



DEUTSCHER VERBAND  
FORSTLICHER FORSCHUNGSANSTALTEN

**Sektion Ertragskunde**

2014

# Tagungsbericht



Jahrestagung  
02. - 04. 06. 2014  
Lenzen an der Elbe

Brandenburg

# Einsatz des Wachstumssimulators SILVA zur Entwicklung von Durchforstungsrichtlinien

Ralf Moshhammer und Hans Pretzsch

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TU München

## Zusammenfassung

Mit dem einzelbaumbasierten Wuchsmodell SILVA können die Reaktionen auf Durchforstungsmaßnahmen und die daraus resultierenden Entwicklungsgänge unterschiedlicher Teilkollektive in einem Bestand differenziert nachvollzogen werden. Auf Grund dieser Möglichkeit sind Szenarioanalysen mit SILVA ein wichtiger Baustein bei der Entwicklung der neuen Behandlungskonzepte für Fichte, Buche und Kiefer im Unternehmen Bayerische Staatsforsten AÖR geworden. Dabei folgen die Entwicklungen der neuen Richtlinien und der damit verbundene Einsatz des Wachstumsmodells immer dem gleichen Schema. Wichtige Punkte sind hierbei unter anderem die Generierung verschiedener Startzustände sowie die Definition von Wuchsleistungsniveaus und unterschiedlicher Varianten. Während des gesamten Prozesses spielen Realdaten aus dem langfristigen Versuchswesen und den Forstinventuren eine wichtige Rolle. Die Simulationen liefern vielschichtige Informationen, mit denen Zielkonflikte und Handlungsspielräume aufgezeigt werden können. Besonders hervorzuheben ist die große Transferleistung von der Wissenschaft in die Praxis, durch die Einbindung von Wachstumsmodellen in die Entwicklung neuer Bewirtschaftungsrichtlinien. In den Modellen implementierte Forschungsergebnisse werden Bestandteil der Richtlinien und werden somit dauerhaft und großflächig im praktischen Forstbetrieb angewendet.

## Abstract

Based on simulations with the single tree based forest growth model SILVA it is possible to analysis the reactions on different thinning regimes and as a result of that the development of different stem collectives within forest stands. On account of these possibilities scenario simulations with SILVA became an important component of developing new management guidelines for spruce, beech or pine dominated stands of Bavaria State Forest Enterprise. In doing so the developments of the new guidelines all followed a common scheme. Therefore important items are generating different starting situations, defining growing conditions and a set of variable scenarios. All over the development process real data from long term experimental plots as well as from forest inventories play an important role. The simulation runs providing multi-faceted information by which conflicts of interests and scopes of action can be pointed out. The great knowledge transfer from science into practical field by implementing forest growth models into the development of new management guidelines must be emphasized. Forest growth models containing results from forest science of the last decades and so this knowledge becomes part of the guidelines and will be used lastingly in daily forest business.

## 1 Einleitung

Wachstumsmodelle wie BWIN(Pro)/TreeGROSS (Nagel, 1999), PROGNAUS (Sterba et al., 1995), MOSES (Hasenauer, 1994) oder SILVA (Pretzsch, 2001) beinhalten die Ergebnisse ertragskundlicher Forschungen der letzten Jahrzehnte. Die Anwendung solcher Modelle in der forstlichen Praxis bedeutet also den Transfer dieser wissenschaftlichen Erkenntnisse in den laufenden Forstbetrieb. Wenn die Modelle dazu verwendet werden, großflächig gültige Durchforstungsstrategien und –leitlinien auszuarbeiten, ist die Transferleistung besonders groß, da die wissenschaftlichen Erkenntnisse nicht nur einen Einzelfall beeinflussen, sondern auf der Ebene des Forstbetriebs und der Waldlandschaft dauerhaft umgesetzt werden.

Im Unternehmen Bayerische Staatsforsten AÖR (BaySF) wurden im Laufe der letzten Jahre neue Richtlinien für die Bewirtschaftung von Fichten-, Buchen und Kiefernbeständen erstellt und in der Praxis umgesetzt. Neben zahlreichen weiteren betrieblichen Aspekten, ist ein Kerngedanke von allen drei neuen Pflegekonzepten die Sicherstellung von kontinuierlichen, nachhaltigen Nutzungen bei Erhalt der potenziellen Zuwachsleistung der Bestände. Längere Zeiträume (<10 Jahre) ohne aktive Nutzungen in einem Bestand gilt es hierbei zu vermeiden. Auf dem Weg zur Erreichung vorgegebener, standortsabhängiger Einzelstammzieldimensionen müssen hierfür bestimmte Entwicklungskorridore von Vorrat und Grundfläche eingehalten werden.

Letztendlich setzt dies jeweils eine, unter diesen Gesichtspunkten, möglichst optimale Kombination von Nutzungsintervall, Nutzungsintensität und laufendem Zuwachs über einen Produktionszeitraum hinweg voraus. Ein sehr komplexes Wirkgefüge, welches sich mit statischen Methoden, wie Vergleichen von Daten aus Versuchsanlagen oder forstlichen Stichprobeninventuren, nicht beherrschen lässt. Mit dem einzelbaumbasierten Wuchsmodell SILVA können Reaktionen auf Durchforstungsmaßnahmen und die daraus resultierenden Entwicklungsgänge unterschiedlicher Teilkollektive in einem Bestand differenziert über lange Zeiträume nachvollzogen werden. Also genau die oben formulierte Problemstellung. In kurzer Zeit lassen sich mit dem Wuchsmodell zahlreiche Szenarien simulieren und analysieren. Neben den oben genannten Parametern Nutzungsintervall und Nutzungsintensität lassen sich natürlich auch die Rahmenbedingungen der Szenarien, wie die Startwerte der Ausgangsbestände oder die standörtliche Gegebenheiten variieren. Die laufenden Zuwächse bzw. die Gesamtwuchsleistungen sind dann ein Resultat dieser Kombinationen. Aufgrund dieser Möglichkeit wurden Szenarioanalysen mit SILVA ein wichtiger Baustein bei der Entwicklung der neuen Behandlungskonzepte für Fichte, Buche und Kiefer in den Bayerischen Staatsforsten AÖR.

