

AFZ

DerWald

Sonderdruck aus
Allgemeine Forst Zeitschrift Nr.

18
1999



In Echtzeit durch den virtuellen Wald

Wissenschaftliche Visualisierung des Waldwachstums

Von Hans Pretzsch und Stefan Seifert, Weißenstephan



BLV Verlagsgesellschaft mbH
Lothstraße 29 • 80797 München

Probeheft gratis
Tel.: 089/12705-219

In Echtzeit durch den virtuellen Wald

Wissenschaftliche Visualisierung des Waldwachstums

Von Hans Pretzsch und Stefan Seifert, Weihenstephan

Die dreidimensionale Visualisierung ergänzt die individuenbasierte Modellierung des Waldwachstums und eröffnet neue Möglichkeiten der Erkenntnisgewinnung und Informationsvermittlung. Mit walkthrough und Landschaftsbildsimulation werden Methoden der wissenschaftlichen Visualisierung beschrieben, die der Veranschaulichung natürlicher Entwicklungen und menschlicher Operationen im Wald dienen. Sie können die forstwissenschaftliche Lehre und Forschung und die forstwirtschaftliche Praxis unterstützen, reichen aber u.a. auch in die Bereiche Landschaftsplanung und Naturschutz hinein.

Unter wissenschaftlicher Visualisierung verstehen wir den Einsatz von Grafikprogrammen für die Aufbereitung und Erschließung von Wissen, das in Messungen und Simulationsergebnissen steckt [1]. Die Visualisierung von Makrostrukturen auf Einzelbaum-, Bestandes- und Landschaftsebene dient der Veranschaulichung und Analyse von Messdaten, der modellhaften Nachbildung von Untersuchungsobjekten und der didaktischen Vermittlung forstwissenschaftlicher Forschungsergebnisse. Sie bringt den Paradigmenwechsel vom Bestandesdenken zum Einzelbaumansatz methodisch wirkungsvoll voran.

Echtzeit-„Walkthrough“

Während Bestandesaufrisse, Kronenkarten oder Raumbesetzungsmuster Bäume und Bestand nur aus einem zuvor definierten Blickwinkel darstellen können [2, 3, 4, 5], erlaubt das Programm TREEVIEW die Betrachtung des Bestandes aus allen beliebigen Positionen [6, 7, 8]. Auf Abb. 1 (links) werden die im Fichten-Buchen-Mischbestands-Versuch 813/1 enthaltenen Buchengruppen, die Partien aus reiner Fichte und die für die Untersuchungen im Rahmen des DFG-Sonderforschungsbereiches 607 besonders interessanten gemischten Zonen im Zentrum der Versuchsfläche sichtbar. Über eine solche

statische Darstellung hinaus erlaubt das Programm dem Benutzer die Bewegung durch den Bestand in Echtzeit. Der Programmbenutzer kann eine bodengebundene Bewegung durch den Bestand wählen und bei diesem so genannten Walkthrough (durchwandern) einen wirklichkeitsnahen Einblick beim virtuellen Durchqueren des Bestandes gewinnen, wie er der terrestrischen Perspektive entspricht. Die gewünschte Bewegung durch den Bestand lässt sich über die Tastatur und die Maus des Computers steuern. Außerdem sind aber auch beliebige Bewegungen durch den Bestand oberhalb des Bestandesbodens möglich. Bei dieser in allen Dimensionen freien Bewegung durch den Bestand, dem virtuellen „flythrough“, sammelt der Benutzer Eindrücke von der Bestandesstruktur, die bei bodengebundener Bewegungsform nicht zugänglich wären (Abb. 1, rechts).

Möglich wird dies durch die Nachbildung aller Einzelbäume mit dreidimensionalen Körpern. Als Datenbasis dienen Einzelbauminformationen aus Versuchsflächenaufnahmen oder die Resultate positionsabhängiger Einzelbaummodelle. Auf der Basis von Kronenformmodellen [6] und Stammformmodellen erfolgt eine rotationssymmetrische Nachbildung der Kronenperipherie und der Stämme. Die Krone wird zunächst durch Kegel und Kegels stumpfe approximiert, welche dann für die grafische Nachbildung in Pyramiden und Pyramidenstümpfe umgewandelt werden. Die Darstellung der Kronenperipherie erfolgt letzten Endes durch eine Anzahl von Dreiecken, aus denen sich die Oberfläche der Pyramiden aufbaut. Zur Steigerung der Wirklichkeitsnähe wird auf die Kronen- und Stammoberfläche ein aus entsprechenden Fotos übernommenes arttypisches Oberflächenmuster projiziert.

