

Waldwachstumssimulatoren und Forstliche Nachhaltigkeit

Jürgen Nagel

Abteilung Waldwachstum der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt

EINLEITUNG

2013 feiert die Forstwirtschaft den 300. Jahrestag der Nachhaltigkeit. Das Prinzip wurde zur Leitlinie der deutschen Forstwirtschaft und ist heute auch in vielen anderen Wirtschaftsbereichen ein globales Leitbild für verantwortliches Handeln. 300 Jahre nachhaltiger Waldbewirtschaftung waren stets ein Bemühen, den Wald behutsam dem aktuellen Leitbild anzunähern, denn das Leitbild war einem ständigen Wandel unterzogen. Anfangs ging es „nur“ um eine „continuierliche beständige und nachhaltige Nutzung“ (VON CARLOWITZ 1713). Später wurden durch Taxation, Beobachtungen und Auswertungen Normen für die Waldbehandlung festgelegt, wie wir sie aus den Ertragstafeln kennen. Schließlich wurde der Begriff Nachhaltigkeit um die übrigen Waldfunktionen erweitert und wird heute meist mit dem Drei-Säulen-Modell, welches ökonomische, soziale und ökologische Aspekte berücksichtigt, in Verbindung gebracht. Das Bild vom Wald hat sich im Laufe der Zeit gewandelt: vom lichten laubholzreichen Mittelwald über den ertragreicheren Hochwald mit hohem Nadelholzanteil hin zu strukturreichen Mischwäldern mit höheren Laubholzanteilen.

Zum Erfolg der nachhaltigen Forstwirtschaft in Deutschland haben die ertrags- bzw. waldwachstumskundlichen Versuche und Ergebnisse der deutschen forstlichen Forschungs- und Versuchsanstalten beigetragen. So waren die aus den Versuchsflächendaten abgeleiteten Ertragstafeln im letzten Jahrhundert die entscheidende Planungshilfe für die Einhaltung des Nachhaltigkeitsprinzips. Die meisten Ertragstafeln wurden damals für engbegründete, gleichaltrige und niederdurchforstete Reinbestände im Kahlschlagbetrieb aufgestellt (SCHÖBER 1987). Weitere Verbände, Hochdurchforstung mit gestaffelten Eingriffsstärken sowie der stark angestiegene Stickstoffeintrag haben zu deutlichen Abweichungen des Wachstumsganges der Baumarten von den Ertragstafeln geführt (RÖHLE 1995). So sind heute die in den Tafeln angegebenen Mitteldurchmesser in der Regel zu dünn, die Stammzahlen zu hoch und die Bonitätsrahmen reichen häufig nicht aus. Es werden besonders in jungen Beständen deutlich größere Höhen erreicht als sie durch die I. Ertragsklasse in den Tafeln vorgegeben werden. In der Forsteinrichtung hat man versucht, die Abweichungen durch Korrekturfunktionen und Extrapolationen so gut wie möglich auszugleichen (WOLLBORN UND BÖCKMANN 1998, NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTEN 1998). Die radikale Änderung der waldbaulichen Ziele vom Rein- zum strukturreichen Mischbestand mit Zielstärkennutzung hat Anfang der 90er Jahre dazu geführt, dass sich der Wachstumsgang dieser neuen Waldtypen heute kaum noch mit den Ertragstafeln beschreiben lässt. Darüber hinaus haben PRETZSCH ET AL. (2010, 2013) gezeigt, dass es in Mischbeständen zu positiven und negativen Zuwachseffekten durch die Mischung kommen kann. Inzwischen werden daher von vielen Forstbetrieben Wachstumssimulatoren, wie BWINPro (NAGEL UND SCHMIDT 2006), und Silva (KAHN UND PRETZSCH 1997), für die Planung der heutigen Rein- und Mischbestände eingesetzt, die als Alternative zu den Ertragstafeln entwickelt wurden. Mit den Waldwachstumssimulatoren lassen sich fast alle denkbaren waldbaulichen Maßnahmen simulieren, weil sie das Wachstum einzelner Bäume im Bestand beschreiben. Die große Flexibilität der Simulatoren führt allerdings auch immer wieder zu Irritationen, weil mit ihnen im Gegensatz zu den Ertragstafeln, welche für jedes Alter nur einen Waldzustand empfehlen, viele waldbauliche Handlungspfade möglich sind. In der Praxis wird oft die Frage gestellt, ob denn mit den Wachstumssimulatoren eine nachhaltige Planung möglich ist? Darüber hinaus wird immer wieder der Wunsch nach neuen zeitgemäßen Tafelwerken geäußert. Im Folgenden möchte ich am Beispiel der Waldwachstumssimulatoren ForestSimulator und WaldPlaner erläutern (NAGEL ET AL. 2006, HANSEN 2012), dass beide für eine nachhaltige Planung gut geeignet sind.

