

# **Entwicklung von Methoden zur GIS- gestützten Visualisierung von Waldentwicklungsszenarien**

**Dissertation**

zur Erlangung des Doktorgrades

der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie

der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von Diplom-Forstwirt Falk-Juri Knauff

geboren in Rüdersdorf

Göttingen 2000

D7

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h.c. Branislav Sloboda
2. Berichterstatter: PD Dr. Winfried Kurth
3. Berichterstatter: Prof. Dr. Klaus von Gadow

Tag der mündlichen Prüfung: 14. April 2000

Erschienen im Internet unter:

<http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2000/knauft/inhalt.htm>

## **Danksagung**

Die vorliegende Arbeit entstand am Institut für Forstliche Biometrie und Informatik der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. B. Sloboda.

Bei ihm bedanke ich mich für die Bereitstellung des Themas, der Infrastruktur des Institutes und die Finanzierung der Endphase dieser Arbeit. Der zügige Abschluß des Projektes wurde erst durch seine Unterstützung und fachliche Betreuung ermöglicht.

Herrn PD Dr. W. Kurth sowie den Mitgliedern der Arbeitsgruppe Pflanzenmodellierung möchte ich für die Einführung in die Welt virtueller Wälder sowie die fachliche Betreuung danken. Gleichzeitig gilt mein Dank dem CIRAD in Montpellier, insbesondere Herrn Dr. Ph. de Reffye und Herrn Dr. F. Houllier, daß ich das System AMAP nutzen konnte und mit den neuesten Versionen versorgt wurde.

Der Waldwachstumssimulator SILVA wurde vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität München zur Verfügung gestellt. Ich möchte mich hierfür bei dessen Leiter Herrn Prof. Dr. H. Pretzsch und bei Herrn Dr. A. Pommerening für die Einführung in das Programm bedanken.

Die Projektfinanzierung erfolgte unter anderem über das Graduiertenstipendium des Landes Niedersachsen. Ich bedanke mich hiermit bei den Bürgern des Landes für diese Förderung meiner wissenschaftlichen Laufbahn.

Ich danke den Mitarbeitern, Mitarbeiterinnen, Doktoranden und Doktorandinnen des Institutes für Forstliche Biometrie und Informatik sowie des Institutes für Waldbau der Tropen und Subtropen, die mich auf meinem Weg begleitet, gefördert und gefordert haben.

Mein ganze Dankbarkeit gilt meinen Eltern und meiner Freundin Nora, die mir mit viel Liebe und Geduld die Kraft gaben, meine Ziele zu erreichen.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Problemanalyse</b>	<b>3</b>
2.1	Die Struktur des Waldes	3
2.2	Rahmenbedingungen des Projektes	4
2.2.1	Materielle Ausstattung	4
2.2.2	Praxisbezug	5
2.2.3	Aktualität der Hard- und Softwarelösungen	6
2.2	Ziele der Untersuchung	7
<b>3</b>	<b>Simulation und Visualisierung der Waldentwicklung</b>	<b>9</b>
3.1	Waldwachstumsmodellierung	9
3.1.1	Geschichtlicher Abriß und methodisches Umfeld	9
3.1.2	Grundansätze zur Waldwachstumsmodellierung	10
3.1.2.1	Einzelbaumweise Modellierung mit einfachen Wachstumsfunktionen	10
3.1.2.2	Einzelbaumweise Modellierung über die Verfügbarkeit von Ressourcen	11
3.1.2.3	Einzelbaumweise prozeßorientierte Wachstumsmodellierung	13
3.1.2.4	Einzelbaumweise strukturorientierte Wachstumsmodellierung	14
3.1.2.5	Einzelbaumweise sensitive strukturorientierte Wachstumsmodellierung	15
3.1.3	Aktuelle Systeme	16
3.2	Strukturen virtueller Bestände	18
3.2.1	Die räumliche und zeitliche Dimension von Prozessen	19
3.2.2	Erhebung der Bestandesstrukturparameter im Freiland	21
3.2.3	Erhebung der räumlichen Struktur im Luftbild	22
3.2.4	Generierung von räumlichen Einzelbaumstrukturen	25
3.2.4.1	Generierung der räumlichen Verteilung der Baumkoordinaten	25
3.2.4.2	Generierung von Einzelbaumparametern	29
3.3	Visualisierung von Bäumen, Beständen und Waldlandschaften	31