Um eine hohe Darstellungsgeschwindigkeit zu gewährleisten, wird darauf verzichtet, jedes Detail der Bäume als geometrisches Element nachzubilden. Vielmehr werden Feinheiten wie Blätter, Äste und Rindenstruktur durch vorgegebene Grundmuster ersetzt. Ähnlich wird auch mit dem Bestandesboden verfahren, über den je nach Anwendungszweck ein durch Fotos vorgegebenes Grundmuster gelegt werden kann. Die Bodenoberfläche wird auf der Basis der Stammfußkoordinaten erzeugt, die in den Einzelbaumdaten enthalten sind. Durch DELAUNAY-Triangulierung zwischen den Stammfußkoordinaten, die auch die z-Koordinate, d. h. die Standpunkthöhe des Baumes umfassen, werden die Bodenoberfläche und das Höhenprofil des Geländes ausreichend genau nachgebildet. Mit den dreidimensionalen Baumkörpern und dem Geländeprofil, auf dem die Bäume stocken, verfügt der Rechner über alle Daten, die für eine dreidimensionale Darstellung des Bestandes aus beliebiger Blickrichtung notwendig sind [8, 9, 10].

Werden neben der statischen Darstellung auch Bewegungen durch den Bestand gewünscht, so setzt dies eine hohe Darstellungsgeschwindigkeit voraus, wie sie durch Sichtweitenbeschränkung, Multiresolution-Verfahren [11] und Abbildung von Mikrostrukturen über Fototexturen möglich wird. Diese Maßnahmen der Optimierung erbringen eine Darstellungsgeschwindigkeit von 15 bis 20 Bildern pro Sekunde und eine stetige, fließende Bewegung durch beliebige Zonen des Bestandes.

Da das Programm TREEVIEW jeden Einzelbaum als individuellen Körper und Objekt nachbildet, kann er auch mit Hilfe der Maus ausgewählt werden, so dass der Benutzer Informationen über die Dimensionen des Baumes, die Abstände zu seinen Nachbarn, seine Vitalität usw. abfragen kann. Diese Selektion per Maus ermöglicht außerdem waldbauliche Operationen. Bäume können hinsichtlich ihrer Dimension, Vitalität und Wuchskonstellation begutachtet, als Z-Bäume markiert, ausgezeichnet, entnommen oder auch wieder eingefügt werden (Abb. 2). Die Visualisierung dient dann der Dokumentation vermessener Bestandesstrukturen und vermittelt Bestandesansichten und

Prof. Dr. H. Pretzsch ist Leiter des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde an der Universität München/Weihenstephan. Dipl.-Informatiker (FH) St. Seifert ist technischer Angestellter am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde. Die Entwicklungsarbeiten werden vom Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie gefördert.

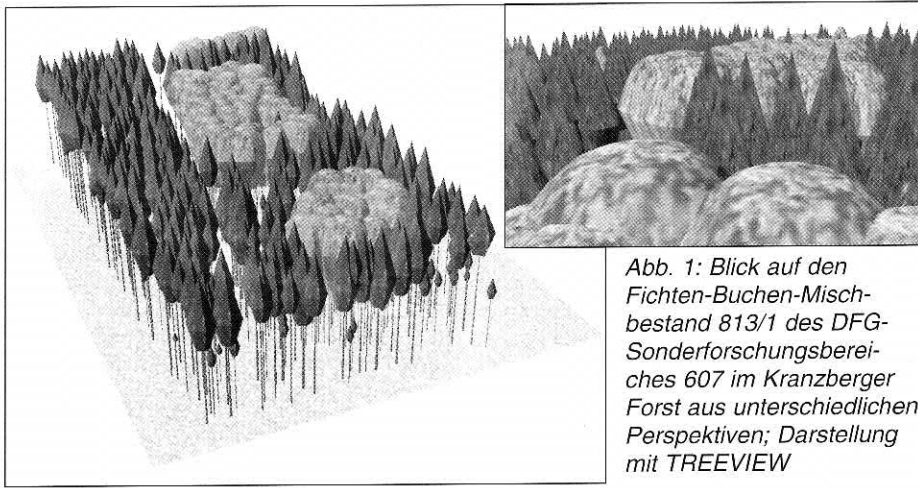


Abb. 1: Blick auf den Fichten-Buchen-Mischbestand 813/1 des DFG-Sonderforschungsbereiches 607 im Kranzberger Forst aus unterschiedlichen Perspektiven; Darstellung mit TREEVIEW

