

Evaluierung von Waldwachstumssimulatoren auf Baum- und Bestandesebene

Aus dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München und dem
Lehrstuhl für Forsteinrichtung und Geodäsie der Technischen Universität Zvolen

(Mit 3 Abbildungen)

Von H. PRETZSCH und J. ĎURSKÝ

(Angenommen Mai 2001)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Evaluierung; Validierung; Waldwachstumssimulator; Fichte; Präzision; Genauigkeit; Verzerrung.

Evaluation; validation; stand simulator; spruce; precision; accuracy; bias.

1. EVALUIERUNG, VALIDIERUNG UND VERIFIZIERUNG

Die Evaluierung von Waldwachstumssimulatoren sollte sich auf die Eignung des gewählten Modellansatzes, die Validität oder Gül-

tigkeit des entwickelten biometrischen Modells und die Eignung der Software, in welche das biometrische Modell umgesetzt wird, richten (Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, 2000; VANCLAY und SKOVGAARD, 1997). Zunächst seien die Begriffe Evaluierung, Validierung und Verifizierung präzisiert: Unter Evaluierung verstehen wir die „[...] Analyse und Bewertung eines Sachverhalts, v. a. als Begleitforschung einer Innovation. In diesem Fall ist Evaluierung Effizienz- und Erfolgskontrolle zum Zweck der Überprüfung der Eignung eines in Erprobung befindlichen Modells. [...]“ (Brockhaus, 1997, Bd. 6, S. 716). Ein Aspekt der Evaluierung ist die Validierung (Brockhaus, 1994, Bd. 23, S. 42):

„[...] Die Validierung gibt den Grad der Genauigkeit an, mit dem ein Verfahren das mißt, was es zu messen vorgibt [...]. [...] Die Feststellung der Validität (Validierung) geschieht 1) aufgrund der Übereinstimmung des Testergebnisses mit einem Kriterium, das außerhalb von Testwerten [...] gewonnen wird (Kriteriums-V), 2) aufgrund des Zutreffens einer Vorhersage (Vorhersage-V, engl. Predictive validity), 3) aufgrund logisch-inhaltlicher Plausibilität (inhaltliche V, Content validity) oder 4) aufgrund von im Kontext belegbaren Theorien und Verfahrensweisen (Konstrukt-V). [...]“
 Die Begriffe Validierung und Verifizierung werden häufig fälschlicherweise synonym gebraucht. Ein Wuchsmodell kann letztlich nie verifiziert werden, denn mit Verifizierung oder Verifikation erfolgt „[...] Allgemein der Erweis der Wahrheit von Aussagen. [...] [...] Nach der Theorie des „kritischen Rationalismus“ (bes. K. R. POPPER) ist bei allgemeinen empirischen Aussagen (Hypothesen, Gesetzen) keine endgültige Verifizierung, wohl aber eine endgültige Falsifikation möglich. [...]“ (Brockhaus, 1994, Bd. 23, S. 213; POPPER, 1984).

Die folgenden Ansätze zur Evaluierung des Modells SILVA 2.2 sind zwanglos auf andere Modelle, etwa die im deutschsprachigen Raum verbreiteten Modelle BWIN, PROGNAUS und MOSES (NAGEL, 1999; STERBA et al., 1995; STERBA, 1999; HASENAUER, 1994) übertragbar.

2. VALIDIERUNG DES BIOMETRISCHEN MODELLS

Die sicher wichtigste Validierung von Wuchsmodellen besteht im quantitativen Vergleich zwischen Modellprognose und wirklichem Wuchsverhalten. Dieser stützt sich u. a. auf die Verzerrung \bar{e} , Präzision s_e und Treffgenauigkeit m_x .

2.1 Verzerrung oder Bias

Vergleichen wir von $i = 1 \dots n$ Beständen jeweils die Ergebnisse der Prognoserechnung ($x_i, i = 1 \dots n$) mit der wirklichen Entwicklung dieser n Bestände ($X_i, i = 1 \dots n$), so ergeben sich die Differenzen $e_i = x_i - X_i$. Die mittlere Differenz zwischen Prognose und Wirklichkeit

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_i)}{n} \quad (1)$$

entspricht der Verzerrung (= Bias) der Prognose mit Blick auf das geschätzte Bestandesmerkmal x . Abgesicherte Aussagen über die Verzerrung sind erst möglich, wenn prognostizierte und wirkliche Entwicklungen in größerer Anzahl miteinander verglichen werden. Die systematische Abweichung vom wahren Wert kann auch prozentual in Relation zum mittleren Beobachtungswert \bar{X} ausgedrückt werden $\bar{e}\% = (\bar{e} \cdot 100)/\bar{X}$.

