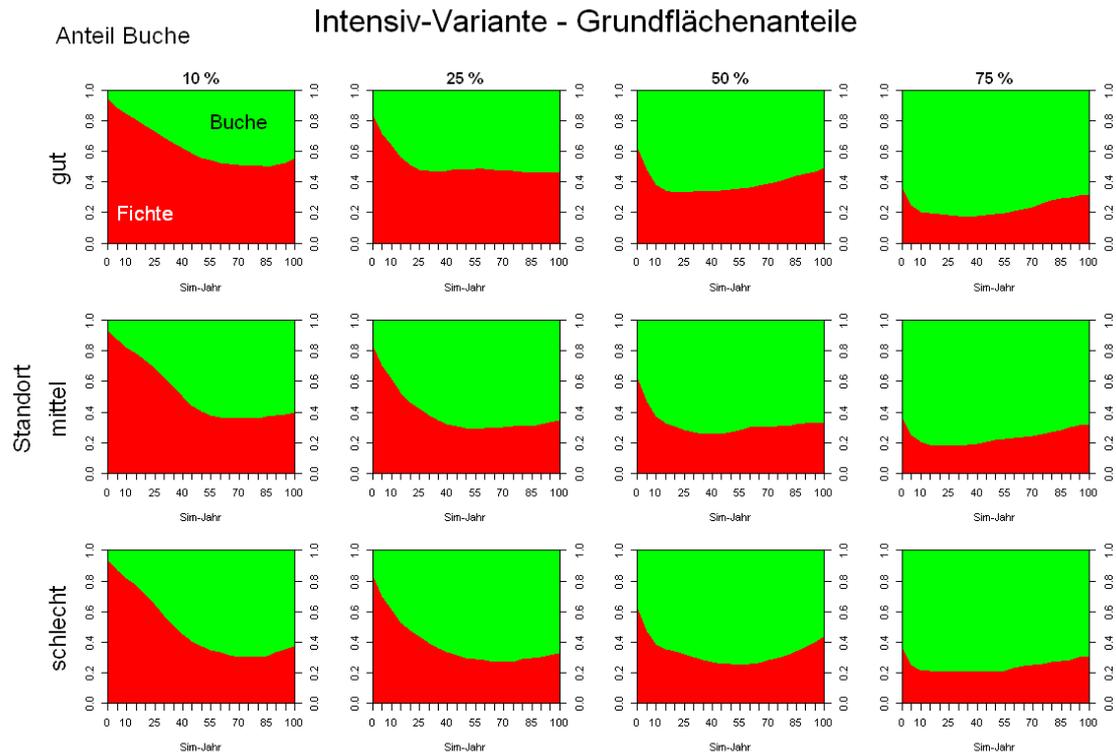


Abb. 4: Entwicklung der Grundflächenanteile von Fichte und Buche im Zuge der Intensivvariante über einen Simulationszeitraum von 100 Jahren. Spalten von links nach rechts: Buchenanteile im Ausgangsbestand – 10%, 25%, 50%, 75%. Zeilen von oben nach unten Standortszenarien „gut“, „mittel“, „schlecht“.

Wenig anders stellen sich die Artanteile bei der Normalvariante dar (Abb. 3). Die im Gleichgewicht erhaltenen Baumartenanteile sind jedoch etwas nach den Baumartenanteilen im Ausgangsbestand differenziert, was sicher auf die fixen Zahlen der ausgewählten Z-Bäume zurückzuführen ist. Bei ähnlicher allgemeiner Tendenz gelingt es nur im Rahmen der Intensivvariante, den Entwicklungen der Nullvariante insofern entgegenzuwirken, als dass sich eine mäßige Erholung der Fichtenanteile auch auf den schwächeren Standorten einstellt (Abb. 4).