NACHHALTIGE PLANUNG MIT EINEM SIMULATOR

Die heutigen waldbaulichen Ziele, strukturreiche und ungleichaltrige Mischbestände zu erreichen, machen eine nachhaltige Planung wesentlich komplexer, als in der Vergangenheit die Bewirtschaftung gleichaltriger Reinbestände war. Mit den beiden Waldwachstumssimulatoren ForestSimulator und WaldPlaner können derartig differenzierte Bestände abgebildet werden. Beide Programme greifen auf das waldwachstumskundliche Softwarepaket TreeGrOSS (Tree Growth Open Source Software) zu. TreeGrOSS ist eine Java Programmibliothek, mit der das baumartenspezifische Wachstum von einzelnen Bäumen im Bestand unter Berücksichtigung von Nachbarschafts- und Konkurrenzverhältnissen geschätzt und die wichtigsten waldbaulichen Eingriffe abgebildet werden können (DUDA 2006, NAGEL 2009). Mit dem ForestSimulator lassen sich einzelne Waldbestände und mit dem WaldPlaner ganze Forstbetriebe in ihrer Entwicklung fortschreiben. Die Programme können für kurzfristige Prognosen, wie sie für die 10-jährige Forsteinrichtungsplanung notwendig sind, und für längerfristige

Trendanalysen eingesetzt werden. Letztere sind für die Festlegung waldbaulicher Richtlinien hilfreich. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, waldbauliche Behandlungsprogramme daraufhin zu überprüfen, ob mit diesen die jeweiligen Zielvorstellungen erreicht werden können.

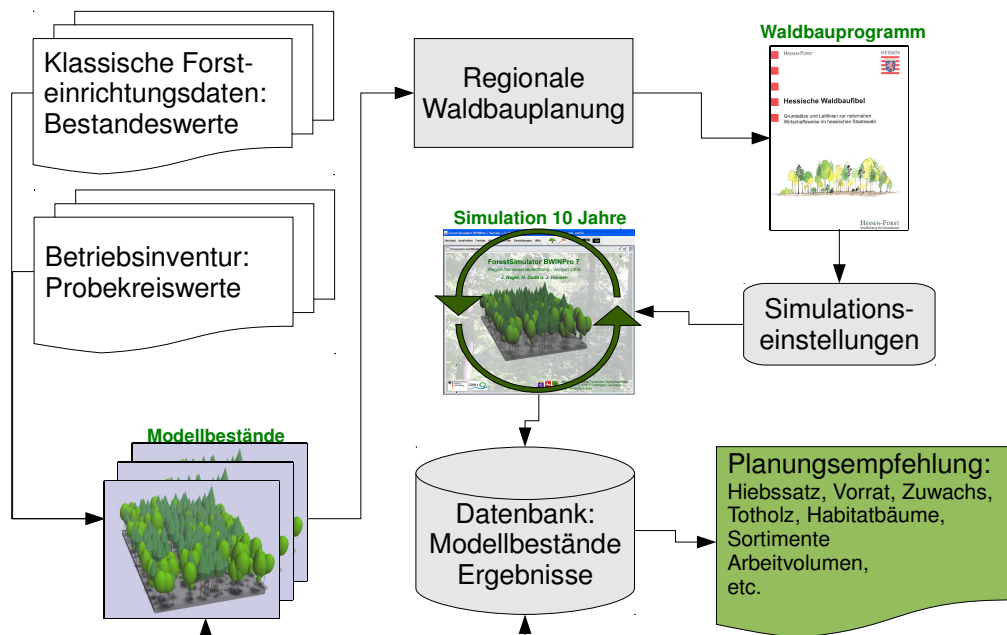


Abb. 1: Forsteinrichtungsplanung mit Waldwachstumssimulatoren.

