

# Modellierung der Dynamik reiner und gemischter Waldbestände

Hans Pretzsch

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde  
Technische Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
H.Pretzsch@lrz.tum.de

**Abstract:** Für die Simulation der Waldentwicklung setzen sich zunehmend dynamische, räumlich-explizite Einzelbaummodelle durch. Vorliegender Beitrag skizziert die Funktionsweise solcher Modelle für Reinbestände, quantifiziert Mehr- und Minderzuwächse in Mischbeständen und zeigt wie sich Mischungseffekte in Einzelbaummodelle integrieren lassen.

## 1. Hintergrund

Für die forstwirtschaftliche Planung und forstwissenschaftliche Szenarioanalysen haben sich in den zurückliegenden Jahren dynamische, räumlich explizite Einzelbaummodelle durchgesetzt [Ha06; PBD02]. Ausgangspunkt von räumlich expliziten Einzelbaummodellen ist die 3D-Struktur eines Waldbestandes auf einer Einheitsfläche (z. B. 1 ha). Von jedem Baum stehen zu Simulationsbeginn Initialgrößen wie Baumposition, Baumdurchmesser, Baumhöhe, Kronenlänge, Kronenbreite usw. zur Verfügung. Aufbauend auf diesen Startgrößen wird für jeden Baum die Konkurrenzsituation bestimmt, d. h. das nachbarliche Umfeld wird über einen Konkurrenzindex charakterisiert. Die Zuwachsentwicklung von allen Bäumen wird dann in Abhängigkeit von ihrer Anfangsstruktur und dem Konkurrenzindex geschätzt. Gegenstand der Schätzung sind im Wesentlichen der periodische Zuwachs des Baumdurchmessers in der Höhe 1.30 m, die Baumhöhe, die Kronenlänge, die Kronenbreite und die Überlebenswahrscheinlichkeit. Aufbauend auf diesen Schätzgrößen kann der Volumen- oder Gewichtszuwachs jedes Baumes bestimmt und seine Größe zu Beginn der nächsten Zuwachsperiode berechnet werden. Damit sind die Startgrößen für die gleiche Zuwachs-berechnungsprozedur in der Folgeperiode bekannt und die Voraussetzungen dafür gegeben, die Baumentwicklung in Abhängigkeit von der Umgebungssituation des Baumes über den gesamten Prognosezeitraum (z. B. 100 oder 150 Jahre) hinweg zu prognostizieren [Pr09].

Zwei wichtige Grundbeziehungen sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Es handelt sich zum einen um den Zusammenhang zwischen Durchmesserzuwachs und Konkurrenzsituation des Baumes; diese wird über das so genannte potential-modifier-principle abgebildet. Dieses geht davon aus, dass der Durchmesserzuwachs eines Soli-

tärbaumes 1.0 beträgt (also maximal ist) und mit zunehmender Konkurrenz monoton abfällt. Zum anderen handelt es sich um den Zusammenhang zwischen dem mittleren Baumdurchmesser innerhalb eines Bestandes und der Stammzahl (Abb. 1b). Dieser im doppelt logarithmischen System lineare Zusammenhang wird als obere Grenzbeziehung für die Abschätzung der natürlichen Mortalität genutzt. Falls die Dichte eines Waldbestandes diese Grenzlinie übersteigt, setzt der self-thinning-Prozess ein und im Modell wird die Stammzahl in Abhängigkeit von Größe und Zuwachsrate der Bäume so reduziert, dass sie unter dieser oberen Grenzlinie (self-thinning-Linie) bleibt.

Bei den für die Modellparametrisierung verwendeten Versuchsflächendaten handelt es überwiegend um Reinbestände, sodass Mischbeständen zwar aufgrund des räumlich-expliziten Modellcharakters nachgebildet werden können [Ha06; PBD02]. In den bisher verwendeten Modellfunktionen kommt aber nicht in ausreichendem Maße die interspezifische Konkurrenz zwischen Baumarten zum tragen.