In Gestalt von Kreuzdiagrammen (PRETZSCH 2013a) zeigt Abb. 5 für die Nullvariante den relativen Mischungseffekt für beide Arten und den Gesamtbestand bezogen auf den durchschnittlichen Gesamtzuwachs (DGZ) in Abhängigkeit von den Mischungsanteilen, hier definiert als die Anteile an der mittleren Grundflächenhaltung. Die horizontale Achse bezeichnet den Anteil der Buche, der Fichtenanteil ergibt sich aus 1 abzüglich des Buchenanteils. Die vertikale Achse stellt den DGZ des Mischbestandes im Verhältnis zu dem unter Reinbestandsbedingungen erreichten DGZ dar. Die gepunkteten Geraden repräsentieren die erwarteten Verhältnisse unter der Annahme, dass Mischungseffekte nicht auftreten. Dementsprechend zeigen Punkte oberhalb einer solchen Geraden positive und Punkte unterhalb einer Geraden negative Mischungseffekte an.

Durchweg wird auf Bestandesebene ein Profit von der Mischung erkennbar, der auf guten Standorten zwischen 20 und 40%, auf schlechten Standorten sogar bis zu 50% ausmacht. Dies ergibt sich aus einem Profit beider Baumarten, wobei die standortbestimmten Unterschiede bei der Fichte größer sind als bei der Buche. Tendenziell, vor allem auf dem guten und dem mittleren Standort deutet sich eine Zunahme der förderlichen Wirkung mit fortschreitender Zeit an. Praktisch analog, mit einer leichten Tendenz zu sogar etwas ausgeprägteren Mischungseffekten stellt sich die Normalvariante dar (Abb. 6). Dies zeigt sich noch stärker bei der Intensivvariante (Abb. 7), bei der auf dem schwächsten Standort nach 75 Simulationsjahren ein Mischungsgewinn von über 60% erreicht wird.