Abb. 1 zeigt das Ablaufschema einer Forsteinrichtungsplanung mit einem Waldwachstumssimulator. Für die Simulation muss für jede Fläche bzw. jeden Stichprobenpunkt zuerst ein Modellbestand aufgebaut werden, weil der Simulator im Gegensatz zu den Ertragstafeln das Wachstum einzelner Bäume simuliert und keine Bestandeswerte fortschreibt. Dazu sind im Programmpaket TreeGrOSS Funktionen enthalten, die aus klassischen Forsteinrichtungsdaten oder Probekreiswerten der Betriebsinventur Modellbestände erzeugen. Diese Modellbestände lassen sich für die Simulation verschiedener waldbaulicher Szenarien nutzen und sollten daher gespeichert werden. Waldbauliche Szenarien sind gewissermaßen ein synonym für genauer beschriebene Leitbilder, wie sie zum Beispiel in den Niedersächsischen Merkblättern für die Waldentwicklungstypen (WET) oder der Hessischen Waldbaufibel überwiegend verbal niedergelegt sind (HESSEN-FORST 2008). Vor jeder Simulation muss der Nutzer für jeden Modellbestand ein Leitbild definieren. Im Fall der Forsteinrichtungsplanung wird sich das Leitbild an der regionalen Waldplanung orientieren, in der für den jeweiligen Standort verschiedene Waldentwicklungstypen vorgeschlagen werden und normalerweise derjenige ausgewählt wird, der am besten mit dem vorhandenen Bestand korrespondiert. Für die Simulation können im WaldPlaner waldbauliche Handlungsanweisungen gespeichert und im ForestSimulator in einer Maske hinterlegt werden. Im Einzelnen lassen sich in beiden Programmen folgende Anweisungen festlegen:

- Baumarten und deren Anteilflächen
- Angestrebte Z-Baumzahlen und Zieldurchmesser
- Erschließungslinien (Rückegassen: Breite und Abstand)
- Durchforstung (Art, Stärke, Beginn und Wiederholung)
- Holzernte (Zielstärke, Schirmschlag und Kahlschlag)
- Räumen der Fläche
- Pflanzungen (Arten und Anteile)
- Habitatbäume schützen (Anzahl und Arten)
- Mindestbestockung

Durch die Einstellung der Mischungsanteile, der Z-Baumzahlen und der Zieldurchmesser wird bestimmt, wie sich der Bestand in der Simulation entwickeln soll. Mit Hilfe dieser Einstellungen ist es zum Beispiel möglich, einen Fichten-/Buchenbestand langfristig im Rahmen einer Z-Baum orientierten Auslesedurchforstung in einen reinen Buchenbestand zu überführen. Dies geschieht indem nur Buchen als Z-Bäume im Simulator markiert und dann im Zuge der Durchforstungen freigestellt werden. Die Fichten werden dann entnommen, wenn sie Buchen Z-Stämme

bedrängen oder wenn sie die Zielstärke erreichen. Die Durchforstungsstärke wird im Simulationsmodell relativ zur maximalen Grundfläche für bestimmte Höhenbereiche einer Baumart definiert. Dadurch ist es möglich, den Bestand wie bei einer gestaffelten Durchforstung in der Jugend stark und im Alter bzw. bei größerer Höhe weniger stark zu durchforsten oder sogar eine Hiebsruhe zu simulieren. Die Holzernte beginnt, sobald im Falle der Zielstärkenutzung ein Baum einen BHD größer als die Zielstärke hat, dabei kann der Benutzer die Erntemenge limitieren. Schirmschlag und Kahlschlag werden dann aktiviert, sobald ein gewisser Anteil der Z-Bäume die Zielstärke überschritten hat. Ist ein Bestand vollkommen unterbestockt, so kann als Randbedingung ein minimaler Kronenschlussgrad vorgegeben werden, ab dem der Bestand geräumt und gleichzeitig neu bepflanzt wird. Schließlich ist es möglich, in der Simulation auch Naturschutzaspekte durch die Auswahl von Habitatbäumen, eine geforderte minimale Bestockung und die Förderung seltener Arten zur berücksichtigen.