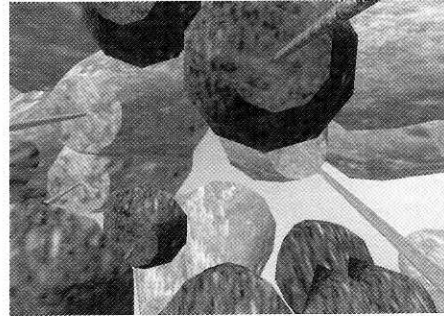


Abb. 2: Das Programm TREEVIEW erlaubt ein umfassendes Betrachten, Markieren, Selektieren und Entnehmen von Einzelbäumen beim „Walkthrough“.

Perspektiven, die sonst nur mit großem Aufwand zugänglich wären. Solche virtuelle Waldstrukturen sind unter anderem für das Training von Auswahlverfahren bei Durchforstungen, Holzerntemaßnahmen, militärische Operationen oder Landschaftsplanung am Computer nutzbar.

Die Anbindung des Visualisierungsmoduls an den Einzelbaumsimulator SILVA 2.2 erlaubt, in dem wirklichkeitsnah dargestellten Bestand Steuerungsmaßnahmen durchzuspielen, deren ökonomische und ökologische Auswirkungen zu berechnen und die Simulationsergebnisse anschaulich darzustellen. Indem der Simulator SILVA 2.2 die Wachstumsreaktionen auf Behandlungseingriffe durch Zeitreihen der erzeugten Bestandesmakrostrukturen visualisiert, eignet er sich in besonderer Weise für die Veranschaulichung von

„Wenn-Dann“-Aussagen und kausales Argumentieren im Rahmen von Beratung, Schulung und Lehre. Die Kombination aus Simulator und Visualisierungsroutine greift also die besondere Fähigkeit des Menschen zur Mustererkennung auf und unterstützt sein eher mangelhaftes Vorstellungs- und Erinnerungsvermögen in Bezug auf langfristige Reaktionen des Waldes auf Behandlungsmaßnahmen.

Landschaftsvisualisierung

Bestandesübergreifende Planungs- und Kontrollmaßnahmen können durch dreidimensionale Landschaftsvisualisierung unterstützt werden, bei der nicht nur einzelne Bestände, sondern ganze Landschaftsausschnitte dargestellt werden. Aus verfügbaren Daten zu Landschaftsre-

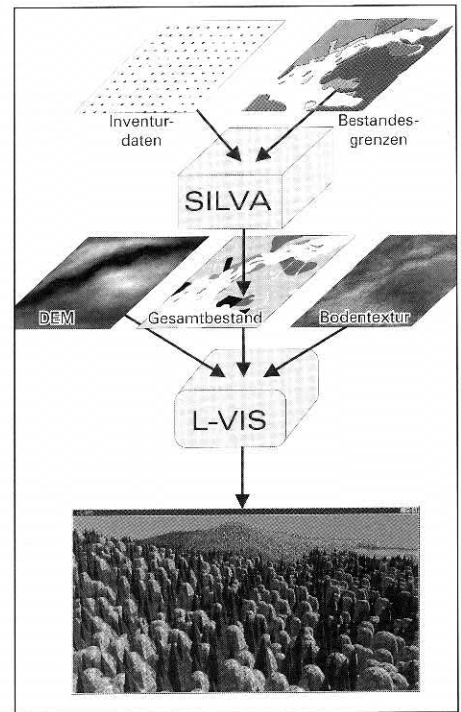


Abb. 3: Das Landschafts-Visualisierungsprogramm L-VIS baut aus dem Höhenrelief (DEM), aus Bestandesdaten (die mit dem Simulator SILVA aus Inventurdaten erzeugt werden) und der Bodentextur (die aus Luftbildern übernommen werden kann) dreidimensionale Landschaftsausschnitte auf, die aus beliebiger Richtung betrachtet werden können.