2.2. Präzision oder Prognosestreuung

Die Präzision s_e (= Prognosestreuung) gibt die Anhäufung oder Konzentration von Prognosefehlern um ihr arithmetisches Mittel an. Sie wird aus den Abweichungen der Prognosewerte $x_i, i = 1 \dots n$ von den Beobachtungswerten $X_i, i = 1 \dots n$ berechnet

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{e} - X_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n-1}} \quad (2)$$

wobei die Prognosewerte zuvor vom Bias \bar{e} bereinigt werden. Die Präzision wird häufig in Relation zum mittleren Beobachtungswert in Prozent angegeben $s_e\% = (s_e \cdot 100)/\bar{X}$.

2.3 Treffgenauigkeit

Soll ein Modell einer breiteren Genauigkeitsprüfung unterzogen werden, so werden für n Bestände Prognoserechnungen ausgeführt. Aus den $i=1 \dots n$ Differenzen zwischen geschätzten und wirklichen Werten $x_i, i = 1 \dots n$ bzw. $X_i, i = 1 \dots n$ kann die Treffgenauigkeit m_x berechnet werden

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_i)^2}{n-1}} \quad (3)$$

Die Treffgenauigkeit m_x des Modells in Bezug auf die Größe x setzt sich dann aus der Präzision s_e und der Verzerrung \bar{e} zusammen $m_x = \sqrt{s_e^2 + \bar{e}^2}$. Die relative Treffgenauigkeit ergibt sich als $m_x\% = (m_x \cdot 100)/\bar{X}$ und drückt die Genauigkeit in prozentualer Relation zum wahren Mittelwert \bar{X} aus. Die Treffgenauigkeit stellt sich also als Grad der Annäherung der Schätzung an die Wirklichkeit dar. Sie kann dadurch mangelhaft sein, dass eine Verzerrung auftritt, also ein Bias \bar{e} vorliegt. Zum anderen kann ein Mangel an Treffgenauigkeit durch eine geringe Präzision s_e zustande kommen. Höchste Treffgenauigkeit m_x ist dann gegeben, wenn der Bias \bar{e} gleich Null ist und außerdem eine hohe Präzision besteht. Die Treffgenauigkeit m_x nimmt in einem solchen Fall kleine Werte an und reduziert sich auf s_e , weil der Summand \bar{e}^2 in Formel 3 gleich Null wird. Das Quadrat der Treffgenauigkeit ist als „mittlerer quadratischer Fehler“ bekannt.

3. DURCHMESSERZUWACHS VON EINZELBÄUMEN

Zur Überprüfung des Durchmesserzuwachsmodells in SILVA 2.2 wurden 2254 Bäume auf insgesamt 30 langfristigen Fichten-Ver-suchspartellen herangezogen, von denen die Stammfußkoordinaten bekannt sind (ĐURSKÝ, 1999). Im Einzelnen handelt es sich um Plenterwald-, Überführungs-, Standraum- und Durchforstungsversuche im Beobachtungszeitraum von 1961 bis 1996, die nicht in die Modellparametrisierung einbezogen wurden und ein breites Spektrum von Bestandesstrukturen und Behandlungsregimen abdecken. Jeder Bestand wird mit seinen Standortinformationen und seiner wirklichen Struktur in SILVA 2.2 eingelesen. Das Modell bildet dann anhand der Aufnahmeliste die auf den Parzellen registrierten Entnahmen und natürlichen Ausfälle nach, sodass eine wirklichkeitsnahe Freistellung der verbleibenden Bäume gewährleistet ist. Dann wird der Bestand fünf Jahre fortgeschrieben. Um stochastische Modelleffekte zu eliminieren wird dieser Vorgang fünfmal wiederholt. Aus den daraus folgenden 5 Durchmesserzuwachsen wird pro Baum der arithmetische Zuwachsmittelwert $\bar{z}d_{\text{prog}}$ berechnet und so die von Zufallsprozessen im Modell verursachte Streuung minimiert. Dieser Mittelwert der Durchmesserzuwächse wird dem wirklichen Baumdurchmesserzuwachs $\bar{z}d_{\text{beob}}$ gegenübergestellt, und es resultiert die absolute Differenz $e = \bar{z}d_{\text{prog}} - \bar{z}d_{\text{beob}}$.