BEWERTUNG DER NACHHALTIGKEIT

Der Simulator wandelt also automatisch den Modellbestand in das vorgegebene Leitbild über die Zeit um. Er gleicht Unterbestockung dadurch aus, dass keine Durchforstungseingriffe vorgenommen werden oder bei einer extremen niedrigen Bestockung die Fläche neu bepflanzt wird. Bei einer Überbestockung wird in die Bestände stärker eingegriffen und die Bestandesdichte über mehrere Simulationsschritte der gewünschten Dichte angenähert. Im Falle einer Fehlbestockung wird diese zunächst in die Zielstärke geführt und dann der Bestand im Zuge der Nutzung umgebaut: Dieses Vorgehen entspricht der Praxis, weil man im realen Betrieb einen 40-jährigen Kiefernbestand auch nicht kahl schlagen würde, nur weil die Waldbauplanung auf diesem Standort vielleicht die Eiche vorsieht.

Aus der Simulation können die Nutzungsmassen nach Alters- bzw. Durchmesserstufen getrennt aufsummiert und mit Hilfe eines Sortierungsmoduls die Holzmenge für definierte Sortimenten berechnet werden. Der Zuwachs ergibt sich aus dem Vorrat am Ende des simulierten Zeitraums minus dem Vorrat am Anfang der Periode plus die Nutzungsmassen und das Volumen der absterbenden Bäume. Für die Bewertung der Nachhaltigkeit lässt sich für jeden Modellbestand ermitteln, ob er über- oder unterbestockt ist, und zu welchem Grad er mit dem Leitbild übereinstimmt. Der Simulator und das eingestellte Leitbild definieren also die Norm, wie nachhaltig die für die Modellbestände vorgegebenen Leitbilder erreicht werden können. Ein Vergleich mit einer idealisierten Norm, wie dem Normalwaldmodell für Reinbestände oder den Plenterwaldkurven, ist zur Zeit nicht möglich und erscheint nicht zielführend, weil sich die Leitbilder nach der Erfahrung der vergangenen 300 Jahren immer wieder ändern und ein derartiger idealisierter Zustand mehr von theoretischem als praktischem Interesse ist. Es lassen sich aber sehr wohl die langfristigen Auswirkungen der unterstellten waldbaulichen Strategien auf den Betrieb untersuchen, wenn die Simulationen für längere Zeiträume (ca. 40 bis 80 Jahre) durchgeführt werden. Mit Hilfe solcher Simulationen kann man unter anderem zukünftige Versorgungslücken bei ungleichaltrigem Altersaufbau erkennen und daraus Maßnahmen ableiten, indem man zum Beispiel die Zielstärke für die betroffenen Baumarten geringfügig verändert. Eine Analyse von Simulationsläufen mit leicht veränderten waldbaulichen Vorgaben kann dazu beitragen, dass bei der Festlegung der Hiebssätze zwischen Forstplanung und Forstbetrieb schneller ein Konsens gefunden werden kann.

Die Simulation der Modellbestände auf der Basis von einzelnen Bäumen bietet darüber hinaus viel mehr Informationen als die Planung mittels Ertragstabellen. Für jeden Baum eines Modellbestands sind seine Dimensionen bekannt und man weiß für die ausscheidenden Bäume, wann sie genutzt bzw. abgestorben sind. Kombiniert man diese Informationen mit Aufarbeitungsszenarien, in denen Angaben zu Sortimenten und Arbeitsverfahren hinterlegt werden, so kann man viele weitere Nachhaltigkeitsindikatoren daraus berechnen, wie zum Beispiel:

- Totholzmenge
- Anzahl und Fläche der Habitatbäume
- Arbeitsstunden
- Maschinenstunden
- Entnommene Biomasse
- Entzogene Nährstoffe
- Betriebswert