lief, Oberflächenstruktur, Bestandesgrenzen und Bestockungsform werden dreidimensionale Landschaftsbilder erstellt, auf die der Benutzer wiederum aus frei wählbarer Position blicken kann. Durch die Kopplung mit einzelbaumorientierten Wachstumsmodellen werden neben reinen Zustandsbildern auch wirklichkeitsnahe Waldentwicklungen abbildbar, etwa die langfristige Veränderung des Landschaftsbildes durch Aufforstungen, Waldumbau oder Erschließung.

Das Landschafts-Visualisierungsprogramm L-VIS fertigt die Bestandesbilder

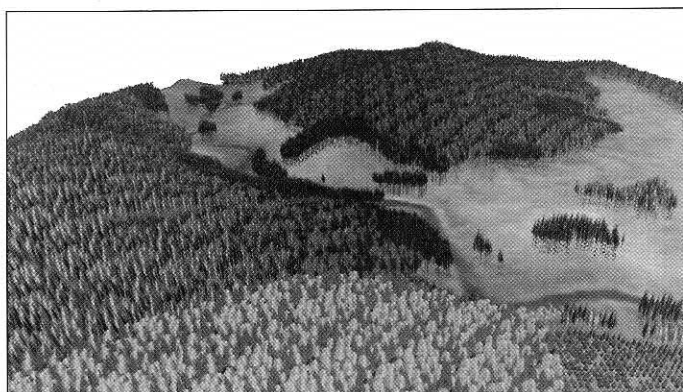


Abb. 4: Mit dem Programm L-VIS erzeugter Landschaftsausschnitt mit Rein- und Mischbeständen aus Fichte und Buche aus unterschiedlichen Perspektiven.



wie das zuvor dargestellte Programm TREEVIEW an, nachdem die Makrostrukturen des Landschaftsausschnittes modelliert sind (Abb. 3).

- In einem ersten Schritt werden hierfür aus einem digitalen Geländemodell **Höheninformationen** abgegriffen, womit für den betrachteten Landschaftsausschnitt Rasterdaten über das dreidimensionale Relief des Bodens vorliegen. Im vorliegenden Beispiel werden für einen Landschaftsausschnitt der Größe 1.200 m x 1.200 m insgesamt 64 x 64 Höhenpositionen aus dem Geländemodell abgegriffen, so dass damit jeweils für Rasterquadrate von 18 m x 18 m Höheninformationen bereitstehen.
- In einem zweiten Schritt können aus Luftbildern **Oberflächenstrukturen** wie Straßen, Flüsse in ihrer Textur abgegriffen und über das dreidimensionale Relief des Bodens gelegt werden. Ebene Objekte müssen bei einem solchen Vorgehen somit nicht zusätzlich erzeugt werden, sondern sie können durch die aus dem Luftbild abgegriffene Textur abgebildet werden, was den Speicherplatzbedarf senkt und die Darstellungsgeschwindigkeit steigert.
- In einem dritten Schritt werden aus Forsteinrichtungskarten oder einem geographischen Informationssystem (GIS) die **Bestandesgrenzen** übernommen, so dass dann
- in einem vierten Schritt die voneinander abgegrenzten Einheiten mit **wirklichkeitsnahen Waldstrukturen** ausgefüllt werden können. Bestmögliche Informationen bieten hier die klassischen Informationen der Forsteinrichtung oder die Ergebnisse von Rasterstichproben, aus denen für jede ausgeschiedene Einheit die Struktur des Bestandes abgeleitet werden kann.

In seiner jetzigen Version greift das Programm L-VIS auf Musterbestände zurück, welche die wichtigsten Bestandesstrukturen in dem betrachteten Landschaftsausschnitt repräsentieren. Musterbestände und Bestandeskarte werden dann verknüpft und jede Einheit auf der Bestandeskarte wird mit einem wirklichkeitsnahen Musterbestand der zutreffenden Artzusammensetzung, Altersphase und Struktur ausgefüllt. Die Musterbestände lassen sich von einem positionsabhängigen Einzelbaummodell erzeugen. Genau wie bei dem dreidimensionalen „walkthrough“ wird jeder Baum als dreidimensionaler Körper dargestellt, sodass das entstehende Bild aus beliebiger Blickrichtung betrachtet werden kann (Abb. 4).