3.3.1	Geschichtlicher Abriß und Forschungsstand	31
3.3.2	Aktuelle Systeme	32
3.3.3	Integration von Objekten in Landschaften	38
3.4	Bewertung von Eingriffen durch räumliche Modellierung	40
<b>4</b>	<b>Anforderungen an Modelle und Visualisierungssysteme sowie deren Restriktionen</b>	<b>43</b>
4.1	Anforderungen an moderne Visualisierungssysteme	43
4.2	Restriktionen zum gegenwärtigen Stand der Technik	45
<b>5</b>	<b>ViWa (Virtueller Wald) – ein modernes Visualisierungskonzept für dynamische räumliche Waldstrukturen</b>	<b>47</b>
5.1	Bestandteile von ViWa	47
5.1.1	Die GIS-basierte Datenbank	49
5.1.2	Der Waldwachstumssimulator SILVA	50
5.1.3	Das Visualisierungstool AMAP-Integral	51
5.2	Räumliche Datenintegration	56
5.3	Datentransfer zwischen den Teilsystemen in ViWa	57
5.3.1	Die AML-Makros	58
5.3.2	Das Programm NEWMAKESZENE	61
5.4	Problematik der Benutzeroberfläche für ViWa	62
5.5	Möglichkeiten multimedialer Präsentation mit ViWa	63
5.6	Vor- und Nachteile des Systems ViWa	64
5.6.1	Vorteile	64
5.6.2	Nachteile	64
<b>6</b>	<b>Anwendungen am Beispiel des „ErlebnisWaldes“</b>	<b>67</b>
6.1	Datenbasis	67
6.2	Darstellung eines Bestandes anhand einer Kronenprojektions- und Stammfußkarte	70
6.3	Integrierte Darstellung einer Waldlandschaft und ihrer Dynamik anhand von Forsteinrichtungsdaten	72

6.4	Darstellung der Entwicklung eines Bestandes als Folge forstlicher Eingriffe	75
6.5	Darstellung des Bestandesschattens am Boden im Tages- und Jahresgang als Informationsbasis zur Modellierung von Naturverjüngungen	77
6.6	Sukzession einer unbewirtschafteten Wiese	81
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>83</b>
7.1	Notwendigkeit für die Modellierung und hochdetaillierte Visualisierung von Waldlandschaften	83
7.2	Maße für die Praktikabilität der hochdetaillierten Visualisierung	84
7.2.1	Flexibilität	85
7.2.2	Genauigkeit der Struktur-, Wachstums- und Morphologiemodelle	85
7.2.3	Bedienbarkeit	86
7.3	Wege zur Optimierung der Rechenzeit	86
7.3.1	Generierung von Einzelbaumstrukturen	86
7.3.2	Einzelbaum- oder bestandesorientierte Modelle	87
7.3.3	Optimierung des Bildaufbaus	88
7.3.3.1	Wahl eines Szenenausschnittes	88
7.3.3.2	Images oder dreidimensionale Objekte im Szenenumfeld	88
7.4	Perspektiven für das Konzept ViWa	89
7.4.1	Zuverlässigkeit künftiger Systeme	89
7.4.2	Arbeitsgeschwindigkeit künftiger Systeme	90
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>91</b>
<b>9</b>	<b>Verzeichnisse</b>	<b>95</b>
9.1	Literatur	95
9.2	Tabellen	100
9.3	Abbildungen	101

<b>10</b>	<b>Anhang</b>	<b>105</b>
10.1	Arc/Info-AML-Makros	105
10.2	Source-Code von NEWMAKESZENE	122
10.3	Visualisierungs-Daten-Tabellen	126



# 1 Einleitung

Gegen Ende der siebziger Jahre wurde der Öffentlichkeit bewußt, daß der Wald kein starres, unveränderliches „Ding“ ist. Es vollzogen sich für jeden sichtbare Veränderungen, die bald unter dem Prozeßbegriff „Waldsterben“ zusammengefaßt wurden. Anfängliche naive Vorstellungen über Verursacher und Wirkungen mußten bald revidiert werden. Genaueres Wissen über die komplexen Vorgänge und Wechselwirkungen der Bäume mit den sie umgebenden Faktoren Boden, Klima und Biosphäre sowie deren Beeinflussung durch antropogenes Wirken wurde benötigt. Es entstand ein neuer fachübergreifender Forschungszweig, die Waldschadensforschung. Als institutionelle Einrichtung wurde an der Georg-August-Universität Göttingen im Januar 1984 das Forschungszentrum Waldökosysteme-Waldsterben unter der Leitung von Prof. Ulrich ins Leben gerufen (KRATZ et al., 1997; FZW, 1999a).

Das Forschungszentrums Waldökosysteme (FZW) generiert im Rahmen des aktuellen Vorhabens „Indikatoren und Strategien für eine nachhaltige, multifunktionelle Waldnutzung – Fallstudie Waldlandschaft Solling“ praxisnahe Waldentwicklungsszenarien auf der Basis von Umwandlungsstrategien, wie sie beispielsweise das niedersächsische Programm zur „Langfristigen Ökologischen Waldentwicklung“ LÖWE (NIEDERSÄCHSISCHES FORSTPLANUNGSAMT, 1992) beinhaltet und evaluiert diese dynamisch mit waldfunktionsbezogenen Indikatoren für die Regelungs-, Lebensraum-, Nutzungs-, Kultur- und Sozialfunktionen. Die Gestalt der Indikatoren soll es ermöglichen, die funktionsbezogene Nachhaltigkeit zu prüfen, wobei auch „ästhetische Präferenzen für eine Waldlandschaft im Rahmen der Erholungsfunktion“ eine wichtige Rolle spielen (FZW, 1999b). Die realitätsnahe und auf waldökosystemarem Wissen basierte virtuelle Konstruktion von Waldlandschaften ist hierzu einschließlich der Visualisierung mit gebotener Auflösung eine notwendige Voraussetzung.