Nullvariante - rel. DGZ über MGH-Anteilen

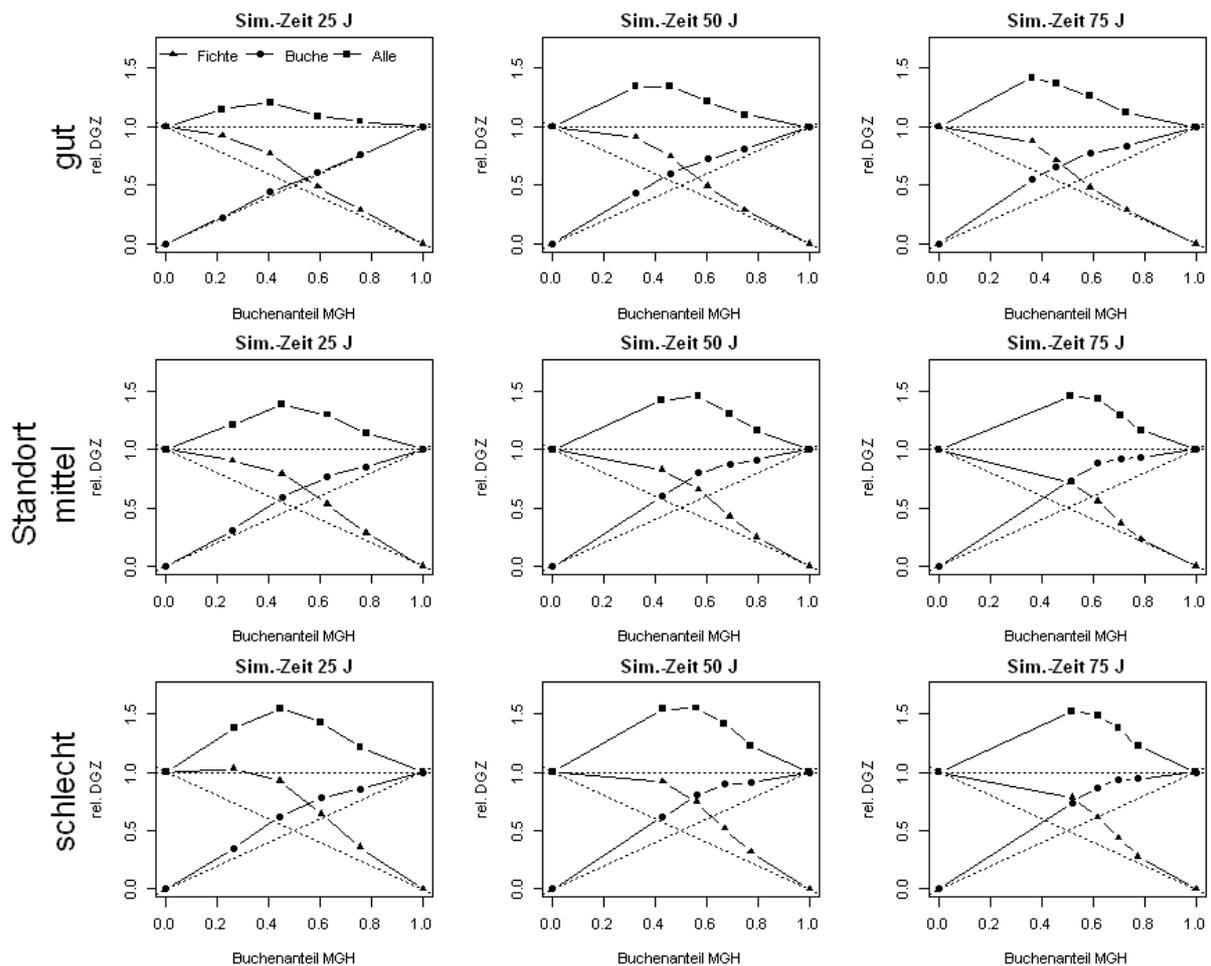


Abb. 5: Relativer Mischungseffekt auf den durchschnittlichen Gesamtwuchs (DGZ) über dem Buchenanteil an der mittleren Grundflächenhaltung bei der Nullvariante. Spalten von links nach rechts: Zeitspanne ab Simulationsbeginn 25, 50, 75 Jahre. Zeilen von oben nach unten Standortszenarien „gut“, „mittel“, „schlecht“.

4 DISKUSSION

Die Entwicklung der Baumartenanteile, die sich relativ unabhängig von den Anteilen im Ausgangsbestand, jedoch abhängig vom Standort einstellen, spiegelt ein vom Wechselspiel positiver und negativer Rückkoppelungen geprägtes System wider. Die Buche, die insgesamt mehr von der Mischung zu profitieren scheint, baut ihre Position auf Kosten der Fichte aus und erlangt so Konkurrenzvorteile, die ihr einen weiteren Ausbau ermöglichen. Die abnehmenden Fichtenanteile verringern jedoch den Mischungsprofit der Buche während die zunehmenden Buchenanteile zumindest das Wachstum der verbleibenden Fichten fördern. So entstehen im Hinblick auf die Baumartenanteile Gleichgewichtssituationen, die hauptsächlich von den standörtlich bedingten Mischungsreaktionen beider Baumarten abhängen. Dies erinnert stark an Vorhersagen, die mit den Konkurrenzgleichungen von Lotka-Volterra getroffen werden können (vgl. WISSEL 1989). Bemerkenswert erscheint zunächst auch, dass die definierten Behandlungskonzepte dieser Entwicklung kaum entgegenwirken, was daran liegt, dass eine waldbauliche Steuerung der Baumartenanteile nur über die Z-Bäume, nicht aber pauschal über den Gesamtbestand erfolgt.