## **2 Material & Methoden**

### **2.1 Das Wuchsmodell SILVA**

Bereits seit Anfang der neunziger Jahre laufen am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München die Entwicklungsarbeiten am Waldwachstumsmodell SILVA. Mit diesem computergestützten Wuchsmodell ist es möglich, die Entwicklung von Waldbeständen auf der Grundlage des Wachstums von Einzelbäumen für Rein- und Mischbestände zu prognostizieren. Die Wachstumsfunktionen im Wuchsmodell sind aus dem umfangreichen Datenpool des langfristigen Bayerischen Ertragskundlichen Versuchswesens in Verbindung mit weiteren Daten aus Deutschland und Europa abgeleitet worden (Pretzsch, 2001).

SILVA simuliert das Baumwachstum aufgrund von Standortvariablen und der Konkurrenzsituation, die im Computer für jeden einzelnen Baum eines virtuellen Bestandes berechnet werden. Sein Wachstum wird also durch die Umweltvoraussetzungen und seine räumlichen Wuchskonstellation bestimmt (Kahn u. Pretzsch, 1997a, 1997b; Pretzsch u. Dursky, 2001). Da für jeden Baum dessen Position, die Höhe, der Brusthöhendurchmesser und seine Kronenmaße bekannt sind oder im Programm wirklichkeitsnah ergänzt werden, erlaubt SILVA virtuell waldbauliche Eingriffe durchzuführen.

Mit Hilfe von waldwachstumskundlichen Simulationsmodellen wie SILVA ist es heute möglich, die Auswirkungen verschiedener Eingriffsvarianten zu simulieren. Auf diese Weise erhält man Information darüber, welche Bäume zu welchen Zeitpunkten ausscheiden und welche im Bestand verbleiben. Zudem kann man quantitative Aussagen über die Entwicklung von Teilkollektiven eines Bestandes, wie zum Beispiel besonders geförderten Z-Stämmen, machen. Aus diesen Informationen lassen sich Kenngrößen ableiten, anhand derer sich unterschiedliche Szenarien vergleichen lassen.

### **2.2 Entwicklung einer neuen Behandlungsrichtlinie**

Die Entwicklung der neuen Richtlinien bei BaySF muss man in diesem Zusammenhang aus zwei unterschiedlichen Perspektiven betrachten. Zum einen die Grundkonzeptionen aus betrieblicher Sicht, zum anderen die simulations-technischen Verfahrensschritte.

Schon vor Beginn des ersten neuen Richtlinienentwurfs für die Baumart Fichte gab es festgeschriebene betriebliche Leitsätze, denen sich die neuen Behandlungskonzepte unterordnen mussten. Ohne hier weiter ins Detail zu gehen, lassen sie sich im Grundsatz mit den Begriffen „Naturnähe“, Nachhaltigkeit“ und „Wirtschaftlichkeit“ charakterisieren. Darüber hinaus ergeben sich auch aus der dem Betrieb eigenen Organisationsstruktur Zwänge. Folgende grundsätzlichen Ziele standen daher aus betrieblicher Sicht schon vorher fest:

Umbau von monotonen Altersklassenwäldern hin zu strukturreichen, standortangepassten Mischbeständen mit dauerwaldartigen Strukturen. Dabei muss das Erreichen einer hohen Gesamtwuchsleistung ein wichtiges Kriterium sein. Das setzt voraus, dass Zuwachseinbußen, z.B. durch starke Grundflächenreduktionen, vermieden werden. Auf der anderen Seite ist der Betrieb auf regelmäßige, wirtschaftliche Nutzungen angewiesen. Dazu gehört auch die Vorgabe von Zieldimensionen, Zielvorräten und Produktionszeiträumen. Für ein Unternehmen wie die BaySF mit fast 2700 Beschäftigten und einer bewirtschafteten Fläche von 850.000 Hektar (BaySF, 2013) ist aber auch

von entscheidender Bedeutung, dass neue Richtlinien an die Praktiker vor Ort schnell, effizient und verständlich vermittelt werden können. Daher sollten die Behandlungskonzepte für die Hauptbaumarten einem einheitlichen Grundschema folgen.

Die Simulationen mit dem Wuchsmodell SILVA als Bestandteil der Entwicklung neuer Behandlungs- und Pflegerichtlinien für die Baumarten Fichte, Buche und Kiefer folgen alle dem gleichen Grundschema (Abb. 1). Am Anfang steht ein erster Entwurf der neuen Richtlinie. Bezüglich der darin angestrebten Zielprodukte muss zuerst hinterfragt werden, inwieweit sie realistisch sind, vorrangig unter waldwachstumskundlichen, gegebenenfalls bis zu einem gewissen Grad auch unter holztechnologischen Aspekten (s.a. Bücking et al., 2007). Hierfür werden real



Abb. 1: Verfahrensschritte zur Entwicklung einer neuen Durchforstungsrichtlinie mit Hilfe von Modellrechnungen (von oben nach unten).

gemessene Daten aus dem langfristigen Versuchswesen in Kombination mit Daten aus den Betriebsinventuren herangezogen. Die Versuchsdaten liefern hierbei mit hoher Präzision konkrete Einzelfälle und echte Zeitreihen; mit den Inventurdaten lassen sich großflächige, überregionale Betrachtungen anstellen. Im nächsten Schritt muss geklärt werden, ob das Wachstumsmodell hinsichtlich seiner Parametrierung geeignet ist, das angedachte Behandlungskonzept zu simulieren. Wenn ein Durchforstungskonzept zum Beispiel so starke Freistellungen vorsieht, dass die Konkurrenzsituation der Zielstämme phasenweise der von Solitär-bäumen entspricht (Bsp. Wilhelm und Rieger, 2013), sind derartige Verhältnisse in den klassischen forstlichen Versuchsdaten nicht abgedeckt und somit das Modell in der Regel dafür auch nicht geeignet. In diesem Fall muss eine neue bzw. erweiterte Parametrierung des Wuchsmodells erfolgen.