LANGFRISTIGE SIMULATIONEN

Die Diskussion um forstliche Leitbilder ist heute mehr denn je durch Verbände und Gesellschaft geprägt. Häufig fehlt diesen das notwendige Wissen, dass die von ihnen angestrebten Leitbilder nicht erreichbar sind oder zu negativen Auswirkungen für die Betriebe aber auch für die zu schützenden Habitate führen können. Mit Hilfe von

langfristigen Simulationen ist es möglich, die Erreichbarkeit von Leitbildern zu prüfen. Abb. 2 zeigt beispielhaft für einen Eichen-Buchen-Mischbestand, wie sich dieser über 200 Jahren entwickeln würde, wenn statt Zielstärkennutzung der Bestand im Schirmschlag verjüngt würde. Bei der Zielstärkennutzung könnte sich die Eichenverjüngung mangels Licht nicht ausreichend unter der Buche entwickeln, was zu einem fast reinem Buchenbestand führte. Mit einem Schirmschlag ließen sich die Eichen dagegen verjüngen.

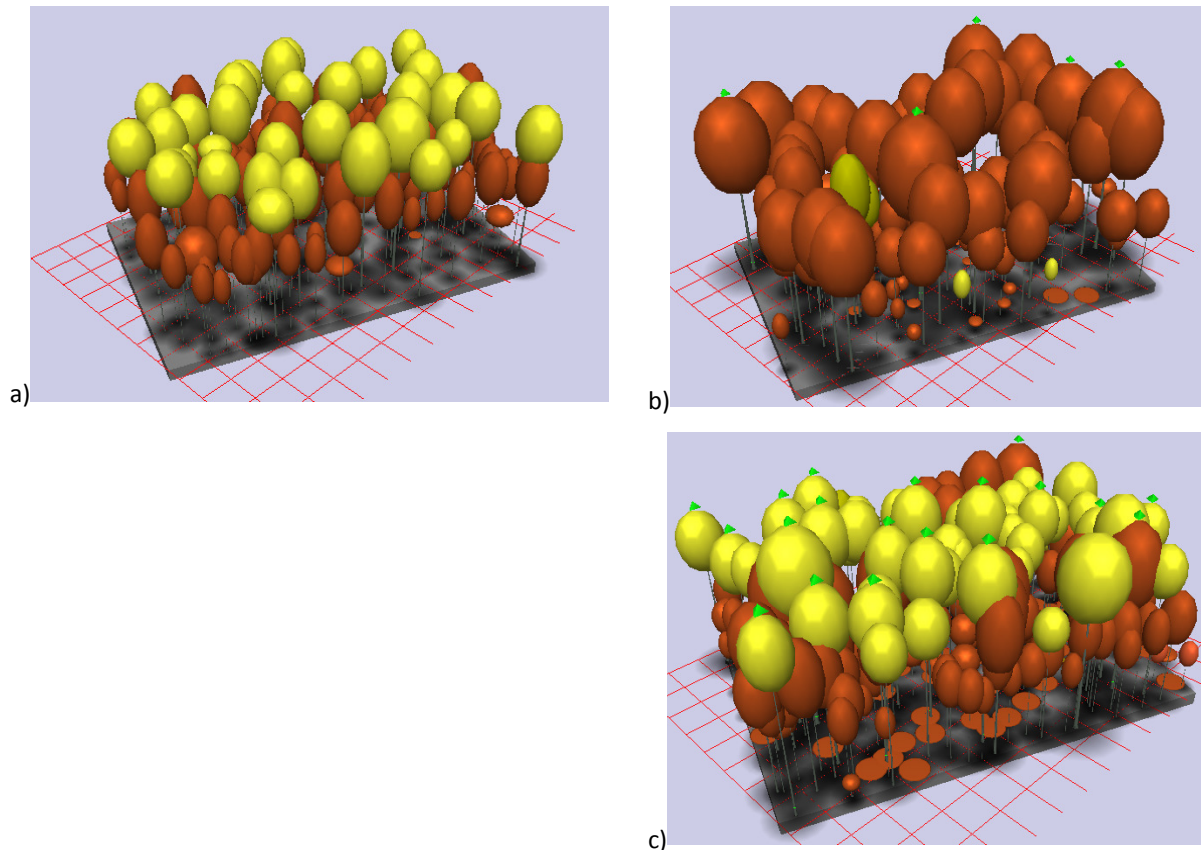


Abb. 2: Langfristige Simulation der Versuchsfläche Weilburg 1087B1 über einen Zeitraum von 200 Jahren. a) Ausgangszustand Eiche gelb, Buche braun; b) Zielstärkennutzung; c) Schirmschlag