Als Begleitprojekt der EXPO 2000 soll der nahe der niedersächsischen Stadt Uslar gelegene „ErlebnisWald“ Methoden und Ergebnisse der Forschung rund um den Wald öffentlichkeitswirksam präsentieren. Dabei stieß insbesondere die Darstellung mittel- und langfristiger Prozesse auf das Problem, daß hierfür keine geeigneten EDV-technischen Hilfsmittel zur Verfügung stehen.

Für ein derartiges Verfahren besteht auch im Bereich der Forstverwaltung, des regionalen Planungssektors und in politischen Entscheidungsgremien eine große Nachfrage, um die verschiedenen Waldumwandlungsszenarien beurteilen und diese nach außen vertreten zu können. Die wissensbasierte anschauliche Visualisierung von solchen Szenarien trägt sowohl zur Versachlichung und Beschleunigung von Diskussionen als auch zur Erhöhung der Akzeptanz von raumbezogenen Entscheidungen anhand von Modellen bei. Dieses Instrument ist auch für die regionale Planung und Planungspolitik von großer Bedeutung

Die Forstliche Informatik bietet durch die Einbeziehung wichtiger Komponenten eines GIS-orientierten Forstökologischen Informationssystems (FIS-Ö), des Landschafts- und Pflanzenmodellierungssystems AMAP (JAEGER und REFFYE, 1992; REFFYE und BLAISE, 1993; REFFYE et al., 1993, 1995) und von Waldwachstumssimulatoren wie SILVA (KAHN und PRETZSCH, 1997; PRETZSCH et al., 1999a, 1999b) ein geeignetes Instrumentarium für die räumliche Pflanzen- und Bestandesmodellierung.

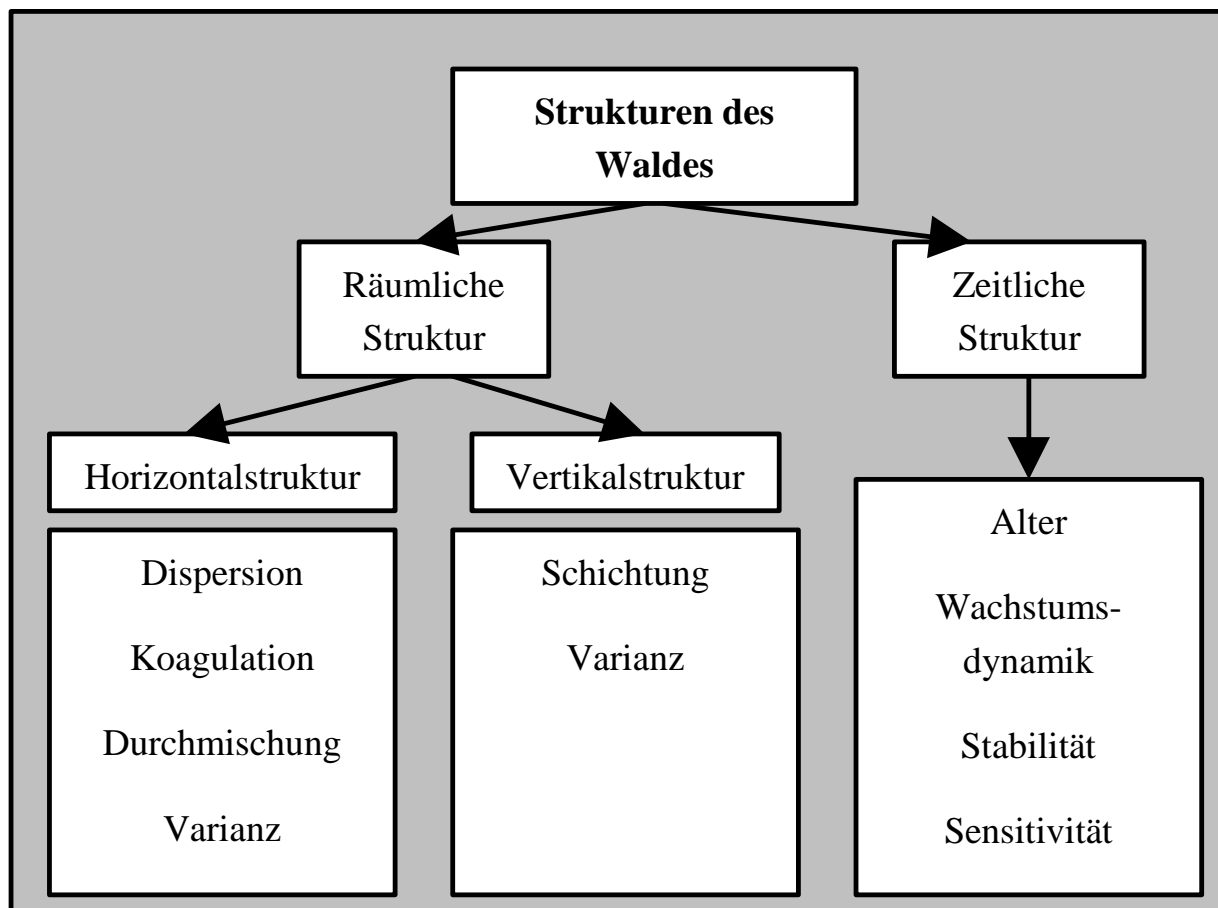
Bereits im Jahr 1996 initiierte die Europäische Kommission das Projekt IMAGO METROPOLIS. Ziel war es, über die Kombination von AMAP mit Geographischen Informationssystemen Landschaften in 3-dimensionalen realistischen Bildern darzustellen, die als Hilfsmittel in der Planung und Öffentlichkeitsarbeit Anwendung finden sollten. Dieses Projekt wurde seinerzeit allerdings nicht erfolgreich abgeschlossen, womit die Bedarfslücke noch immer nicht geschlossen wurde. An dieser wurde hier angesetzt.