Die ersten Konzeptentwürfe seitens der forstlichen Praktiker sind in deren Terminologie und meistens auch noch nicht sehr detailliert verfasst. Für die Simulation von Szenarien mit SILVA muss das Konzept zuerst konkretisiert werden, also exakte Zahlenwerte anstatt Spannweiten oder qualitative Aussagen. Dieser Schritt muss unbedingt in enger Zusammenarbeit mit den Praktikern erfolgen, da sonst die Gefahr besteht, dass seitens der Wissenschaft (falsche) Interpretationen erfolgen. Zudem erhöht es die Akzeptanz der Ergebnisse der Modellrechnungen, wenn bei den Eingabedaten ein Konsens besteht. Ausgehend von einem Basisszenario können dann Varianten entwickelt werden. Diese können das Behandlungsschema als solches, aber auch die Ausgangswerte auf Bestandesebene betreffen. Jede Simulation mit SILVA stellt aus forstbetrieblicher Sicht eine Idealfall-Simulation dar, da es in der Modellrechnung keine abiotischen Risiken gibt, also keinen Borkenkäfer, keinen Wind etc. Die Simulationsläufe der eingesteuerten Szenarien werden unter waldwachstumskundlichen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten ausgewertet und grafisch aufbereitet. Diese Auswertungen stellen die Grundlage für die Diskussionen in der Arbeitsgruppe dar. Als Ergebnis der Diskussionen wird der aktuelle Entwurf überarbeitet, angepasst und weiter konkretisiert um darauf aufbauend weitere Modellrechnungen durchzuführen. Die Schritte „Konkretisierung des Konzeptes“, „Idealfall-Simulation und Auswertung“ und anschließende Diskussion werden in einer Schleife vielfach durchlaufen, bis hin zur finalen Richtlinie für eine Baumart. Anschließend besteht die Möglichkeit der Umsetzung der neuen Richtlinie in Szenarioanalysen auf Betriebs- oder Landschaftsebene, z.B. um Darzustellen, in welcher Größenordnung sich welche Veränderungen bei einer großflächigen Umsetzung ergeben.

### 2.3 Entwicklung von Simulations-Szenarien

Welche Szenarien für die Entwicklung einer neuen Behandlungsrichtlinie notwendig oder hilfreich sind, hängt von möglichen Wuchsbedingungen, typischen Bestandestypen und natürlich den Zielsetzungen



und Fragestellungen der Richtlinie selbst ab. Im Falle der BaySF sind neben dem langfristigen Versuchswesen in Bayern vor allem die Daten der forstlichen Stichprobeninventuren, die regelmäßig seit den 1980er Jahren auf Betriebsebene erhoben werden, eine wichtige Informationsquelle.

Das Wachstum unserer Baumarten hat sich in den letzten Jahrzehnten verändert (Pretzsch et al., 2014). Für Fichte (Pretzsch und Utschig, 2000) und Kiefer (Küstners et al., 2004) ist dies in Bayern sehr genau untersucht und belegt worden. Die Werte in den Ertragstafeln, immer noch ein wichtiges Hilfsmittel für die Praktiker vor Ort, treffen also in weiten Bereichen nicht mehr zu. Auf der anderen Seite spielt der Zuwachs in den neuen Richtlinien für die BaySF eine zentrale Rolle. Mit welchen Wachstumstrends und Zuwachsniveaus regional zu rechnen ist, lässt sich gut anhand der Betriebsinventuren darstellen.

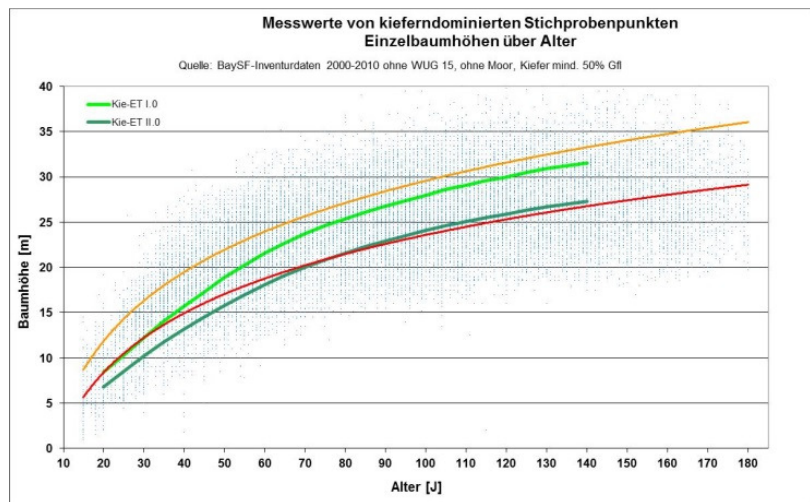


Abb. 2: Einzelbaum-Messwerte Kiefer Höhe über Alter aus der BaySF-Betriebsinventurdatenbank (keine Daten aus den Bay. Alpen oder mit Standortskennung „Moor“) mit Trendlinien für alle Werte bei Bonität 1.5 und besser (orange) und schwächer als 1.5 am Inventurpunkt. Als Vergleich die Alters-Höhenkurven gemäß Ertragstafel Wiedemann 1943, Bonität 1.0 (hellgrün und 11.0 (dunkelgrün).

Am Beispiel von Höhenmesswerten einzelner Kiefern aus den Stichprobeninventuren wird dies in Abbildung 2 veranschaulicht. Die Punktwolke beinhaltet rund 50.000 Höhen-Alters-Beziehungen von Einzelbäumen aus von Kiefern dominierten Beständen (Grundflächenanteil >50%). Es wurde eine Trendlinie (rot) für alle Werte aus Beständen mit einer Bonität 1.5 oder schwächer und eine zweite Trendlinie (orange) für alle Werte aus Beständen mit einer Bonität besser als 1.5 eingefügt. Die grünen Linien stehen für die Alters-Höhen-Beziehungen bei Bonität 1.0 (hell) und 11.0 (dunkel) gemäß Ertragstafel Wiedemann (1943), mäßige Durchforstung. Es ist klar erkennbar, dass die Kiefern in weiten Bereichen Bayerns Wuchsleistungen über der 1.0 Ertragsklasse erbringen und über alle schwächeren Standorte hinweg die Höhenwuchsleistung im Bereich der 11.0 Ertragsklasse liegt.

Solche und weitere Auswertungen werden herangezogen, um festzulegen, für welche Wuchsleistungsspektren Simulationen durchgeführt und differenzierte Richtlinien formuliert werden müssen. Bei den drei hier aufgeführten Richtlinien hat man sich entschieden, jeweils für Bestände auf besseren und auf schwächeren standörtlichen Bedingungen Behandlungsvorgaben zu entwickeln. Stellt man auf die gleiche Weise wie die Alters-Höhen-Beziehungen aus den Inventurdaten die Alters-Durchmesser-Beziehungen dar, können realistische Kombinationen von Zieldimensionen und Produktionszeiträumen abgeschätzt werden. Dabei muss natürlich bedacht werden, dass es sich um keine echten Zeitreihen handelt und sich durch eine Umstellung der Pflegekonzepte zukünftig auch diese Relationen verändern können. Dennoch, für einen ersten Entwurf einer neuen Richtlinie bilden diese Daten eine wichtige Grundlage und weitere Einflussfaktoren können im Laufe der Modellrechnungen mit berücksichtigt werden.