GÜTE DER VORHERSAGEN

Der Einsatz der Simulatoren setzt voraus, dass die integrierten Wachstumsmodelle für den zu planenden Betrieb gültig sind. Daher ist es immer wieder nötig, die Ergebnisse aus den Simulationen mit der Realität zu vergleichen. In den Niedersächsischen Landesforsten wird im Rahmen der Forsteinrichtung eine Betriebsinventur auf festen Probekreisen durchgeführt, und für die meisten Forstämter liegt inzwischen eine wiederholte Stichprobenaufnahme vor. Diese Daten eignen sich gut, die Simulationen mit den Programmen zu überprüfen. Über 3500 terrestrische Probekreise wurden mit dem ForestSimulator fortgeschrieben und die Abweichungen zu den gemessenen Zuwächsen nach Baumarten und Altersklassen analysiert. Für die von Buchen und Fichten dominierten Bestände ergaben sich Abweichungen von unter 0,2 m³ pro Hektar und Jahr. Die Eichenbestände wurden in ihrem Wachstum leicht unter- und die Kiefernbestände leicht überschätzt. Die Abweichungen waren über alle Altersklassen konstant. Dies gilt auch für den Bereich der ersten und zweiten Altersklasse bei Buche und der ersten Altersklasse bei Fichte, deren Zuwachs mit den Ertragstafeln völlig unterschätzt wird. Derartige Untersuchungen lassen sich jedoch nicht auf jede Region verallgemeinern, deshalb ist es notwendig, die Simulationen an den realen Verhältnissen zu überprüfen. Im Rahmen der betrieblichen Forsteinrichtung haben dafür wiederholte Stichprobenaufnahmen einen hohen Stellenwert. Die Simulation auf der Basis von Inventurdaten dürfte darüber hinaus genauer sein, als diejenige die mit Hilfe klassischer Forsteinrichtungsdaten durchgeführt wird. Bei langfristigen Simulationen ergeben sich die größten Unsicherheiten durch die Schätzung des Einwuchses und bei der Zuwachsprognose von Bäumen, deren Dimensionen im Extrapolationsbereich der Modelle liegen. Letzteres ist bei den Habitatbäumen besonders problematisch, wenn den Durchmesserbereich von 80 bis 100 cm überschreiten.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mit den heutigen Waldwachstumsmodellen lässt sich eine moderne nachhaltige Forsteinrichtungsplanung durchführen, die sich an den heutigen Leitbildern orientiert und nicht an Ertragstafeln, die für niederdurchforstete Reinbeständen gelten. Es ist dabei zu beachten, dass das Wachstumsmodell und das waldbauliche Leitbild die Norm setzen. In der Simulation wird der Wald behutsam dem Leitbild automatisch angenähert. Auf klassische Hiebssatzweiser, die einen idealisierten Waldaufbau wie das Normalwaldmodell unterstellen, muss man verzichten. Dafür lässt sich aber für jeden Bestand feststellen, ob er über- oder unterbestockt ist und zu welchem Grad er dem Leitbild entspricht. Mit Hilfe von längerfristigen Simulationen können betriebliche Versorgungslücken aufgedeckt werden. Langfristige Simulationen sind grundsätzlich dazu geeignet, Leitbilder auf ihre Erreichbarkeit zu überprüfen. Sie können aber nur Trends deutlich machen, weil der Fehler mit zunehmender Simulationslänge steigt, und je nach Leitbild Szenarien simuliert werden, die im Extrapolationsbereich der Modelle liegen. Darüber hinaus fehlen zur Zeit noch qualitativ hochwertige Modelle, mit denen sich der Einwuchs oder die Verjüngung in Abhängigkeit des Standortes und der Bestockung schätzen lässt.