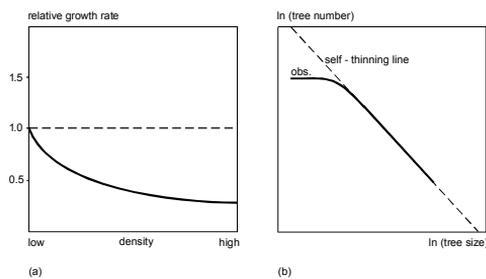


Abbildung 1: Die Zusammenhänge zwischen (a) Zuwachs und Bestandesdichte und (b) Baumzahl und Baumgröße bilden Basisbeziehungen in Einzelbaummodellen.

## 2. Mehr- und Minderzuwächse durch Baumartenmischung

Während die Forstwissenschaft in der Vergangenheit von der Messung bis zur Modellierung stark von den Agrarwissenschaften geleitet und auf Reinbestände konzentriert war, treten in den zurückliegenden Jahren Mischbestände mehr und mehr in den Vordergrund [Va89]. In der Forstwirtschaft resultiert das aus der Erfahrung, dass Mischbestände gegenüber Reinbeständen ein breiteres Spektrum von Wirkungen und Leistungen entfalten, aufgrund der Risikostreuung besser über Kalamitäten hinwegkamen und vermutlich auch besser mit Klimaänderungen zurechtkommen. Das zunehmend differenziertere Verständnis in der Forstwissenschaft fragt vermehrt auch nach zwischenartlicher Konkurrenz und Facilitation, während in der Vergangenheit innerartliche Konkurrenz im Mittelpunkt stand [Ha06].

Die Forstwissenschaft ist von einer übergreifenden Theorie der Mischung von Baumarten zwar noch weit entfernt, viele Einzeluntersuchungen und etliche zusammenfassenden Auswertungen haben in den zurückliegenden Jahren aber deutlich gemacht, dass durch Mischung erhebliche Mehr- und Minderzuwächse von Misch- gegenüber Reinbeständen erzielt werden können. Zusammenfassende Auswertungen zeigen, dass die Volumenzu-

wächse von Misch- gegenüber Reinbestand folgendes Ausmaß annehmen können: Bei Fichte/Buche -20 bis +40 %, Kiefer/Buche -30 bis +40 %, Lärche-Fichte +2 bis +28 %, Fichte-Tanne -20 bis +10 %, Kiefer/Birke bzw. Fichte/Birke -10 bis +15 % und Eukalyptus/Akazie +30 bis +50 %. Demnach liegen die Minder- und Mehrzuwächse in temperierten europäischen Wäldern bei -30 bis +40 % [Pr09]. Solche positiven Interaktionen durch Reduktion der Konkurrenz oder Facilitation sind bisher nicht explizit in Wuchsmodellen enthalten. Es liegen jetzt aber erste baumartenspezifische Auswertungen vor, die es erlauben, solche Effekte zumindest statistisch abzubilden, um auf diese Weise Vorhersagen und Szenarioanalysen für Mischbestände ebenso wirklichkeitsnah zu gewährleisten, wie das bisher für Reinbestände möglich war.

### 3. Abbildung von Mischungseffekten in Bestandessimulatoren

Die Produktivität von Bäumen und Beständen wird durch Baumartenmischung vor allem in zweierlei Hinsicht modifiziert: Zum einen verändert Mischung die Zuwachsrate von Einzelbäumen bzw. die mittlere Zuwachsrate pro Individuum der unterschiedlichen Baumarten. Zum anderen kann die Bestandesdichte durch die Mischung verändert werden, d. h. im Mischbestand können mehr oder weniger Bäume überleben als im Reinbestand. In Einzelbaummodelle können diese zwei genannten Mischungseffekte folgendermaßen integriert werden. Der artspezifische Grundzusammenhang zwischen Zuwachsrate pro Baum und Bestandesdichte, wie er in Abbildung 1 schematisch dargestellt ist, wird modifiziert. Mischung kann den Zuwachs eines Baumes bei gegebener Dichte gegenüber dem Reinbestand erhöhen oder verringern. Die in Einzelbaummodellen prinzipiell als exponentiell fallende Zuwachs-Dichte-Beziehung wird deshalb so modifiziert, dass das ganze Spektrum von positiven bis negativen Abweichungen von der Grundreaktion im Reinbestand abbildbar wird (Abbildung 2).