Die Entwicklung von Methoden zur Erhebung der notwendigen Parameter aus gekoppelten Informationssystemen und Simulatoren sowie deren Übergabe an die Visualisierungssoftware mit einem praxisnahen „Tool“ einschließlich der Erprobung an Beständen im Solling (ErlebnisWald-Gelände nahe Uslar) sind daher die Hauptziele dieses Vorhabens und der Dissertation.

## 2 Problemanalyse

### 2.1 Die Struktur des Waldes

Die Struktur des Waldes beeinflusst maßgeblich dessen Funktionen. Unterscheiden lassen sich die zeitliche und die räumliche Struktur, wobei letztere nach der horizontalen und der vertikalen Orientierung getrennt betrachtet wird (siehe Abbildung 2.1). Die Struktur beschreibende Parameter variieren mit der Wahl des räumlichen und zeitlichen Maßstabes.



**Abb. 2.1:** Die Struktur des Waldes läßt sich unter verschiedenen Aspekten und mit verschiedenen Maßen quantifizieren (siehe dazu OTTO, 1994; FÜLDNER, 1995; GADOW, 1999).

Ziel forstlichen Handelns ist es, die Eigenschaften des Waldes so zu gestalten, daß die Funktionen des Waldes optimal erfüllt werden (BML, 1994). Daher ist es notwendig, auch die Strukturen und deren Veränderungen durch biologische

und menschlich beeinflusste Prozesse zu beschreiben, zu kontrollieren und zu bewerten.

Die Erfassung und Bewertung von Waldstrukturen erfolgte bis in die jüngste Vergangenheit häufig flächenbezogen und nach ertragskundlichen bzw. ökonomischen Gesichtspunkten (ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG, 1984; KURTH, 1994a). Die Umorientierung der Forstwirtschaft zu strukturreichen Wäldern, die stärkere Gewichtung der Schutz- und Erholungsfunktion, sowie die Einbeziehung von verschiedenen forstlich nicht geschulten Entscheidungsträgern macht die ausschließliche Arbeit mit den traditionellen Kennziffern wie Bestockungsgrad, durchschnittlicher Bestandeszuwachs etc. fast unmöglich (FZW, 1999b).

Es besteht daher die Notwendigkeit, neue Methoden zu entwickeln, um die Strukturen von Wäldern und deren Veränderungen zu erfassen und leicht verständlich und anschaulich darzustellen.

## **2.2 Rahmenbedingungen des Projektes**

### **2.2.1 Materielle Ausstattung**

Die Finanzierung des Projektes durch das Niedersächsische Landesgraduierten-Stipendium sowie aus Mitteln des Institutes für Forstliche Biometrie und Informatik beschränkte den praktischen Teil der Untersuchung auf die im Institut vorhandene Hard- und Software, welche durch großzügige Lizenzgabe des CIRAD/Montpellier (AMAP-Integral, siehe dazu JAEGER und REFFYE, 1992; REFFYE und BLAISE, 1993; REFFYE et al., 1993, 1995) sowie des Institutes für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München (SILVA, siehe dazu KAHN und PRETZSCH, 1997; PRETZSCH et al., 1999a, 1999b) ergänzt wurde.