Ein großes Problem bei der Anwendung der Waldwachstumssimulatoren ergibt sich aus der Tatsache, dass für steuerliche Erhebungen und Waldbewertungen die Verwendung der Ertragstafel vorgeschrieben ist. Diese Praxis ist dringend reformbedürftig und sollte seitens der Forsteinrichtung, den Verwaltungen und der Politik geändert werden.

LITERATUR

- VON CARLOWITZ, H. (1731): *Sylvicultura Oeconomica*, Hrsg.: Bendix, B.: (2009) Reprint der zweiten Auflage von 1732, Reihe „Forstliche Klassiker“, Verlag Kessel Remagen-Oberwinter,
- DUDA, H.: (2006): Vergleich forstlicher Managementstrategien. Umsetzung verschiedener Waldbaukonzepte in einem Waldwachstumssimulator. Dissertation Uni Göttingen. Books on Demand GmbH, Norderstedt, 182 S.
- HANSEN, J. H. (2012): Modellbasierte Entscheidungsunterstützung für den Forstbetrieb. Optimierung kurzfristiger Nutzungsoptionen und mittelfristiger Strategien unter Verwendung metaheuristischer Verfahren und parallelen Rechnens. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität in Göttingen. Cuvillier Verlag Göttingen, 228 S. (<http://www.cuvillier.de/flycms/de/html/30/-UickI3zKPS3wc0k=/Buchdetails.html>)
- HESSEN-FORST (2008): Hessische Waldbaufibel, Landesbetrieb Hessen-Forst, Kassel
- KAHN, M., PRETZSCH, H., (1997): Das Wuchsmodell SILVA - Parametrisierung der Version 2.1 für Rein und Mischbestände aus Fichte und Buche. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, **169** (6/7), S. 115-123
- NAGEL, J.; SCHMIDT, M. (2006): The Silvicultural Decision Support System BWINPro. In Hasenauer, H. (Ed.) *Sustainable Forest Management, Growth Models For Europe*, Springer, Berlin, Heidelberg. 59-63. , ISBN-10 3-540-26098-6
- NAGEL, J.; DUDA, H.; HANSEN, J. (2006): Forest Simulator BWINPro7. *Forst u. Holz*, 61. Jg., 427-429
- NAGEL, J. (2009): Waldwachstumssimulation mit dem Softwarepaket TreeGrOSS – Neuerungen, Erweiterungsmöglichkeiten und Qualitätsmanagement. In: Römisch, K.; Nothdurft, A.; Wunn, U. (Hrsg.): Tagungsband der gemeinsamen Jahrestagung der Sektion Forstliche Biometrie und Informatik im DVFFA (20. Tagung) und der AG Ökologie u. Umwelt in der Intern. Biometr. Gesell., 22.-24.09.2008 in Freiburg. Die Grüne Reihe, 174-178
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTEN (1998): *Hilfstafeln für die Forsteinrichtung*, Ausgabe 1987 Druck 7/98.
- Pretzsch, H.; Bielak, K.; Block, J.; Bruchwald, A.; Dieler, J.; Ehrhart, H.-P.; Kohnle, U.; Nagel, J.; Spellmann, H.; Zasada, M.; Zingg, A. (2013): Productivity of mixed versus pure stands of oak (*Quercus petraea* (Matth.) Liebl. and *Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) along an ecological gradient. *Eur. J. Forest Res.*, 132. Jg., 163-280 (doi: 10.1007/s10342-012-0673-y)
- 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. *Ann. For. Sci.*, Vol. 67, No. 712 (doi: 10.1051/forest/2010037)
- RÖHLE, H. (1995): Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern. *Mitt. aus der Staatsforstverwaltung Bayerns*. Heft 48, 272S
- SCHOBER, R. 1987: *Ertragstafeln wichtiger Baumarten*. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M.
- WOLLBORN, P.; BÖCKMANN, T. (1998): Ein praktikables Modell zur Strukturierung des Vorrats aus Ertragstafelschätzungen, *Forst und Holz*, 53.Jg., Nr.18, S.547-550