Die Kopplung an das Einzelbaummodell SILVA erbringt eine Konsistenz von Kronenmodellen und erzeugten Bestandesstrukturen und ebnet den Weg zur Dynamisierung der erstellten Landschaftsbilder. Um eine Lauffähigkeit der Programme TREEVIEW und L-VIS auf den verschiedensten Rechnerplattformen gewährleisten zu können, wurden sie in der Programmiersprache C++ geschrieben; sie stützen sich bei der Grafikausgabe auf die Grafiksprache OpenGL [12].

Visualisierung des Waldwachstums

Die individuenbasierte Modellierung [13, 14] und die dreidimensionale Visualisierung [1, 8, 11, 15] bilden heute zwei sich ergänzende Entwicklungen, die der Waldwachstumsforschung neue Möglichkeiten der Erkenntnisgewinnung und Informationsvermittlung eröffnen. Mit dem Übergang zur einzelbaumorientierten Modellierung des Waldwachstums [6, 7, 16, 17, 18, 19] wird die Informationseinheit im Modell identisch mit der Grundeinheit der Population. Gegenüber Modellen, die die Bestandesentwicklung auf der Grundlage von Häufigkeitsverteilungen, Mittelwerten oder Summenwerten nachbilden, ist die Beschreibungsebene in Einzelbaummodellen identisch mit der Ebene der biologischen Anschauung.

Dank der Entwicklungsfortschritte bei der dreidimensionalen Visualisierung lassen sich die Ergebnisse individuenbasierter Modelle mit immer größerer Wirklichkeitsnähe darstellen. Damit wird eine Skalengleichheit von der biologischen Anschauung über die Modellierung bis zur Visualisierung ermöglicht, wie sie bisher nicht bestand. Gegenüber anderen Ansätzen der Visualisierung [20, 21] stehen hinter den hier dargestellten Grafiken wegen der Anknüpfung an das Modell SILVA 2.2 wirklichkeitsnahe forstwissenschaftliche Daten. Die sichtbar gemachten Strukturen abstrahieren real existierende Bestände und aus den Strukturen werden Konkurrenz- und Nachbarschaftsverhältnisse für eine wirklichkeitsnahe Prognose abgegriffen.

Die positive Ergänzung der beiden Entwicklungslinien Visualisierung und Individuenbasierung besteht nun darin, dass die durch individuenbasierte Visualisierung erzeugten Bestandesbilder vom Menschen viel unmittelbarer erfasst, interpretiert und beurteilt werden können, als abstraktere Beschreibungsgrößen wie Durchmesserverteilungen oder hektarbezogene Leistungsgrößen.

Durch die Modellierung und Visualisierung auf der biologischen Anschauungsebene wird die besondere Fähigkeit des Menschen zur Mustererkennung für die Modellentwicklung, Modellvalidierung und Modellanwendung nutzbar gemacht. Zum einen können Modellergebnisse aus Szenariorechnungen, Durchforstungstraining oder Standraumexperimenten am Computer auf der Ebene veranschaulicht werden, auf der sie in der Praxis auch erfahren werden. Indem die vom Modell erzeugten Nachbarschaftsverhältnisse, Kronendimensionen oder Flächenverteilungen von Entnahmebäumen bei definierten Behandlungskonzepten durch bloße Anschauung überprüft werden, entsteht außerdem eine wirksame Plausibilitäts-

kontrolle und damit eine Rückwirkung auf die Parameterfindung und Modellkonstruktion.

Die individuenbasierte dreidimensionale Visualisierung reicht also über die reine Ergebnisdarstellung hinaus bis zur Modellvalidierung und -optimierung. Insbesondere beim „Walkthrough“ mit Durchforstungsoption erfährt der Benutzer von positionsabhängigen Bestandsmodellen den Einzelbaum als Grundeinheit der Population, Informationseinheit des Modells sowie als Objekt der biologischen Anschauung und der waldbaulichen Operation.

Mit der Visualisierung der nach Einzelbäumen aufgelösten Makrostruktur von Beständen wird der Paradigmenwechsel vom Bestandesdenken zum Einzelbaumansatz methodisch vorangebracht.