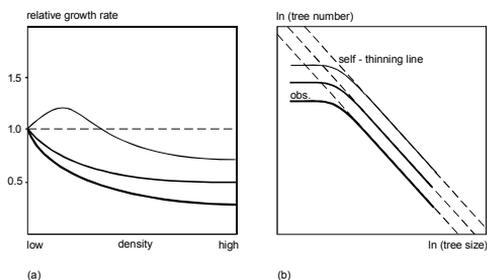


Abbildung 2: Durch Mischung kann (a) der Zuwachs gefördert und (b) die Selbst-durchforstung so vermindert werden, dass die Baum- bzw. Bestandesproduktivität steigt.

Mischung bewirkt häufig aber auch eine Veränderung der Bestandesdichte, die in Einzelbäumen durch die obere Grenzlinie oder self-thinning-Linie (Abbildung 2b) repräsentiert wird. Bei Erhöhung bzw. Erniedrigung der Dichte durch Mischung, erhöht oder erniedrigt sich dann die Anzahl von Bäumen gegebener Größe, die auf einer Einheitsfläche überleben kann. Schematisch dargestellt ist auf Abbildung 2 eine mäßige und starke Erhöhung der Dichte durch Mischung, wie sie beispielsweise bei Mischung aus Fichte und

Buche eintritt, indem vor allem die Buche in Mischbeständen höhere Dichten erreicht als die Fichte und sich dadurch die Bestandesdichte insgesamt erhöht. Solche Zuwachs- und Dichtereaktionen in Mischung lassen sich in Abhängigkeit von den Standortbedingungen statistisch formulieren [Pr09].

#### **4. Simulation und Prognose der Dynamik von Mischbeständen**

Die Integration dieser zwei zentralen Wirkungsmechanismen von Mischung in Einzelbaummodelle ermöglicht die in der Praxis verschiedentlich beobachteten, bisher in Modellen aber nicht ausreichend berücksichtigten Mischungsreaktionen auf Bestandesebene. Solche Mischungsreaktionen verändern häufig nicht nur das Niveau, sondern auch Anstieg, Abfall und Kulminationszeitpunkt der Zuwachskurve auf Bestandesebene. Weiter kann durch Mischung die Höhe des stehenden Vorrates erheblich erhöht werden. Je nach Baumartenkombinationen muss aber auch mit negativen Mischungsreaktionen und Dichtereduktion durch Mischung gerechnet werden. Für die Abbildung in Modellen und die Anwendung in der Praxis sind negative Mischungsreaktionen von ebenso hoher Bedeutung, weil es in der Regel darum geht, solche Mischung zu vermeiden oder so zu steuern, dass Zuwachseinbußen gering bleiben. Durch den Einbau in Einzelbaumsimulatoren werden die auf Individualebene quantifizierten Effekte von intra- und interspezifischer Mischung auf Bestandesebene skaliert und damit auf eine praxisrelevante Ebene gehoben.

Laufende und künftige empirische Untersuchungen zur Mischung von Baumarten werden systematischer, zielorientierter und praxisrelevanter, wenn in diese von vorne herein Überlegungen zur Modellierung und Generalisierung einbezogen werden [Va89]. Schwerpunkte künftiger Mischungsuntersuchungen gehen den Fragen nach (i) wie Mischungseffekte von den baumartenspezifischen physiologischen und morphologischen Merkmalen abhängen, (ii) wie sich intra- und interspezifische Mischungseffekte mit Umweltfaktoren und Ressourcenversorgung verändern und (iii) wie Mischungseffekte durch Bestandesbehandlungen modifiziert werden.

#### **Literaturverzeichnis**

- [Ha06] Hasenauer, H.: Sustainable Forest Management. Growth models for Europe. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2006, 398 S.
- [PBD02] Pretzsch, H., Biber, P., Dursky, J.: The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. FoEcMgm 162, 2002, S. 3-21.
- [Pr09] Pretzsch, H.: Forest dynamics, growth and yield, Springer, Berlin, 2009, 664 S.
- [Va89] Vandermeer, J. (1989): The ecology of intercropping: Cambridge University Press, 1989, 248 S.