Zusätzlich zu der Unterscheidung von standörtlichen Gegebenheiten und den daraus resultierenden Wuchsleistungen sind die Ausgangsbestände für die Ergebnisse der Simulationsrechnungen von entscheidender Bedeutung. Wie bereits oben ausgeführt, handelt es sich überwiegend um „Idealfall-Simulationen“, was hier bedeutet, dass man im Rahmen der Modellrechnungen immer Reinbestände von einem Zeitpunkt kurz vor dem ersten Durchforstungseingriff bis zum Ende des angestrebten Produktionszeitraums betrachtet. Mit welcher Stammzahl oder Dichte ein virtueller Beispielbestand startet, schlägt sich meist über den gesamten Auswertungszeitraum in den Ergebnissen nieder und hat somit auch einen Einfluss auf die Entwicklung der Behandlungskonzepte. Neben Standortfaktoren sind vor allem unterschiedliche Verjüngungsverfahren und –situationen die Ursachen für ein breites Spektrum an Strukturen schon in noch jungen Reinbeständen. Mit welchen Varianten man in die Prognoserechnungen einsteigt, muss in Abstimmungen mit Praktikern anhand von Realdaten aus

Inventur und Versuchswesen entschieden werden. Aus diesen erhält man dann auch die Bestandesparameter zur Generierung der virtuellen Startbestände. In SILVA werden hierfür der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes, die Stammzahl und die Mittelhöhe benötigt. Die virtuellen Bestände werden dann jeweils auf einer Fläche von 100 x 100m generiert.

Wenn man etwas besser machen möchte, braucht man eine Referenz. Im Falle der Durchforstungsrichtlinien für Fichte, Buche und Kiefer bieten sich zuerst die Ertragstafeln an. Sie sind den Praktikern geläufig und ermöglichen es so, die Ergebnisse von Modellrechnungen einzuordnen. Zudem wurden Simulationen gemäß „älteren“ Richtlinien, wie zum Beispiel für Buche die Richtlinie aus dem Jahr 2000 (Bay. Staatsforstverwaltung, 2000), erstellt und die Ergebnisse als eine Referenz herangezogen. Für die Entwicklung wurden zudem Varianten mit „praxisüblichem“ Vorgehen und im Rahmen der Entwicklung der Kiefernrichtlinie ein „Negativ-Szenario“ simuliert. Mit diesem wurde dargestellt, welche Zuwachs(verlust)effekte zukünftig unbedingt vermieden werden sollen. Außerdem werden während der laufenden Entwicklung einer neuen Richtlinie natürlich immer die Ergebnisse der Prognoserechnungen des vorletzten Entwurfs denen des aktuellen Entwurfs gegenübergestellt.

Aus der Kombination von unterschiedlichen Zuwachsniveaus und Ausgangsbeständen mit Varianten und Referenzen einer Behandlungsrichtlinie ergibt sich die Anzahl der zu simulierenden Szenarien. Bereits mit dem ersten Entwurf einer Richtlinie muss diskutiert werden, welche Bandbreite von Behandlungsvarianten betrachtet werden soll. In der Regel wird man breit gefächert anfangen, um dann immer konkreter zu werden. Bestimmte Szenarien werden während der gesamten Entwicklungstätigkeit parallel gerechnet werden, einige werden als nicht relevant verworfen werden. Es können aber auch neue Szenarien im Laufe der Arbeiten an einer Richtlinie hinzukommen, um neue Fragestellungen zu untersuchen. Für die Ausarbeitung der Fichtenpflegerichtlinie waren es drei unterschiedlich dichte Startbestände jeweils bei besserer und schwächerer Wuchsleistung, also insgesamt sechs Ausgangsbestände (Abb. 3) zu Beginn der Entwicklung kombiniert mit Konzeptentwürfen für zwei Zielstammzahlen pro Hektar und drei alternativen Freistellungsintensitäten der Zielstämme. Daraus ergeben sich insgesamt 36 Szenarien, die parallel gerechnet und ausgewertet wurden. Als Referenzen dienten die Ertragstafelwerte (nicht simuliert) und eine Simulation des bisher „praxisüblichen“ Vorgehens, ebenfalls ausgehend von den drei unterschiedlich dichten Startzuständen und zwei Wuchsleistungsniveaus. Bei allen mit SILVA simulierten Szenarien wurden im Rahmen des ersten Durchforstungseingriffes auch immer ein Auftrieb von Rückegassen in einem Abstand von jeweils 30 Metern (Gassenmitte zu Gassenmitte) bei 4m Rückegassenbreite durchgeführt und separat ausgewertet.