Nähere Informationen über Konzeption, Aufbau und Einsatzmöglichkeiten der erwähnten EDV-Programme werden unter
<http://www.www.forst.uni-muenchen.de>
ausgearbeitet.

Literaturhinweise:

- [1] BRODLIE, K. W.; CARPENTER, L. A.; EARNSHAW, R. A.; GALLOP, J. R.; HUBBOLD, R. J.; MUMFORD, A. M.; OSLAND, C. D.; QUARENDON, P., 1992: Scientific Visualization, Techniques and Applications, Springer-Verlag, 284 S. [2] BONNEMANN, A., 1939: Der gleichaltrige Mischbestand von Kiefer und Buche, Mitteilungen aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft, 10. Jg., H. 4, Verlag M. und H. Schaper, Hannover, 45 S. [3] KÖSTLER, J. N., 1953: Waldpflege, Paul Parey Verlag, Hamburg, Berlin, 200 S. [4] MAYER, H., 1984: Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 514 S. [5] PRETZSCH, H., 1992: Zur Analyse der räumlichen Bestandesstruktur und der Wuchskonstellation von Einzelbäumen, Forst und Holz, 47. Jg., H. 14, S. 408-418. [6] PRETZSCH, H., 1992: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände, Forstliche Forschungsberichte München, Band 115, 358 S. [7] PRETZSCH, H. und KAHN, M., 1996: Wuchsmodelle für die Unterstützung der Wirtschaftsplanung im Forstbetrieb, Anwendungsbeispiel: Variantenstudie Fichtenreinbestand versus Fichten/Buchen-Mischbestand, Allgemeine Forstzeitschrift, 51. Jg., H. 25, S. 1414-1419. [8] SEIFERT, S., 1998: Dreidimensionale Visualisierung des Waldwachstums, Dipl.-Arbeit im Fachbereich Informatik der Fachhochschule München in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Ludwig-Maximilians-Universität München, 133 S. und Anh. [9] HELLER, M., 1990: Triangulation algorithms for adaptive terrain modelling. In: Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Datahandling, S. 163-174. [10] MIDTBØ, T., 1993: Spatial Modelling by Delaunay Networks of Two and Tree Dimensions. University of Trondheim. [11] FOLEY, J. D.; v. DAM, A.; FEINER, S. K.; HUGHES, J. F., 1996: Computergraphics, Principles and practice. Second edition in C. Reading Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1174 S. [12] WOO, M.; NEIDER, J. und DAVIS, T., 1997: OpenGL Programming Guide. 2. Auflage, Reading Massachusetts: Addison-Wesley Developers Press. [13] DeANGELIS, D. L. und GROSS, L. J., 1992: Individual-based models and approaches in ecology: Populations, communities and ecosystems, Chapman and Hall, New York/London, 525 S. [14] JUDDSON, O. P., 1994: The rise of the individual-based model in ecology. Trends in Ecology and Evolution, Vol. 9, S. 9-14. [15] FELLNER, W. D., 1992: Computergrafik. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Mannheim, BI-Wissenschaftsverlag, 418 S. [16] HASENAUER, H., 1994: Ein Einzelbaumwachstumsimulator für ungleichaltrige Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände, Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien, 152 S. [17] HAUHS, M.; KASTNER-MARESCHE, A.; ROST-SIEBERT, K., 1995: A model relating forest growth to ecosystem-scale budgets of energy and nutrients, Ecological Modelling, 83. Jg., S. 229-243. [18] NAGEL, J., 1996: Anwendungsprogramm zur Bestandesbewertung und zur Prognose der Bestandesentwicklung, Forst und Holz, 51. Jg., H. 3, S. 76-78. [19] STERBA, H.; MOSER, M. und MONSERUD, R., 1995: Prognaus - Ein Waldwachstumsimulator für Rein- und Mischbestände, Österreichische Forstzeitung, H. 5, S. 19-20. [20] McCARTER, J.; B., WILSON, J.; NELSON, CH., E.; BARKER, P.; MOFFETT, J., 1998: Landscape Management System User's Manual, LMS Version 1.6, 177 S. [21] McGAUGHEY, R., 1997: Stand Visualization System, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Electronic distribution version, 52 S.