Normalvariante - rel. DGZ über MGH-Anteilen

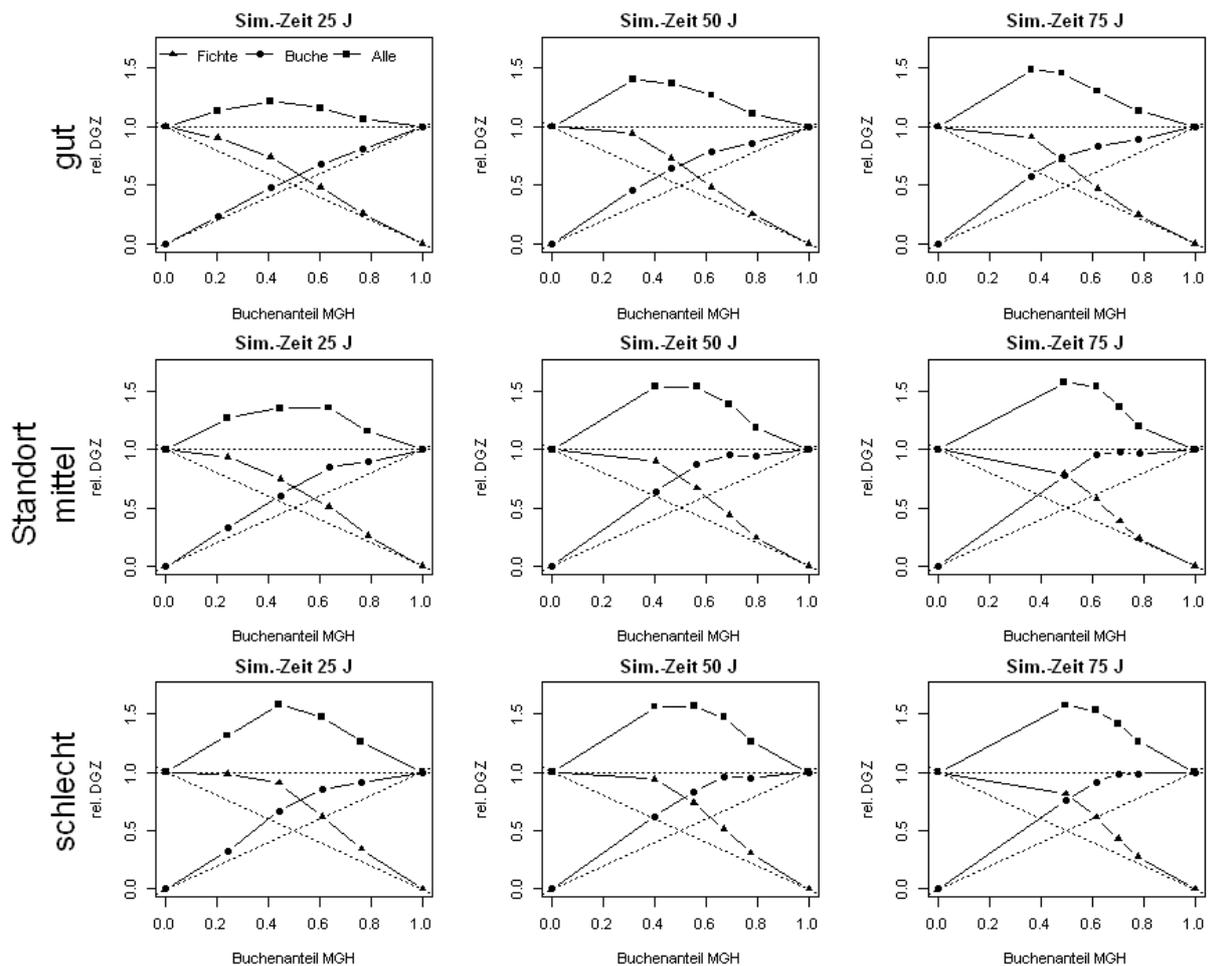


Abb. 6: Relativer Mischungseffekt auf den durchschnittlichen Gesamtwuchs (DGZ) über dem Buchenanteil an der mittleren Grundflächenhaltung bei der Normalvariante. Spalten von links nach rechts: Zeitspanne ab Simulationsbeginn 25, 50, 75 Jahre. Zeilen von oben nach unten Standortsszenarien „gut“, „mittel“, „schlecht“.