Das Geographische Informationssystem Arc/Info stand in der Version 7.0.3 zur Verfügung. Installiert war es auf einer SUN-Workstation mit einem Ultra-Sparc-I-Prozessor (200 MHz) und 1 GByte Arbeitsspeicher (interner Name „ufobi7“).

Das Waldwachstumsmodell SILVA 2.2 wurde auf einem PentiumII-PC und 128 MByte Arbeitsspeicher unter WINDOWS 95 installiert („ufobir“).

Die Visualisierung erfolgte schließlich auf einer mit dem Betriebssystem IRIX betriebenen O2-Workstation der Firma SGI (ehemals Silicon Graphics) mit einem 120-MHZ-RISC-Prozessor und 128 MByte Arbeitsspeicher („ufobi8“) mit verschiedenen Versionen des Softwarepaketes AMAP-Integral.

Das *local area network (LAN)*, welches die Rechner untereinander verbindet, ermöglicht einen maximalen Datentransfer von 10 Mbit/sek.

Die Forsteinrichtungsdaten wurden vom Forschungszentrum Waldökosysteme zur Verfügung gestellt. Luftbilder des Untersuchungsgebietes konnten von der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und dem Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde geliehen werden.

### **2.2.2 Praxisbezug**

Da die hier vorgestellten und zu entwickelnden Methoden und Systeme neben Anwendungen in der Forschung vor allem auf eine Anwendung in der Praxis zielen, war es unumgänglich, diese Verfahren und Technologien auch an praxisnahen Beispielen zu testen, die gleichzeitig das breite Anwendungspotential illustrieren sollen. Sie werden in Kapitel 6 ausführlich erläutert. Erfahrungen und neue Erkenntnisse spiegeln sich auch in allen anderen Kapiteln wider.

Der praktische Test der in der Untersuchung behandelten Methoden erfolgte im Rahmen der Ausstellung ErlebnisWald, welche ein Bestandteil der Weltausstellung EXPO 2000 ist und den Besuchern den Wald und die mit ihm verknüpfte Forschung sowie deren Erkenntnisse nahe bringen soll. In diesem Zusammenhang war es von großem Interesse, die Entwicklung des Waldes unter verschiedenen Bedingungen anschaulich darzustellen. Als Untersuchungsgebiet wurde daher das Ausstellungsgelände in der Nähe der niedersächsischen Stadt Uslar ausgewählt. In der Abbildung 2.2 ist eine Übersichtskarte über das Ausstellungsgelände zu sehen. Sie enthält auch die Themen der einzelnen Exponate. Zur praktische Demonstration innerhalb dieses Projektes wurden

Bereiche um den Klimaturm und die Sukzessionswiese ausgewählt. Weitere Details zum Untersuchungsgebiet sind im Kapitel 6.1 zu finden.

Beispielhafte Visualisierungen sollen in einem Exponat innerhalb der Naturwerkstatt präsentiert werden.



**Abb. 2.2:** Übersichtskarte des ErlebnisWald-Ausstellungsgeländes im Solling (Quelle: ERLEBNISWALD, 1999)

### 2.2.3 Aktualität der Hard- und Softwarelösungen

Wie der gesamte Sektor der Informationstechnologie unterliegen auch alle in diesem Projekt untersuchten und verwendeten Systeme ständiger Aktualisierung und Weiterentwicklung. Zusätzlich erscheinen neue Produkte, andere veralten oft binnen weniger Monate nach ihrem Erscheinen, wenn nicht eine intensive Systempflege mit Updates und neuen Versionen getrieben wird.

Ein ständiges Bemühen, immer auf dem aktuellen Stand der Technik zu bleiben, ist sehr zeit- und kostenintensiv. Da die beiden Faktoren Geld und Zeit im Rahmen dieses Projektes nur in sehr begrenztem Umfang zur Verfügung standen, konzentrierte sich die Projektarbeit auf die Entwicklung einer generellen Methodik der räumlichen Bestandes- und Landschaftsmodellierung und –visualisierung, welche an konkreten Beispielen und mit konkreten Systemen geprüft wurde.

Bereits während der Arbeit an diesem Projekt wurden neue Entwicklungen angekündigt, die mögliche Lösungen für verschiedene Probleme anbieten, die in dieser Arbeit noch nicht befriedigend gelöst werden konnten. Jedoch auch diese neuen Programme bzw. Versionen orientieren sich in den meisten Fällen an den hier erläuterten Methoden und Verfahren.

## **2.2 Ziele der Untersuchung**

a) Auf der Basis der im FIS-Ö integrierten Forsteinrichtungsdaten, der Biotopkartierung, des digitalen Geländemodells und der AMAP-konformen Baum- und Bestandesmodellparameter sollen die Anfangssituation und mögliche Entwicklungsszenarien einer Waldlandschaft bzw. von Teilbeständen virtuell konstruiert werden.