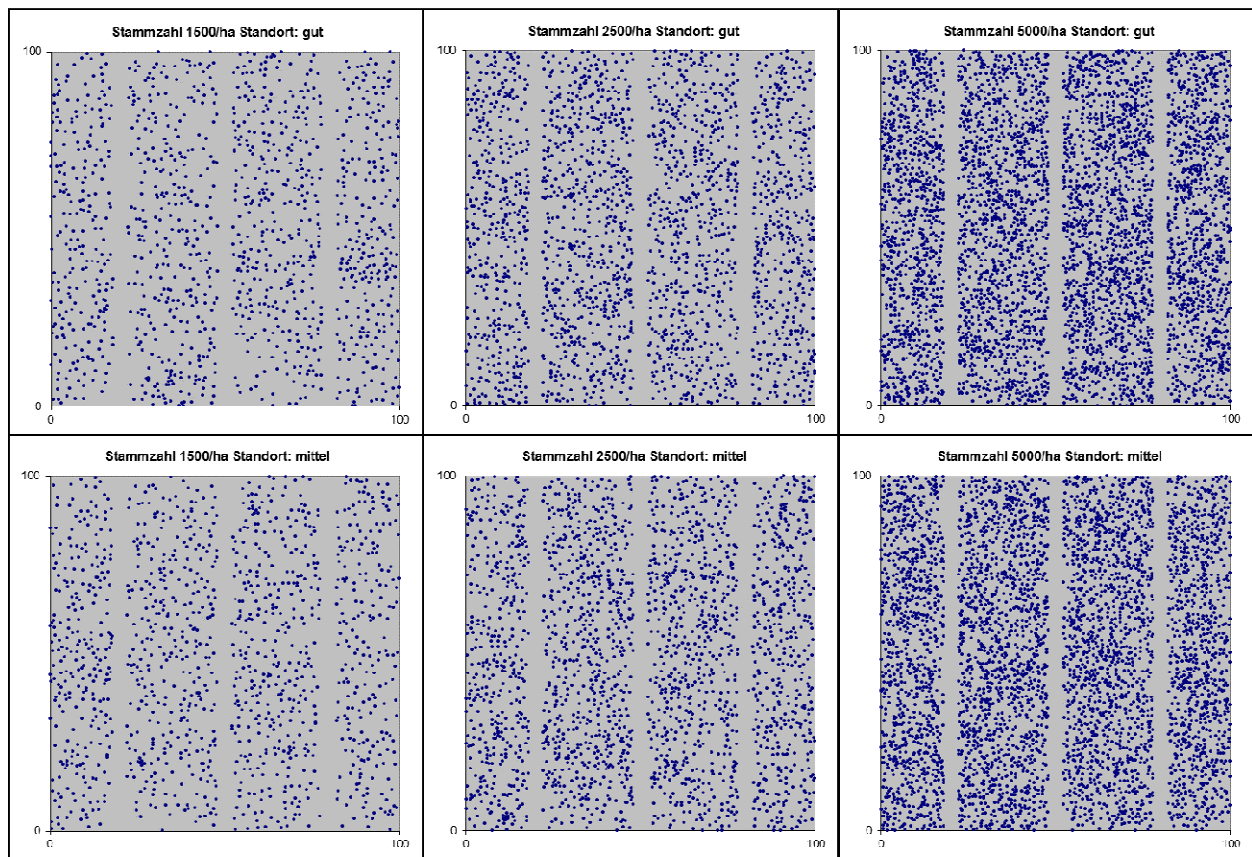


Abb. 3: Stammverteilungspläne von sechs virtuellen Fichtenbeständen nach dem ersten Durchforstungseingriff mit der Anlage von Rückegassen. Bestände bei besserer Wuchsleistung oben, bei schwächerer unten, jeweils mit Ausgangsstammzahl 1500/ha (links), 2500/ha (Mitte) und 5000/ha (rechts).

### 3 Ergebnisse

Die große Anzahl an Szenarien bedingt eine entsprechende Fülle an Auswertungen und Ergebnissen. Jedem Simulationslauf nachgeschaltet ist eine Kontrolle, inwieweit die Konzeptvorgaben im Rahmen der Modellrechnung eingehalten wurden oder ob es Abweichungen gab. Die Konzeptvorgaben lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Anzahl ausgewählter / definierter Zielstämme pro Hektar
- Zeitpunkte und Art der Durchforstungseingriffe
- Intensität der Freistellung von Zielstämmen, z.B. definiert über die Anzahl zu entnehmender Bedränger pro Eingriff
- Einhalten von Obergrenzen des Entnahmevolumentums pro Eingriff

Diese Vorgaben ergeben sich, da die neuen BaySF-Konzepte während der Pflegephase im Wesentlichen über Stammzahlen (Zielstämme / Bedränger) gesteuert werden. Bestandesgrundflächen und Vorräte sind lediglich ein Resultat davon, aber keine explizite Steuergröße. In der Endnutzungsphase sind Zieldimensionen und die Anzahl der zu entnehmenden Stämme vorgegeben. Werden in einer oder mehreren Perioden die Konzeptvorgaben nicht eingehalten, muss der Grund dafür geklärt werden. Dabei ist zu beachten, dass das Durchforstungsmodul von SILVA regelbasiert arbeitet. Es werden also in Abhängigkeit von eingesteuerter Durchforstungsart, -intensität und Beschränkungen, wie einem maximalen Entnahmevolumentum pro Eingriff, entsprechende Regeln definiert, nach denen bestimmte Bäume im Modellbestand gefördert und andere entnommen werden. Über diese Regeln wird auch definiert, ob und welche Bäume einen Zielstamm bedrängen. Sieht ein Behandlungskonzept eine Entnahme von  $n$  Bedrängern pro Zielstamm vor, es aber per Definition weniger oder keine Bedränger mehr gibt, wird die Konzeptvorgabe in diesem Simulationsschritt nicht erfüllt werden.

Es muss also unterschieden werden, ob es sich bei Abweichungen von den Konzeptvorgaben um Fehler in der Einsteuerung des Modells oder um ein logisches Ergebnis des simulierten Richtlinienentwurfs als solches handelt, das es zu diskutieren gilt. Sobald sichergestellt ist, dass alle Modellparameter korrekt waren, können die Ergebnisse ausgewertet und aufbereitet werden. Man kann davon ausgehen, dass

auf Seiten der Wissenschaft die größere Erfahrung in der Interpretation von Modellrechnungen liegt. Um eine hohe Akzeptanz solcher Szenarioanalysen mit Wuchsmodellen seitens der Praktiker zu erhalten, ist eine professionelle Auswertung und Aufbereitung der Ergebnisse zwingend erforderlich. Ziel muss es sein, aus der Fülle von Informationen für die Arbeitsgruppe allgemeine Trends sowie entscheidende Eckpunkte und Problemstellungen verständlich herauszuarbeiten. Somit findet auch hier ein Transfer von der Wissenschaft in die Praxis statt.

Die Auswertungen erfolgen in der Regel periodisch, zuerst für die klassischen ertragskundlichen Parameter Stammzahlen, Mitteldurchmesser, Vorräte, Grundflächen, Nutzungen, Zuwächse und Gesamtwuchsleistungen. Dabei können auch die Kollektive der Zielstämme und des Füllbestandes differenziert betrachtet werden. Die Auswertungen und Analysen werden primär unter dem Aspekt der Sicherstellung waldbaulicher Zielsetzungen durch die Vorgaben in der jeweiligen Richtlinie erstellt. Durch den Einzelbaum basierten Ansatz in SILVA bieten sich zudem auch periodische Sortenverteilungen als Grundlage für ökonomische Analysen an. Hierbei sind vor allem in der Jugendphase die Berechnung von Kosten und Erlösen einzelner Durchforstungseingriffe von Interesse, um deren kurzfristige wie langfristige Wirtschaftlichkeit einschätzen zu können. Für den eigentlichen Variantenvergleich wird analog zur Gesamtwuchsleistung die Entwicklung der Gesamtwertleistung über der Zeit betrachtet. Die zu Grunde gelegten Kosten und Preise entstammen betriebsinternen Statistiken. Man kann unterschiedliche Marktszenarien (s.a. Bücking et al., 2007) ebenso wie den Einfluss der Stückmasskosten mehrerer Holzernverfahren darstellen.