Bei Betrachtung des DGZ als Zielgröße machen sich Rückkoppelungen auf Einzelbaumebene besonders bei der Nullvariante auf gutem Standort in einer Zunahme des Mischungsprofits mit der Zeit bemerkbar. Bäume, die durch die Mischung mit Mehrzuwächsen reagieren, können ihre soziale Position ausbauen, dadurch mehr wachsen, wobei sie wiederum von der Mischung profitieren. Auf schwächeren Standorten, wo SILVA auch schwächere Reaktionen auf Konkurrenzreduzierung vorhersagt, ist dieser Befund erwartungsgemäß nicht oder nur schwach zu beobachten, wobei umgekehrt und ebenso erwartungsgemäß der relative Gewinn durch die Mischung auf schwächeren Standorten ausgeprägter ist. Hier entsprechen die Gleichungen 1a, 1b und 2b der Stress-Gradienten-Hypothese, die das Überwiegen von Facilitation über Konkurrenz auf schwachen Standorten vorhersagt. Dass der relative Gewinn des DGZ sogar mit der Behandlungsintensität zunimmt, zeigt, dass der Mischungseffekt nicht ohne weiteres „wegdurchforstet“ werden kann und dass der Wachstumseffekt der Mischung gegenüber dem Dichteeffekt offenbar der wichtigere ist.

Fragen, die sich bei der ersten orientierenden Auswertung der gezeigten Simulationsläufe stellen, betreffen die Bedeutung indirekter Mischungseffekte, die nicht ohne weiteres im Modell neutralisiert werden können. Nachdem die beobachteten Mehrzuwächse eher im oberen Bereich des allgemein Beobachteten liegen (PRETZSCH 2004) muss untersucht werden, inwieweit die unterschiedlichen Kronenformen beider Baumarten, die in die Konkurrenzrechnung in SILVA eingehen, einen nennenswerten Mischungseffekt einbringen, der zur Überbetonung der erhaltenen Ergebnisse führen kann.