Hierzu sind folgende Komponenten parallel zu entwickeln:

- AMAP-konforme Parameter zur Beschreibung der Morphologie von Waldbäumen der betroffenen Bestandestypen;
- Methoden zur Erzeugung der Parameter aus verschiedenen praxisnahen Informationsquellen;
- Schnittstellen zum Austausch der Daten zwischen den integrierten Systemelementen.

Diese Komponenten sind notwendig, um die sachgerechte formale Nachahmung einer Waldlandschaft und ihrer Dynamik als Folge von Wachstum, räumlichen Eingriffen, der Veränderung der Bewirtschaftungsstrategien (Betriebszieltypen) und Areale zu modellieren und zu visualisieren.

- b) Anhand der in a) gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen sind grundsätzliche Verfahren und Methoden zur Visualisierung von virtuellen Waldlandschaften und –beständen sowie deren Entwicklung zu formulieren. Diese sollen in Form eines Handbuches dargestellt werden, welches für die multimediale Publikation im Internet aufbereitet werden kann.
- c) Ergänzt werden soll das in b) erstellte Handbuch durch einige praxisorientierte Beispielanwendungen. Dabei sollen die Möglichkeiten multimedialer Präsentation weitestgehend ausgeschöpft werden. Sie sind ebenfalls ausführlich zu dokumentieren und für die Publikation im Internet aufzubereiten.



## **3 Simulation und Visualisierung der Waldentwicklung**

### **3.1 Waldwachstumsmodellierung**

Die Modellierung der Dynamik von Waldbeständen ist eine der wesentlichen Grundlagen der geregelten Forstwirtschaft. Sie ermöglichte es, die Entwicklung der Bestände und die Folgen von Eingriffen in die Bestände vorherzusagen und bei der Arbeit mit dem Wald planerisch transparent vorzugehen.

#### **3.1.1 Geschichtlicher Abriss und methodisches Umfeld**

Einfache Waldwachstumsmodelle, wie Ertragstafeln (z.B. SCHOBER, 1995; LEMBCKE et al., 1975; ASSMANN und FRANZ, 1963) sind bis in die Gegenwart eines der wichtigsten Werkzeuge des Försters. So einfach wie diese Modelle auch in der Praxis angewandt werden können, so sind sie aber doch nur in der Lage, das Wachstum von Beständen mit einfachen Bestandesstrukturen zu simulieren. Die Entwicklung gemischter Bestände mit mehreren Arten und/oder mehreren Altersklassen ist damit nur sehr ungenau vorherzusagen. Die Interaktion der Arten oder Altersklassen ist zu differenziert, um sie mit einfachen Tabellen nachzubilden.

Im Ergebnis der Erforschung von Plenterwäldern und strukturreichen Naturwäldern entstanden neue einzelbaumbezogene Wachstumsmodelle (WENSEL, 1986; HASENAUER, 1994; NAGEL, 1995, 1997; MONSERUD und STERBA, 1995; KAHN und PRETZSCH, 1997 u.a.). In ihnen wird für jeden Baum entsprechend seiner individuellen Konkurrenzsituation ein individueller Zuwachs ermittelt. Diese Modellierung erfordert bei einer höheren Anzahl von Einzelbäumen bzw. mehreren Prozeßperioden eine Vielzahl von Einzelberechnungen, die nur noch von automatisierten Programmen oder Simulatoren effizient gehandhabt werden können.

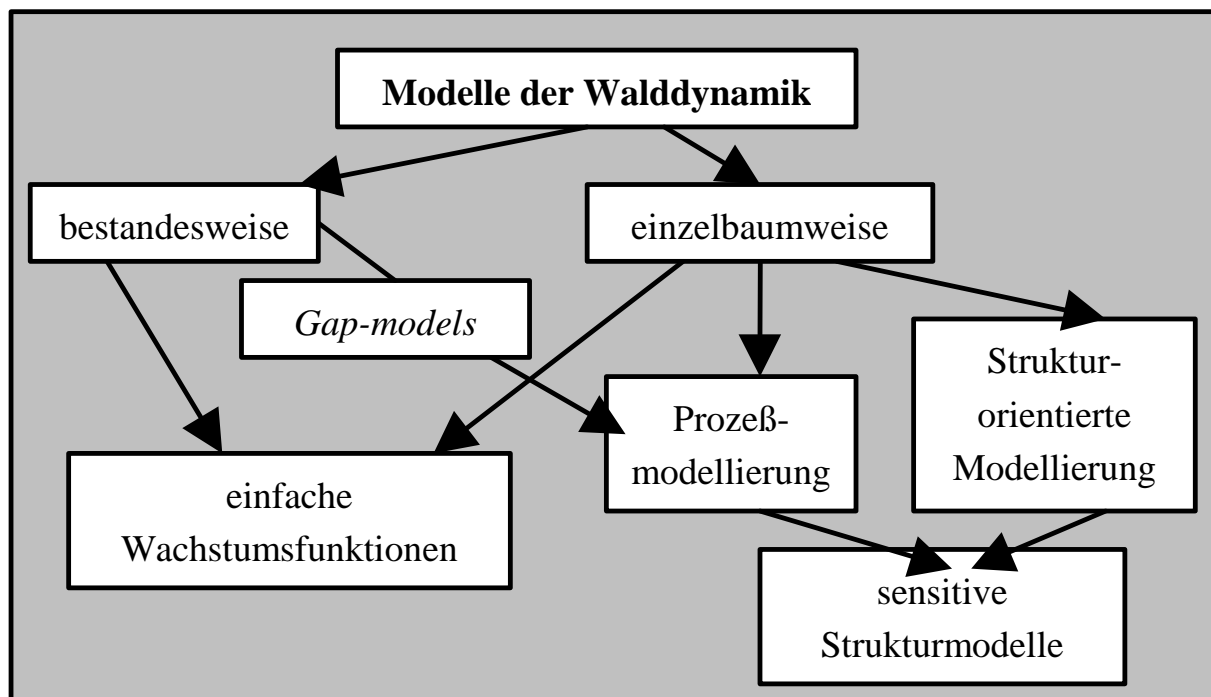
Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über die verschiedenen Ansätze der Modellbildung.