Um einzelne Ergebnisse der Modellrechnungen zu verifizieren oder zu untermauern, werden auch im Laufe der Auswertungen und Diskussion immer wieder Realdaten im Hinblick auf spezifische Fragestellungen ausgewertet. So ergaben zum Beispiel die Simulationen zur Entwicklung der Richtlinie für Kiefer spürbare Zuwachsverluste nach einer starken Reduktion der Bestandesgrundfläche, welche bis zum Ende des Produktionszeitraumes durch die geförderten Zielstammkollektive nicht mehr aufgefangen werden konnten. Ein Effekt, der sich auch anhand der Mess-

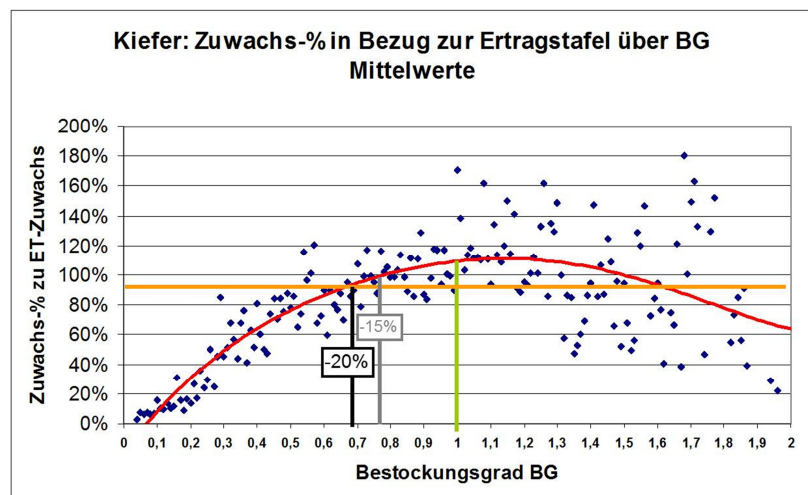


Abb. 4: Mittlere Zuwächse (Punkte) in Relation zur Ertragstafel Kiefer Wiedemann (1943) über dem Bestockungsgrad und kritische Grenze (orange Linie) einer mind. 20%igen Zuwachsminderung. Rote Trendlinie einer polynom. Ausgleichsfunktion.

werte von wiederholt aufgenommenen permanenten Inventurpunkten belegen lässt. Für diese Auswertung wurden in einem ersten Schritt für jeden selektierten Inventurpunkt das Bestandesalter, der Bestockungsgrad (BG), die Ertragsklasse sowie der Zuwachs ermittelt. Der durch die Wiederholungsinventur ermittelte Zuwachs wurde in Relation zum korrespondierenden Ertragstafelzuwachs (= 100%) gesetzt. Die so ermittelten Zuwachsprozente der einzelnen Inventurpunkte wurden in einer Grafik über den jeweiligen Bestockungsgraden der Stichprobenpunkte geplottet. Für eine klarere Darstellung wurden für 0,01er-Klassen des Bestockungsgrades jeweils die mittleren Zuwachsprozente berechnet. Wie aus Abbildung 4 ersichtlich, besteht eine sehr enge Beziehung zwischen dem Bestockungsgrad und dem Zuwachsniveau in Kiefernbeständen (rote Linie,  $R^2 = 0,82$ ). Für  $BG = 1,0$  ergibt sich im Mittel ein um 15% höheres Zuwachsniveau als in der Ertragstafel. Nimmt man dieses Zuwachsniveau als Normalwert an, muss man mit 15% Zuwachsverlust rechnen, wenn man den Bestockungsgrad zwischen 0,75 und 0,80 absenkt. Bei einem BG zwischen 0,65 und 0,70 muss man sogar mit einem um 20% geringeren Zuwachs als bei Vollbestockung rechnen.

Am Ende der Entwicklung einer neuen Bewirtschaftungsrichtlinie müssen die Erkenntnisse aus mehreren Hundert Simulationsläufen in stark komprimierter Form dargestellt werden. Außerdem muss die Darstellungsform so sein, dass sie für die breite Masse der Forstpraktiker verständlich und im



täglichen Betrieb anwendbar ist. Stellt man exakte Werte, zum Beispiel in Form einer Linie über der Zeit dar, werden diese Werte in den seltensten Fällen genau der Realität beim Förster vor Ort entsprechen, was die Akzeptanz der Richtlinie und die darin enthaltenen Vorgaben stark mindern würde. Daher bietet es sich an, aus der Vielzahl von simulierten Szenarien Entwicklungskorridore abzuleiten, bei deren Einhaltung die waldbaulichen Zielsetzungen mit hoher Wahrscheinlichkeit erfüllt werden.

Abbildung 5 ist eine Grafik, die für die Richtlinie „Grundsätze für die Bewirtschaftung von Buchen- und Buchenmischbeständen im Bayerischen Staatswald“ (BaySF 2011) entworfen wurde. Hier am Beispiel der Grundflächenentwicklung über der Zeit kann man sehen, wie viele Informationen und Erkenntnisse, die im Laufe der Entwicklung der Richtlinie erarbeitet wurden, in einer Grafik zusammengefasst wurden. Durch die Abbildung der Werte für bessere als auch für schwächere Standortverhältnisse ergibt sich im Wesentlichen der Korridor.

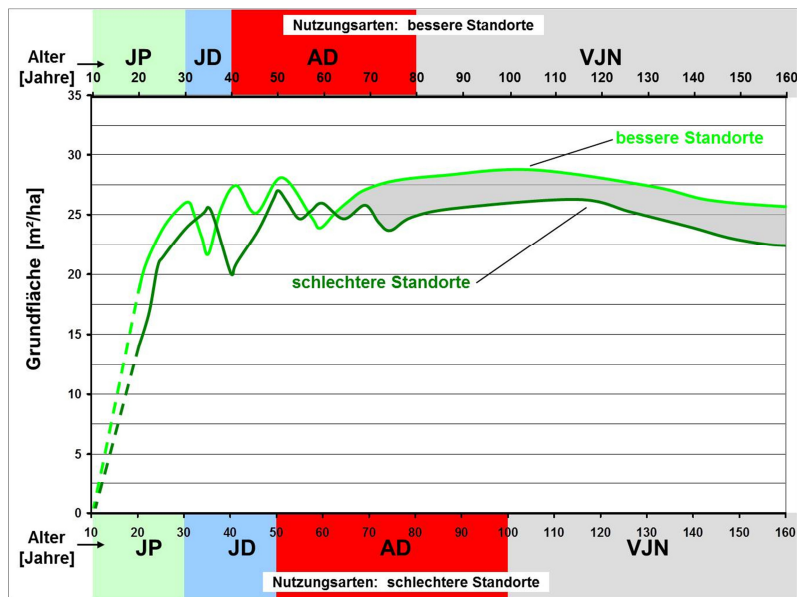


Abb. 5: Entwicklungskorridor der Bestandesgrundfläche für Buchenbestände bei besserer und schwächerer Wuchsleistung nach Alter, bzw. Bestandesphasen.