Intensiv-Variante - rel. DGZ über MGH-Anteilen

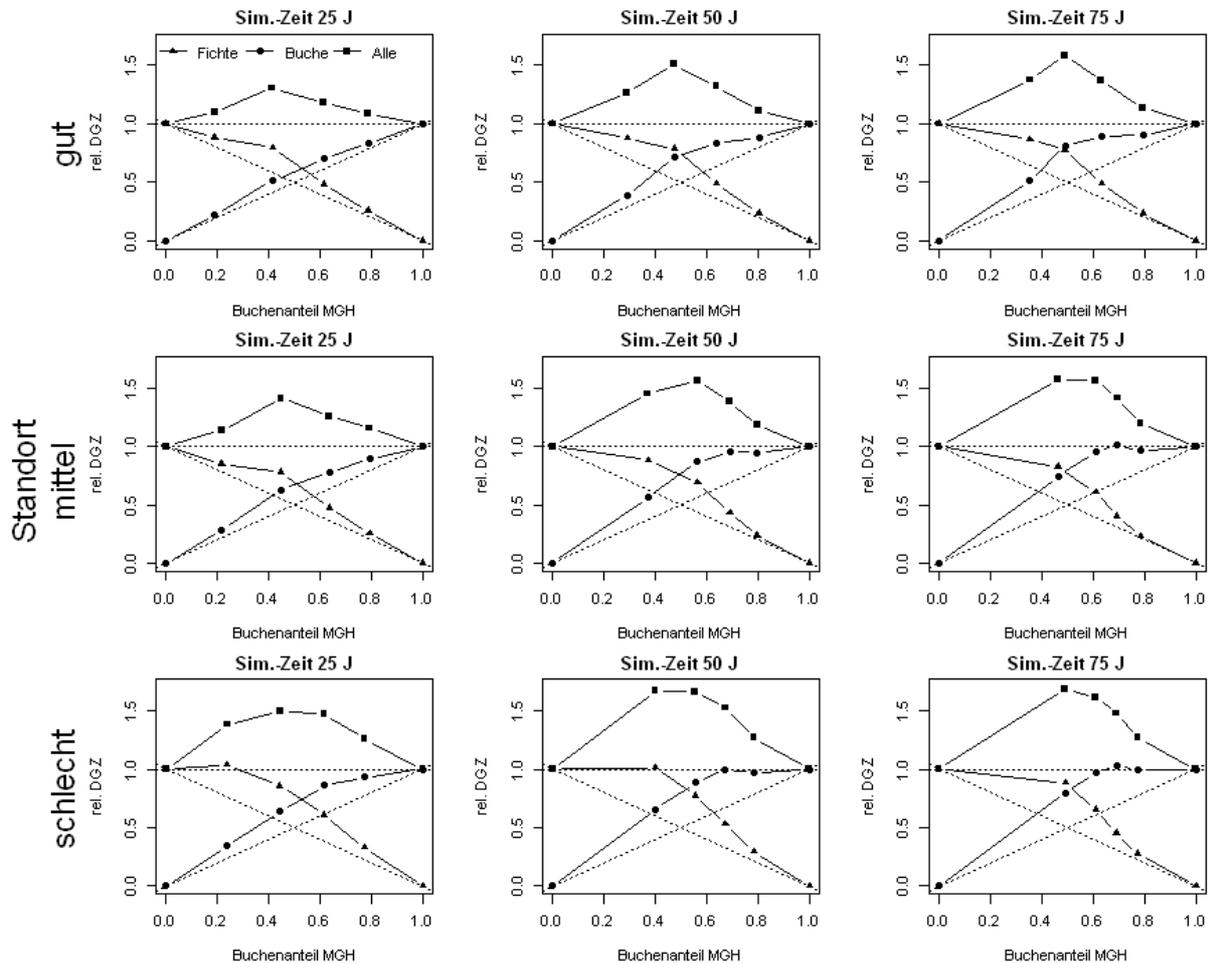


Abb. 7: Relativer Mischungseffekt auf den durchschnittlichen Gesamtwuchs (DGZ) über dem Buchenanteil an der mittleren Grundflächenhaltung bei der Intensivvariante. Spalten von links nach rechts: Zeitspanne ab Simulationsbeginn 25, 50, 75 Jahre. Zeilen von oben nach unten Standortszenarien „gut“, „mittel“, „schlecht“.

Zu bedenken ist weiter, dass die typischen Kombinationen von Fichten- und Buchenbonitäten, wie sie hier verwendet wurden, für die Fichte in der Tat ein Spektrum von gut bis schlecht abbildet, aber für die Buche wesentlich enger und auf gute und mittlere Standorte beschränkt bleibt. Als zentrale Information für weitere Schritte zeigt sich, dass die verwendeten Z-Baum-Verfahren nicht geeignet sind, um die Baumartenanteile über das Bestandesleben hinweg in etwa auf den in der Startsituation definierten Niveaus zu halten. Zusätzlich zu den bisher konzipierten Behandlungskonzepten werden also solche notwendig sein, bei denen die Einhaltung von gegebenen Mischungsverhältnissen Teil der Definition ist.

5 FOLGERUNGEN

Bereits durch einfache Modifikationen eines einzelbaumbasierten Waldwachstumsmodells werden teils unerwartete, jedoch plausible Effekte der Baumartenmischung Fichte/Buche erkennbar. Ebenso ergeben sich Hinweise auf notwendige methodische Ergänzungen.

Danksagung – Danken möchte ich dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Förderung der Arbeitsgruppe W 07 „Ertragskundliche Betreuung der langfristigen Versuche“ sowie Ralf Moshhammer für seine Unterstützung bei den umfangreichen Szenariodefinitionen und –Rechnungen.