### 3.1.2 Grundansätze zur Waldwachstumsmodellierung

Die Modellierung des Wachstums kann entweder für größere oder kleinere Bestände oder für Einzelbäume erfolgen. Die **bestandesweise Modellierung** des Waldwachstums ist besonders für sehr homogene Bestände mit klar definierbaren Grenzen geeignet. In der traditionellen Ertragskunde dienten Ertragstafeln als Instrumente zur Prognose des Waldertrages. In strukturierten Beständen mit mehreren Arten und/oder Altersklassen sind bestandesweise Modellierungen eher ungenau und daher weniger geeignet. Die in vielen Beständen anzutreffende gruppenweise Struktur wird von den sogenannten *gap-models* aufgegriffen (HUTH et al., 1998). Hier erfolgt im Gegensatz zu den bestandesorientierten Modellen nicht mehr eine verwaltungstechnisch sondern eine ökologisch orientierte Aufteilung in Teilbestände. Ein Problem ergibt sich aber immer noch aus der Tatsache, daß auch im *gap-model* die Teilbestände in sich homogen sind. Bei stark strukturierten Beständen muß daher eine sehr feine Aufteilung gewählt werden. In solchen Fällen haben **einzelbaumorientierte Modelle** das Potential, oft eine bessere Prognose über das Wachstum des Bestandes abzugeben. Allerdings benötigen diese Systeme auch Daten und Modelle jedes einzelnen Individuums eines Bestandes. Die Beschaffung dieser Informationen ist sehr aufwendig und die Modellierung an sich erfordert leistungsstarke Rechnersysteme.

#### 3.1.2.1 Einzelbaumweise Modellierung mit einfachen Wachstumsfunktionen

Die Modellierung des Wachstums von Einzelbäumen kann auf verschiedenen Niveaustufen erfolgen. Am einfachsten ist die Prognose mit einer artspezifischen Wachstumsfunktion, wie sie auch zur Erstellung von Ertragstafeln diente. Als Eingangsparameter werden hier neben der Art das Alter und die Qualität des Standortes (Ertragsklasse) herangezogen. Als Ergebnis einer solchen Modellierung erhält der Nutzer Angaben über den zu erwartenden Zuwachs im Durchmesser sowie in der Höhe des Baumes. In der Regel berücksichtigen solche Ansätze nicht die spezifische Konkurrenzsituation. Die Variabilität des Standortes sowie des Genotypes können genausowenig berücksichtigt werden, wie Schwankungen des Mikroklimas oder Folgen von lokalen Eingriffen (siehe auch KOBAYASHI, 1981 und MATSUMURA, 1988).