Für alle Bestände ist auf Abbildung 1 die mittlere Verzerrung (links) und die Treffgenauigkeit (rechts) des prognostizierten fünfjährigen Durchmesserzuwachses dargestellt. In einzelnen Beständen und bei einzelnen Aufnahmen können die Abweichungen der Prognose von der Wirklichkeit zwischen -30% und 70% betragen, und sie sind vor allem witterungsbedingt. Im Mittel besteht aber keine signifikante systematische Verzerrung der Durchmesserzuwächse. Die Treffgenauigkeit der Durchmesserzuwachsprognose der Einzelbäume schwankt zwischen 16,8% in strukturarmen Beständen und 48,9% in strukturreichen und sehr dichten Beständen. In der überwiegenden Anzahl der Bestände liegt die Treffgenauigkeit zwischen 30% und 35%.

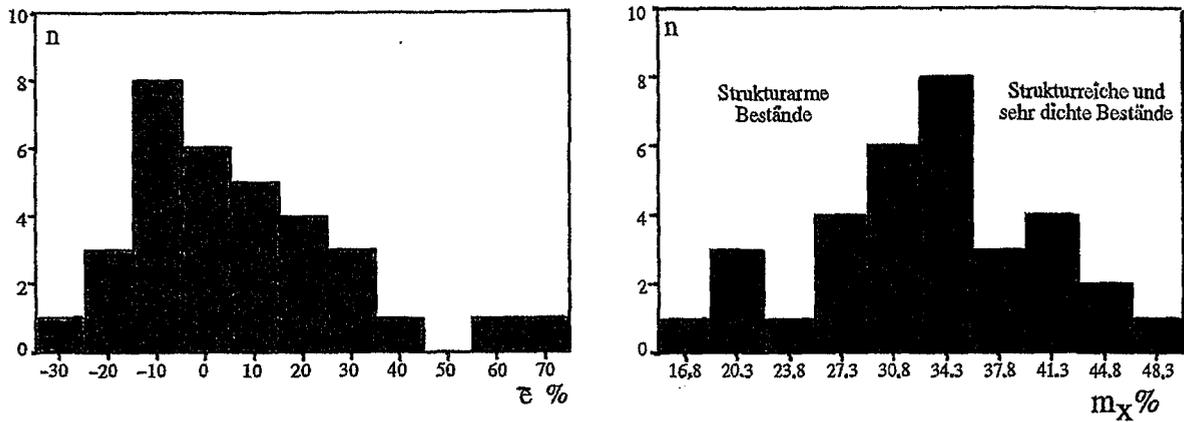


Abb. 1

Verzerrung $\bar{\epsilon}$ % und Treffgenauigkeit m_x % der Vorhersage des Durchmesserzuwachses von Einzelbäumen in Fichtenbeständen. Dargestellt ist die Häufigkeit, mit der in den untersuchten strukturarmen bis strukturreichen Fichtenbeständen Verzerrungen zwischen -30% und 70% (links) bzw. Treffgenauigkeiten zwischen 16,8% und 48,3% (rechts) auftreten

Bias $\bar{\epsilon}$ % and accuracy m_x % of the forecast diameter increment of single trees in Norway spruce stands. This shows how frequently a bias of between -30% and 70% (left) occurs and an accuracy between 16.8 and 48.3 percent (right) is achieved in the poorly to well-structured spruce stands under investigation