LITERATURVERZEICHNIS

- ASSMANN E., 1961. Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. BLV Verlagsgesellschaft, München, Bonn, Wien, 490 p.
- ASSMANN E. AND FRANZ F., 1965. Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Forstw. Cbl. 84: 13-43
- COTTA von H., 1828. Anweisung zum Waldbau. Arnoldische Buchhandlung, Dresden, Leipzig.
- CLASEN C., GRIESS V. C., KNOKE T. 2011. Financial consequences of losing admixed tree species: A new approach to value increased financial risks by ungulate browsing. Forest Policy and Economics. 13: 503-511.
- GRIESS V. C., KNOKE T. 2011. Growth performance, wind-throw, and insects: meta-analyses of parameters influencing performance of mixed-species stands in boreal and northern temperate biomes. Can. J. For. Res. 41: 1141–1159.
- GRIESS V.C., ACEVEDO R., HÄRTL F., STAUPENDAHL K., KNOKE T., 2012. Does mixing tree species enhance stand resistance against natural hazards? A case study for spruce. Forest Ecology and Management. 267: 284-296.
- GRIESS V.C., KNOKE T. 2013. Bioeconomic modelling of mixed Norway spruce - European beech stands: Economic consequences of considering ecological effects. European Journal of Forest Research. 132 (3): 511-522.
- HARTIG G.L., 1791. Anweisung zur Holzzucht für Förster. Neue Akademische Buchhandlung, Marburg.
- HILDEBRANDT P., KNOKE, T. 2011. Investment decisions under uncertainty - A methodological review on forest science studies. Forest Policy and Economics 13: 1-15.
- KENNEL R., 1965. Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand. Allg. Forst. Jagdztg. 136: 149-161, 173–189.
- METTIN C., 1985. Betriebswirtschaftliche und ökologische Zusammenhänge zwischen Standortskraft und Leistung in Fichtenreinbeständen und Fichten/Buchen-Mischbeständen. AFZDerWald 40: 803–810.
- PRETZSCH, H., 1992. Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstliche Forschungsberichte München, 115, 332p.
- PRETZSCH, H., BIBER, P., DURSKEY, J., 2002. The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. For. Ecol. Manage. 162: 3-21.
- PRETZSCH, H., 2004. Diversity and Productivity in Forests: Evidence from Long-Term Experimental Plots. Ecological Studies 176.
- PRETZSCH, H. und BIBER, P., 2005. A re-evaluation of Reineke's rule and Stand Density Index. For. Sci. 51: 304–320.
- PRETZSCH, H., BLOCK, J., DIELER, J., DONG, P.H., KOHNLE, U., NAGEL, J., SPELLMANN, H., ZINGG, A., 2010. Comparison between the productivity of pure and mixed stands of Norway spruce and European beech along an ecological gradient. Annals of Forest Science 67: 712.
- PRETZSCH, H., 2013. Facilitation and Competition in Mixed-Species Forests Analyzed along an Ecological Gradient. Nova Acta Leopoldina NF 114, Nr. 391, 159-174.
- PRETZSCH, H., BIELAK, K., BLOCK, J., BRUCHWALD, A., DIELER, J., EHRHART, HP., KOHNLE, U., NAGEL, J., SPELLMANN, H., ZASADA, M., ZINGG, A., 2013a. Productivity of mixed versus pure stands of oak (*Quercus pretraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) along an ecological gradient. European Journal of Forest Research DOI 10.1007/s10342-012-0673-y.
- PRETZSCH, H., BIELAK, K., BRUCHWALD, A., DIELER, J., DUDZINSKA, M., EHRHART, HP., JENSEN, AM, JOHANNSEN, VK, KOHNLE, U., NAGEL, J., SPELLMANN, H., ZASADA, M., ZINGG, A., 2013b. Mischung und Produktivität von Waldbeständen. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 184. Jg., 7/8 177-196.
- REINEKE, L.H. 1933. Perfecting a stand-density index for evenaged forests. Journal of Agricultural Research 46:627–638.
- SCHERER-LORENZEN M., KÖRNER C., SCHULZE E.-D., 2005. Forest diversity and function. Ecol. Studies 176, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 399 p.
- SCHÖBER, R., 1975. Ertragstafeln wichtiger Baumarten. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 154 p.
- WIEDEMANN, E., 1942. Der gleichaltrige Fichten-Buchen-Mischbestand. Mitt. aus Forstwirtschaft u Forstwissenschaft 13: 1–88.
- WISSEL, C. 1989. Theoretische Ökologie. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong, 299 p.