Neben dem Alter wird auch der Bezug zu den jeweiligen Bestandesphasen, in diesem Fall Nutzungsarten (JP = Jugendpflege, JD = Jungdurchforstung, AD = Altdurchforstung, VJN = Verjüngungsnutzung) hergestellt, womit der Praktiker vor Ort in der Lage ist, direkt waldbauliches Handeln mit dem Zielkorridor zu verknüpfen. Diese und weitere Abbildungen mit gleichem Layout zu Stammzahlen, Vorräten, Nutzungen und Gesamtwuchsleistungen sind in allen drei hier angesprochenen Richtlinien enthalten. Dabei erfüllen diese Abbildungen einen doppelten Zweck. Zum einen liefern sie bei der Umsetzung der Richtlinie im praktischen Betrieb schnell Referenzwerte, zum anderen dienen sie als Beleg, dass die Richtlinien auch auf wissenschaftlicher Grundlage entwickelt und verprobt wurden.

Welche Auswirkungen die Umsetzung der neuen Behandlungskonzepte bei BaySF auf großer Fläche haben kann, wird durch Simulationen auf Forstbetriebsebene deutlich. In Abbildung 6 sind im Vergleich die Entwicklungen der mittleren laufenden Zuwächse pro Hektar und Jahr eines Forstbetriebes mit ca. 17.000ha Waldfläche dargestellt. Über einen Prognosezeitraum von 30 Jahren (sechs 5-Jahresperioden) wurden Durchforstungen und Endnutzungen gemäß den alten Vorgaben (blaue Linie) und gemäß den neuen Bewirtschaftungsgrundsätzen (grüne Linie) für Fichte, Buche und Kiefer simuliert. Dabei sind die Gesamtnutzungsmengen in den ersten 10 Jahren für beide Varianten gleich. Die Auswertungen zeigen, dass bei Umsetzung der neuen Richtlinien kurzfristig zwar mit einem etwas geringeren mittleren laufenden Zuwachs zu rechnen ist, mittel- und langfristig jedoch mit einem deutlich höheren Zuwachsniveau und somit auch einem höheren Nutzungspotenzial. Diese Variantenstudie belegt, dass

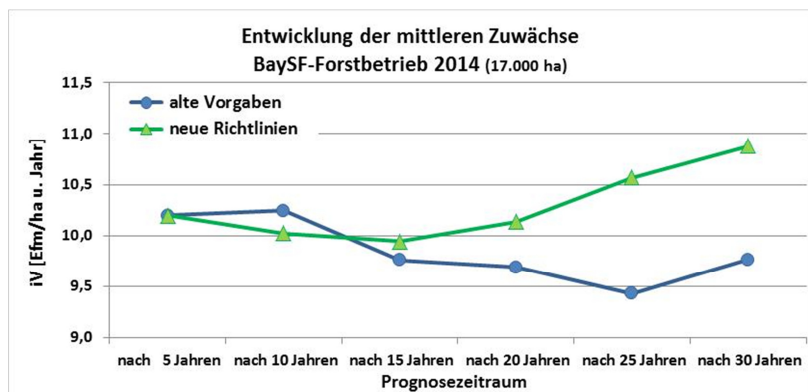


Abb. 6: Prognose der Entwicklung der mittleren lfd. Zuwächse eines BaySF-Forstbetriebes über 30 Jahre für Waldbau gemäß alter Vorgaben und neuer Richtlinien.

es nicht nur darauf ankommt, wie viel Holz man nutzt, sondern auch, welche Stämme entnommen werden.

#### **4 Diskussion**

Neue Richtlinien zur Bewirtschaftung von Fichten-, Buchen- oder Kiefernbeständen kann man nicht nur auf Basis von Simulationen mit einem Wachstumsmodell entwickeln. Bei den Prognosen mit SILVA handelt es immer nur eine deutlich vereinfachte Darstellung der Wirklichkeit. So sind Schadereignisse (Wind, Käfer, Schnee etc.) nicht Bestandteil der Simulationen. Auch Holzqualitäten, wie Stammformen oder Schäden an Einzelstämmen etc., können mit dem Wuchsmodell SILVA nicht simuliert werden. Die Ergebnisse aus den Simulationsläufen mit dem Wuchsmodell sind daher immer als Trendaussagen und Entwicklungstendenzen zu verstehen. Sie dürfen nicht als wertmäßig absolute Vorhersage der zukünftigen Wirklichkeit interpretiert oder weiter gegeben werden.