4. PERIODISCHER VOLUMENZUWACHS VON BESTÄNDEN

Die Validierung der Volumenzuwachsschätzung stützt sich auf Versuchsflächenaufnahmen aus dem Beobachtungszeitraum 1870 bis 1995, die für die Parametrisierung der Zuwachsfunktionen nicht verwendet worden sind. Für die über 20 einbezogenen bayerischen Fichtenversuchsflächen und 220 Aufnahmezeitpunkte werden der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes d_g , die Höhe des Grundflächenmittelstammes h_g , die Bestandesgrundfläche G und Standortinformationen vom Wachstumsmodell SILVA eingelesen. SILVA errechnet nun standortabhängige Höhenwuchsleistungen, baut Stammzahl-Durchmesser-Verteilungen auf, errechnet Baumhöhen über ein Einheitshöhenkurvensystem und erzeugt ein horizontales Baumverteilungsmuster. Der so generierte Ausgangsbestand wird ohne Durchforstungseingriffe 5 Jahre fortgeschrieben. Dieser Vorgang wird für jeden Bestand 10-mal wiederholt. Der Mittelwert des laufenden Volumenzuwachses aus den 10 Wiederholungen wird dem wirklichen Bestandesvolumenzuwachs gegenübergestellt. Für die Baumart Fichte ergibt sich eine Verzerrung der Volumenzuwachsschätzung von -1,9% und ein mittlerer Schätzfehler des Volumenzuwachses von $m_x = 19,84$ (Abb. 2). Das Ergebnis ist gleichbedeutend damit, dass bei Vorliegen einer Normalverteilung 68% der Zuwachsschätzungen nicht mehr als $\pm 19,84\%$ vom wirklichen Volumenzuwachs abweichen. Die Präzision der Zuwachsschätzung liegt bei $s_e\% = 15\%$ bis 20%.

5. MITTELFRISTIGE PROGNOSE DES BESTANDESVORRATES

Für die Validierung 30-jähriger Vorratsprognosen wurden die A-Grad-Parzellen der bekannten Fichten-Versuchsflächen Denklingen, Ottobeuren, Eglharting und Sachsenried (RÖHLE, 1995) verwendet. Damit wurden, über die in SILVA 2.2 enthaltenen Durchmesserzuwachs- und Höhenzuwachsmodelle hinausgehend, auch das Mortalitätsmodell sowie gleichzeitig alle genannten Modelle in ihren Interaktionen validiert. Insgesamt wurden auf 8 Parzellen der Versuchsreihe 35 Aufnahmen aus dem Beobachtungszeitraum 1882 bis 1951 mit Hilfe des Strukturgenerators reproduziert, unter

gegenwärtigen Klimabedingungen fortgeschrieben, sodass nach 30 Prognosejahren die wirklichen und prognostizierten Vorräte verglichen werden können. Um stochastische Effekte auszuschalten, wurden die Prognosen 10-mal wiederholt.

Der Vergleich Prognose versus Wirklichkeit zeigt, dass die Prognosen im Durchschnitt keine systematischen Abweichungen von der Realität aufweisen ($\bar{\epsilon} = 2,0\%$, $t = 0,99$, $n = 35$) und die Treffgenauigkeit solcher Prognosen ($P = 68\%$) bei 11,7% liegt (DURSÝ, 1999). Das bedeutet, dass bei der Prognose eines Vorrates von 1000 m^3 in der Wirklichkeit der Vorrat mit 95% Wahrscheinlichkeit zwischen 771 m^3 und 1229 m^3 liegen wird.

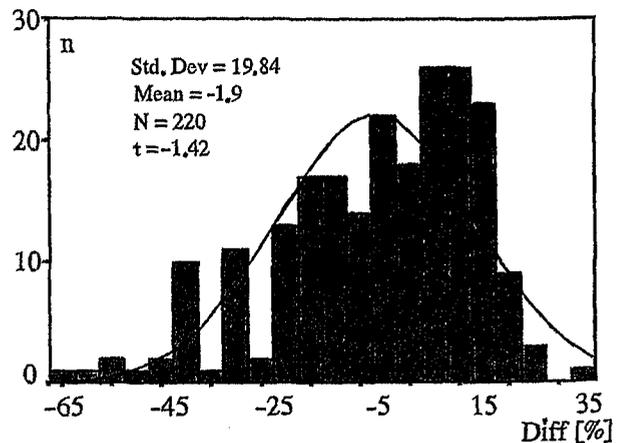


Abb. 2

Prozentuale Abweichungen zwischen prognostiziertem und beobachtetem Volumenzuwachs in Fichtenbeständen. Verzerrung = -1,9%, Treffgenauigkeit = 19,84% und Anzahl der in die Analyse einbezogenen Versuchsflächen = 220

Percentual deviation between simulated and observed stand volume growth in Norway spruce stands. Bias = -1.9%, accuracy = 19.84% and number of included experimental plots = 220

Die Analyse der zeitlichen Veränderung der Differenzen hat aber gezeigt, dass diese einen Trend aufweisen (Abb. 3). Es gibt eine eindeutige Überschätzung des Vorrates in der ersten Hälfte und eine Unterschätzung der Prognosen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Diese Erkenntnis deckt sich mit Beobachtungen anderer Autoren (PRETZSCH, 1996; RÖHLE, 1995; SCHÖPFER, HRADEZKY und KUBLIN, 1994), wonach sich das Wuchsverhalten der Wälder zu Beginn des 20. Jahrhunderts von ihrem heutigen deutlich unterscheidet.

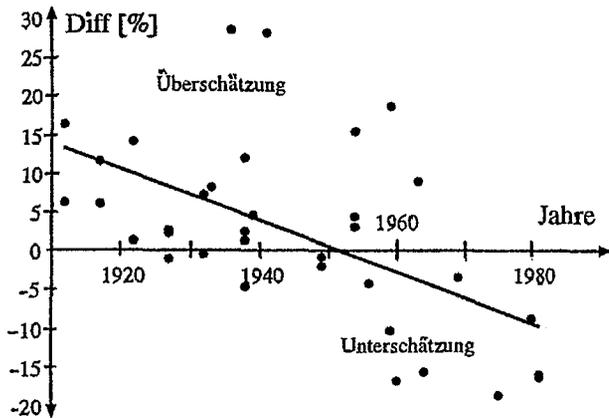


Abb. 3

Prozentuale Abweichungen zwischen prognostiziertem und beobachtetem Bestandesvorrat, dargestellt über dem Kalenderjahr. Wird die Veränderung der Standortleistung nicht bei der Einstreuung des Modells berücksichtigt, so ergibt sich bis 1960 eine Überschätzung, in den Folgejahren eine Unterschätzung des Bestandesvorrats

Percentual of deviation between prognosticated and real standing volume plotted over calendar year. If changing site conditions are not specified in the model run, standing volume is overestimated until the 60ies and underestimated in the last decades

6. VALIDIERUNG DES WUCHSMODELLS MIT DATEN EINER WIEDERHOLTEN BETRIEBSINVENTUR

Die Daten der permanenten Stichprobeninventur im Stadtwald Traunstein wurden für die Validierung des Wachstumsmodells SILVA 2.2 auf Betriebsebene genutzt (DURSKÝ, 2000). Nachdem für diesen Betrieb eine wiederholte Aufnahme permanenter Inventurflächen durchgeführt wurde, lagen u. a. die im Folgenden verwendeten Durchmesser- und Volumenzuwächse für eine Validierung vor. Zur Validierung wurden die einzelnen Inventurbefunde der Aufnahme von 1988 reproduziert und dann 10 Jahre fortgeschrieben. Der Fortschreibung liegt die registrierte Behandlung und natürliche Mortalität der Inventurbestände zugrunde. Damit wurden Unsicherheiten bei der Nachbildung von Durchforstung und Mortalität weitgehend ausgeschaltet. Die mit SILVA 2.2 fortgeschriebenen Baum- und Bestandesdaten stehen dann für einen Vergleich mit den Betriebsinventurergebnissen für das Jahr 1998 zur Verfügung.

Die Ergebnisse der Validierung haben gezeigt, dass die Durchmesserzuwächse bei der Prognose im Vergleich zur realen Entwicklung systematisch unterschätzt werden ($\bar{\epsilon} = -1,0$ cm pro 10 Jahre) und die Treffgenauigkeit einer solchen Prognose bei $m_x = 0,222$ cm pro Jahr liegt ($P = 68\%$).

Der Vergleich von geschätzten und gemessenen Volumenzuwächse bestätigt die Unterschätzung des prognostizierten Zuwachses in dieser Wachstumsperiode ($\bar{\epsilon} = -1,89$ m³/ha/J). Die Verzer-

rung ist vermutlich noch höher, da die realen Volumenzuwächse im Rahmen der Forsteinrichtung nur ab einem $d_{1,3}$ von 10 cm berechnet wurden. Die Treffgenauigkeit der Volumenzuwachsschätzung liegt bei 26,4% ($P = 68\%$) und bezieht sich auf einen konzentrischen Probekreis. Für einen Bestand mit 10 Inventurpunkten und bei $P = 95\%$ beträgt der Wert 17,2%.