Und dennoch sind die Prognoserechnungen mit dem Wuchsmodell in vielerlei Hinsicht ein wichtiges Hilfsmittel, gerade bei der Entwicklung neuer Behandlungskonzepte oder Richtlinien, da es sich bei diesen ebenfalls nicht um die exakte Abstimmung auf eine „Wirklichkeit“ handelt, sondern allgemein gültige Regeln aufgestellt werden müssen. Szenarioanalysen helfen Zielkonflikte zu erkennen, wie zum Beispiel Zieldimensionen vs. Produktionszeiträume, und Handlungsspielräume auszuloten. Man erhält dadurch eine weitaus mehr Informationen, als wenn nur statische Realdaten ausgewertet würden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Wissenstransfer von der Forschung in die Praxis. Wie bereits eingangs erwähnt, kann man moderne Wuchsmodelle auch als ein Sammelbecken ertragskundlicher Forschungsergebnisse der letzten Jahrzehnte betrachten. Durch den Einsatz der Modelle finden viele wissenschaftliche Erkenntnisse Eingang in den praktischen Forstbetrieb, ohne dabei explizit geschult werden zu müssen. Und man kann Modellrechnungen im Zusammenhang mit der Entwicklung neuer Richtlinien nicht standardisieren, wie zum Beispiel Forstbetriebsprognosen im Rahmen der Forsteinrichtung (Moshhammer, 2006). Zudem kann es immer wieder vorkommen, dass die Simulation neuer Behandlungsstrategien an die Grenzen der Parametrierung des Modells führt, was die Verschneidung mit Realdaten aus dem Versuchswesen oder von Stichprobeninventuren zur Verifizierung der Ergebnisse notwendig macht. Für diesen Zweck ist also besonders geschultes Personal zum Einsatz des Modells zwingend erforderlich. Dieses wird sich in der Regel nur auf Seiten der Wissenschaft finden, was aber eine zusätzliche Möglichkeit bietet, den Dialog von Wissenschaft und Praxis zu intensivieren. Die enge Kooperation ermöglicht die Entwicklung von Richtlinien auf höchstem Niveau.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen haben Einfluss auf den gesamten Inhalt der herausgegebenen Richtlinien, auch wenn sie immer nur in einem Kapitel in Form weniger Grafiken offen zu Tage treten. Diese Grafiken könnten vor dem Hintergrund der Anwendung in der Praxis noch pauschaler gestaltet werden, also nur Entwicklungskorridore anstatt noch konkreter Linienführungen. Allerdings würde dann die Gefahr bestehen, dass man sie nicht mehr als einen Beleg für die wissenschaftlich Fundiertheit des jeweiligen Behandlungskonzeptes akzeptiert.

Insgesamt kann man feststellen, dass der Einsatz von Wuchsmodellen bei der Entwicklung neuer Bewirtschaftungsrichtlinien für beide Seiten, Forstpraktiker und Wissenschaftler von großem Nutzen ist. Die Praxis erhält Konzepte und Strategien, die auf einer sehr breiten Informationsbasis entwickelt wurden. Dabei finden Ergebnisse aus abgeschlossenen und laufenden Forschungsarbeiten Eingang in die Praxis und beeinflussen dauerhaft das Handeln auf großer Fläche. Durch die intensive Zusammenarbeit kann die Wissenschaft zukünftige Forschungstätigkeiten noch besser auf den Bedarf der Forstbetriebe und Waldbesitzer abstimmen, gleichzeitig aber auch das schon reichlich vorhandene Angebot weiter bekannt machen.

## 5 Literatur

- BaySF (2009) Richtlinie Bewirtschaftung von Fichten- und Fichtenmischbeständen im Bayerischen Staatswald. Unternehmen Bayerische Staatsforsten AöR, Abt. Waldbau, Naturschutz, Jagd und Fischerei, Regensburg, 83 S.
- BaySF (2011) Grundsätze für die Bewirtschaftung von Buchen – und Buchenmischbeständen im Bayerischen Staatswald. Unternehmen Bayerische Staatsforsten AöR, Abt. Waldbau, Naturschutz, Jagd und Fischerei, Regensburg, 100 S.
- BaySF (2013) Jahresbericht 2013 der Bayerischen Staatsforsten. Unternehmen Bayerische Staatsforsten AöR, Regensburg, 33 S.
- BaySF (2014) Grundsätze für die Bewirtschaftung von Kiefern – und Kiefern-mischbeständen im Bayerischen Staatswald. Unternehmen Bayerische Staatsforsten AöR, Abt. Waldbau, Naturschutz, Jagd und Fischerei, Regensburg, 92 S.
- Bay. Staatsforstverwaltung (2000) Pflege und Verjüngung der Buche. Hrsg. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München, 22 S.
- Bücking, M.; Moshhammer, R., Roeder, A. (2007) Wertholzproduktion bei der Fichte mittels kronenspannungsarm gewachsener Z-Bäume. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Nr. 62/07, ISSN 0931-9622, 295 S.
- Hasenauer, H. (1994) Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, 152 S.
- Kahn, M. ;Pretzsch, H. (1997a) Einsatzmöglichkeiten des Einzelbaumsimulators SILVA 2 am Beispiel von Fichten/Buchen-Beständen. in: Beiträge zur Jahrestagung der Sektion Ertragskunde 1997, S. 18–34
- Kahn, M. ;Pretzsch, H. (1997b) Das Wuchsmodell SILVA. Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 168. Jg., H. 7/8, S. 115–123
- Kahn, M., Pretzsch, H. (1998) Parametrisierung und Validierung des Wuchsmodells SILVA 2.2 für Rein- und Mischbestände aus Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche und Erle. in Jahrestagung der DVFFA Sektion Ertragskunde, Kevelaer 1998.
- Küstners, E., Bachmann, M., Steinacker, L., Schütze, G., Pretzsch, H. (2004) Die Kiefer im Rein- und Mischbestand. Produktivität, Variabilität, Wachstumstrend. Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung 52, ISSN 1616-511X, 345 S.
- Moshhammer, R. (2006) Vom Inventurpunkt zum Forstbetrieb. AFZ- Der Wald 61 (21), S. 1164-1165
- Nagel, J. (1999) Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Norddeutschland. Schriften aus der Forstl. Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächs. Forstl. Versuchsanstalt, Bd. 128, p. 122.
- Pretzsch, H. (2001) Modellierung des Waldwachstums. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien, 341 S.
- Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Uhl, E., Rötzer, T. (2014) Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. Nature Communications, Bd. 5, Nr. 4967
- Pretzsch, H., Dursky, J. (2001) Evaluierung von Waldwachstumssimulatoren auf Baum- und Bestandesebene. Allgemeine Forst- u. Jagdzeitung, 172. Jg., H. 8/9, S. 146-150
- Pretzsch, H., Utschig, H. (2000) Wachstumstrends der Fichte in Bayern. Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung, 49. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München, 170 S.
- Sterba, H., Moser, M., Monserud, R. (1995) Prognaus - Ein Waldwachstumssimulator für Rein- und Mischbestände. Österreichische Forstzeitung, Nr. 5, S. 19-20
- Wiedemann, E. (1943) Ertragstafel für die Baumart Kiefer (mäßige Durchforstung). In: SCHÖBER, R. (1987): Ertragstafeln wichtiger Baumarten, 3. neu bearbeitete u. erw. Auflage. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 3. Neubearbeitete und erweiterte Auflage, 166 S.
- Wilhelm, G. J., Rieger, H. (2013) Naturnahe Waldwirtschaft mit der QD-Strategie. Ulmer Verlag, Stuttgart, ISBN 978-3-8001-7858-2; 207 S.