7. DISKUSSION

Die Überprüfung des Modellansatzes, die Validierung des biometrischen Modells und die Beurteilung der Software sind Evaluierungsschritte, die nicht nur einmalig ausgeführt werden; vielmehr sind Modellentwicklung und Evaluierung rückgekoppelt und als iterativer Prozess zu verstehen (Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, 2000; VANCLAY und SKOVGAARD, 1997; PRETZSCH, 2001). Die Übereinstimmung des Verhaltens von Modell und Wirklichkeit bedeutet nicht zwangsläufig, dass die dem Modell zugrunde liegenden Hypothesen über die Strukturen und Prozesse der Wirklichkeit entsprechen. Erst wenn Prüfungen des Modellverhaltens an einem breiten Datenmaterial keine Falsifizierung erbringen, wächst das Vertrauen in die Gültigkeit der dem Modell zugrundeliegenden Hypothesenkette. So gesehen sind die dargestellten Ansätze und Ergebnisse Ausschnitt einer umfassenden Evaluierung des Modells SILVA 2.2 (DURSKÝ, 1999, 2000; KAHN und PRETZSCH, 1998; PRETZSCH, 1999, 2001). Weitere Anwendungen und Evaluierung des Simulators auf verschiedenen Raumskalen behandeln u. a. DEEGEN et al. (2000), HANEWINKEL und PRETZSCH (2000), KNOKE (1998) und UTSCHIG (1999).

Bei der Prognose des Durchmesserzuwachses kann man durchschnittlich eine Treffgenauigkeit von 30% bis 35% ($P = 68\%$) erwarten. In strukturarmen Beständen ist die Treffgenauigkeit höher (ca. 20%), in strukturreichen und dichten Beständen niedriger (40% bis 45%). Bei der Interpretation der festgestellten Genauigkeit muss man beachten, dass sie sich auf Einzelbaumprognosen bezieht. Bei der mittleren Prognose für ein Baumkollektiv mit n Bäumen wird diese Genauigkeit im allgemeinen mit zunehmendem n ansteigen. Im theoretischen Idealfall – unverzerrte Prognosen und statistische Unabhängigkeit der Einzelbäume – würde sie proportional zu \sqrt{n} zunehmen. Unter diesen Voraussetzungen könnte man schon in einem Bestand mit 100 Bäumen einen mittleren Fehler der Durchmesserzuwachsprognose ($P = 95\%$) von 6% bis 7% erwarten. Die Prognosen sind in Einzelfällen auch mit Verzerrungen verbunden, die mit großer Wahrscheinlichkeit von der Witterung verursacht sind. Deswegen spielen Terminierung und Länge der Referenzperiode für die Validierung des Wachstumsmodells eine große Rolle und können die Beurteilung des Modells stark beeinflussen (WINDHAGER, 1999). Um dies zu vermeiden, sollten die Beobachtungsperioden mindestens 10 Jahre bis 15 Jahre lang und über mehrere Zeitabschnitte verteilt gewählt werden. Von großer Bedeutung ist die Validierung des Gesamtmodells anhand der Volumenzuwächse, da diese eine wichtige Grundlage für waldbauliche und wirtschaftliche Entscheidungen darstellen. Die Untersuchung zeigte, dass der Volumenzuwachs eines Fichtenbestandes im Durchschnitt verzerrungsfrei prognostiziert wird und die Treffgenauigkeit einer Prognose ($P = 68\%$) bei 19,8% liegt. Im Vergleich zu mittleren Verzerrungen von bis zu 120% und entsprechend geringen Treffgenauigkeiten, die nach REIMEIER (2000) bei der Volumenzuwachsschätzung mit den in Süddeutschland gebräuchlichen Ertragstafeln von ASSMANN und FRANZ (1963) in Fichtenbeständen auftreten, ist die mit dem Simulator SILVA 2.2 erzielte Treffgenauigkeit also wesentlich höher. Eine 30-jährige Prognose des Vorrates eines Fichtenbestandes führt ebenfalls im Durchschnitt zu keiner systematischen Abweichung. Die Differenzen zwischen realen und prognostizierten Vorräten weisen aber einen zeitlichen Trend auf, der über die Veränderung des Wuchsbedingungen erklärbar ist. Das unterstreicht zum wiederholten

Male, dass bei langfristigen Prognosen eine Berücksichtigung der Standortbedingungen notwendig ist.

8. ZUSAMMENFASSUNG

Am Beispiel des Waldwachstumssimulators SILVA 2.2 werden Methoden und Ergebnisse der Evaluierung von Bestandessimulatoren vorgestellt. Einleitend werden die Begriffe Evaluierung und Validierung definiert. Die Validierung des biometrischen Modells ist ein zentraler Teil der Modellevaluierung. Sie besteht im Wesentlichen aus dem Vergleich zwischen Simulationsergebnissen und Beobachtungsdaten. Für die Baumart Fichte werden Verzerrung, Präzision und Treffgenauigkeit von Simulationsergebnissen berechnet. Grundlage dafür sind Messdaten von langfristigen Versuchsfeldern sowie von permanenten und temporären Inventurflächen. Bei der 5-jährigen Prognose des Durchmesserzuwachses von Einzelbäumen kann man durchschnittlich eine Genauigkeit von 30% bis 35% ($P = 68\%$) erwarten, bei einer entsprechenden Vorhersage des periodischen Volumenzuwachses pro ha eine Genauigkeit von 19,8% ($P = 68\%$) und bei der 30-jährigen Prognose des Bestandesvorrates 11,7% ($P = 68\%$). Die Validierungsergebnisse können stark von Witterung beeinflusst werden, wenn die Validierungsperiode zu kurz gewählt wird oder sich nur auf ausgewählte Jahressequenzen bezieht.

9. Summary

Title of the paper: *Evaluation of forest stand simulators on tree and stand level.*

Using the single tree simulator SILVA 2.2 as an example, methods and results of simulation model evaluation are presented. The paper begins with the definition of model evaluation and validation. Model validation as one important part of model evaluation consists mainly of a comparison between simulation results and observed data and between model behaviour and generally valid growth rules or theories. For Norway spruce the bias, precision and accuracy of simulation results are calculated, using long term experimental plots, permanent and temporary inventory plots in spruce stands as independent references. The diameter growth of single trees in a 5 years period is estimated by SILVA 2.2 with a mean accuracy of 30% to 35%, the corresponding accuracy of the volume growth of stands was 19.8% and the 30 years prognosis of standing volume 11.7%. The results of model validation are strongly influenced by weather conditions if the validation period is chosen too short or limited on special sequences of years.

10. Résumé

Titre de l'article: *Evaluation des simulateurs de l'accroissement de la forêt basés sur les arbres ou les peuplements.*

En prenant comme exemple le simulateur de l'accroissement de la forêt SILVA 2.2, on présente les méthodes et les résultats de l'évaluation des simulateurs de peuplements. En introduction on a défini les concepts évaluation et validation. La validation du modèle biométrique est une partie centrale de l'évaluation des modèles. Pour l'essentiel celle-ci résulte de la comparaison entre les résultats de la simulation et les données d'observation. Pour l'épicéa on a calculé les écarts, la précision et l'exactitude. Pour ce faire on se base sur les mesures effectuées dans les placettes d'expérience à long terme ainsi que dans les placettes d'inventaire, permanentes ou temporaires. En ce qui concerne la prévision de l'accroissement en diamètre sur cinq ans des arbres en tant qu'individus on peut espérer, en moyenne, une exactitude de 30% à 35% ($P = 68\%$); en ce qui concerne le pronostic de l'accroissement périodique en volume à l'hectare correspondant l'exactitude est de 19,8% ($P = 68\%$); pour la prévision à 30 ans du volume du

peuplement, elle ressort à 11,7% ($P = 68\%$). Les résultats de la validation peuvent être profondément modifiés par les conditions météorologiques lorsqu'on a choisi une période de validation trop courte ou bien que celle-ci ne porte que sur des séquences d'années déterminées.

J. M.

11. Literatur

- Brockhaus: Die Enzyklopädie: in 24 Bänden. – 20. überarbeitete und aktualisierte Auflage - Leipzig; Mannheim: Brockhaus, 1994
- Brockhaus: Die Enzyklopädie: in 24 Bänden. – 20. überarbeitete und aktualisierte Auflage - Leipzig; Mannheim: Brockhaus, 1997
- DEEGEN, P., STÜMER, W., VILLA, W. und PRETZSCH, H.: Zur finanziellen Analyse der Waldpflegeentscheidung bei Berücksichtigung der Biodiversität, dargestellt am Beispiel der Fichte in Sachsen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 119, 226–244, 2000
- Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten: Empfehlungen zur Einführung und Weiterentwicklung von Waldwachstumssimulatoren. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 171(3), 52–57, 2000
- ĐURSKÝ, J.: Modellvalidierung durch Vergleich von Prognose und Wirklichkeit. Jahrestagung 1999 der Sektion Ertragskunde des DVFFA in Volpriehausen, Tagungsbericht, S. 33–44, 1999
- ĐURSKÝ, J.: Einsatz von Waldwachstumssimulatoren für Bestand, Betrieb und Großregion. Habilitationsschrift der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität München, 223 S., 2000
- HANEWINKEL, M. und PRETZSCH, H.: Modelling the conversion from even-aged stands of Norway spruce (*Picea abies* L. KARST.) with a distance-dependent growth simulator. Forest Ecology and Management 134, S. 55–70, 2000
- HASENAUER, H.: Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien, 152 S., 1994
- KAHN, M. und PRETZSCH, H.: Parametrisierung und Validierung des Wachstumsmodells SILVA 2.2 für Rein- und Mischbestände aus Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche und Erle. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde des DVFFA, Kevelaer, S. 18–34, 1998
- KNOKE, TH.: Analyse und Optimierung der Holzproduktion in einem Plenterwald- zur Forstbetriebsplanung in ungleichaltrigen Wäldern. Forstliche Forschungsberichte München, H. 170, 198 S., 1998
- NAGEL, J.: Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Norddeutschland. Schriften aus der Forstl. Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstl. Versuchsanstalt, Band 128. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M., 122 S., 1999
- POPPER, K. R.: Logik der Forschung. Verlag J. C. B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen. 477 S., 1984
- PRETZSCH, H.: Growth trends in Forests in southern Germany. In: SPIECKER, H., MIELIKÄINEN, K., KÖHL, M. und SKOVGAARD, J. P. (Hrsg.): Growth trends in european forests. Springer-Verlag, S. 107–131, 1996
- PRETZSCH, H.: Zur Evaluierung von Wachstumsmodellen. In: KENK, G. (Hrsg.): Beiträge zur Jahrestagung 1999 der Sektion Ertragskunde des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten. S.1–23, 1999
- PRETZSCH, H.: Modellierung des Waldwachstums. Blackwell Wissenschaft. Berlin, 336 S., 2001
- REIMEIER, S.: Modelle zur Korrektur von Ertragstafelwerten aus Daten der permanenten Stichprobeninventur. Viertes Statusseminar des Kuratoriums mit Berichten aus laufenden Forschungsprojekten von LWF und Forstwissenschaftlicher Fakultät, 1–11, 1999
- RÖHLE, H.: Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern. Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns, 48. Heft, München. 272 S., 1995
- SCHÖPFER, W., HRADETZKY, J. und KUBLIN, E.: Wachstumsänderungen der Fichte in Baden-Württemberg. Forst und Holz, 49(21), 633–644, 1994
- STERBA, H.: PROGNAUS – Ein Validierungsbeispiel. Bericht von der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten in Volpriehausen. S. 24–32, 1999
- STERBA, H., MOSER, M. und MONSERUD, R.: PROGNAUS – Ein Waldwachstumssimulator für Rein- und Mischbestände. Österreichische Forstzeitung, H. 5, 19–20, 1995
- UTSCHIG, H.: Reconversion of pure spruce stands into mixed forests: an ecological and economic valuation. In: OLSTHOORN, A. F. M., BARTELINK, H. H., GARDINER, J. J., PRETZSCH, H., HEKHUIS, H. J. and FRANCO, A. [Eds.]: Management of mixed-species forest: silviculture and economics. IBN Scientific Contributions 15, Institute for Forestry and Nature Research, Wageningen, p. 319–330, 1999
- VANCLAY, J. K. und SKOVGAARD, J. P.: Evaluating forest growth models. Ecological Modelling, 98, 1–12, 1997
- WINDHAGER, M.: Evaluierung von vier verschiedenen Wachstumssimulatoren. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Universität für Bodenkultur, Wien, 217 S., 1999