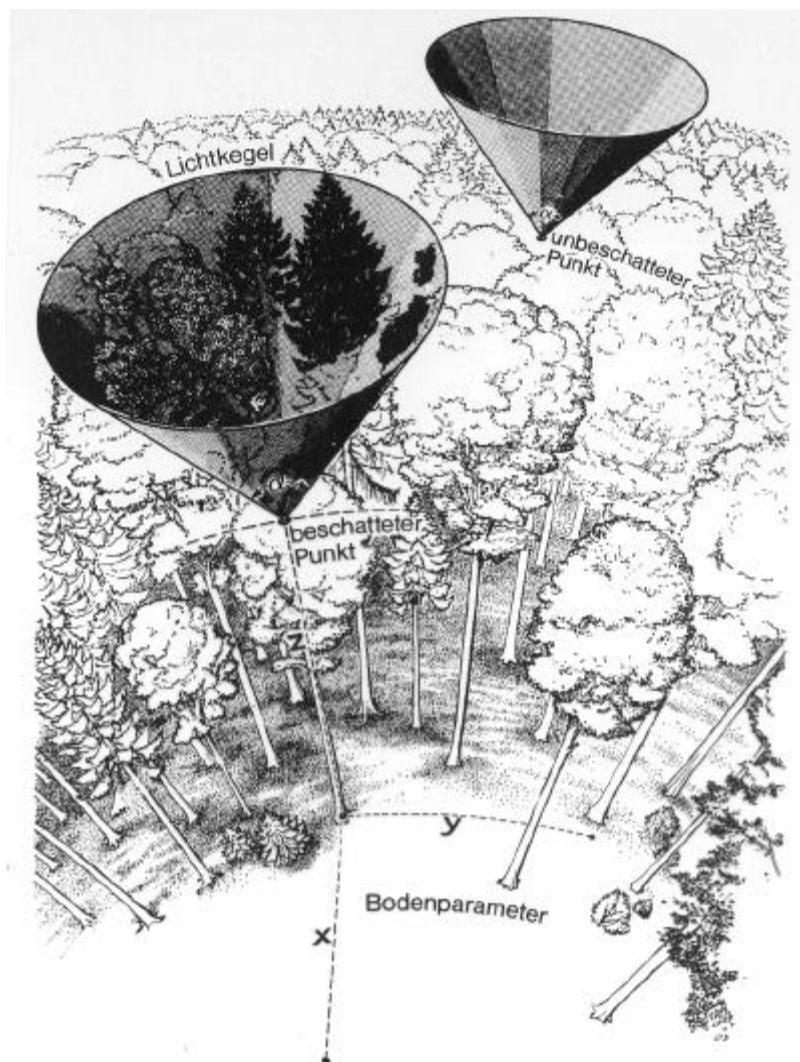
**Abb. 3.1:** Eine mögliche schematische Gliederung der Methoden zur Modellierung des Waldwachstums

### 3.1.2.2 Einzelbaumweise Modellierung über die Verfügbarkeit von Ressourcen

Eine wesentlich präzisere Vorhersage des individuellen Wachstums versprechen Modelle, welche die Verfügbarkeit von Ressourcen wie Wasser, Nährstoffe und Licht in die Berechnung einbeziehen. Von den potentiell verfügbaren Ressourcen werden diejenigen Mengen abgezogen, die von Konkurrenten beansprucht werden. Dieser Ansatz erfordert eine genaue Quantifizierung der Konkurrenzsituation.

HASENAUER (1994) setzt in seinem Einzelbaumwachstumssimulator MOSES den von EK und MONSERUD (1974) entwickelten und auf die Idee der Einflußzonen des Solitärs (BELLA, 1971) zurückgehenden „Competition Index“ ein. Dieser definiert die wachstumshemmende Konkurrenz als Abhängige von den Überlappungszonen der Kronenflächen von Solitären der gleichen Größe, der gewichteten Baumgröße und der Schattentoleranz. Zusätzlich versucht HASENAUER (1994) einen artspezifischen Faktor in die Funktion einzubeziehen. Da dieser Ansatz aber alle Ressourcen über den gesamten Wuchsraum als kontinuierlich verteilt ansieht, dies aber nur ein sehr unvollkommenes Abbild der Realität darstellt, ergeben sich erhebliche Probleme

bei der Kalibrierung der Modelle (zahlreiche Koeffizienten) bzw. der Interpretation der Ergebnisse. Es macht daher durchaus Sinn, die Verfügbarkeit verschiedener Wachstumsfaktoren getrennt zu betrachten.



**Abb. 3.2:** Darstellung des Lichtkegelmodells zur Ermittlung der lokalen Beschattungssituation eines Punktes der Kronenmantelfläche (PFREUNDT und SLOBODA, 1996, nach PFREUNDT, 1988, siehe auch KELLOMÄKI et al., 1980)

Die Verfügbarkeit des Wachstumsfaktors Licht kann zum Beispiel durch die Definition von Belichtungskegeln als Modifikation des Konzeptes nach KELLOMÄKI et al. (1980) für die Darstellung der relativen photosynthetischen Kapazität erfolgen, wie dies bereits durch PFREUNDT (1988) sowie PFREUNDT und SLOBODA (1996) beschrieben wurde. Dabei wird in erster Linie die Beschattung eines Punktes der Krone eines Baumes durch die Blattmasse derjenigen Bäume bewertet, welche einen Kegel mit Spitze in jenem

Punkt, spezifischem Öffnungswinkel und Öffnungsrichtung schneiden (siehe Abbildung 3.2). Diese Methode eignet sich auch für Bestände mit variabler Höhe. Bei der Berechnung der Konkurrenzsituation in SILVA findet dieser Grundansatz Anwendung.

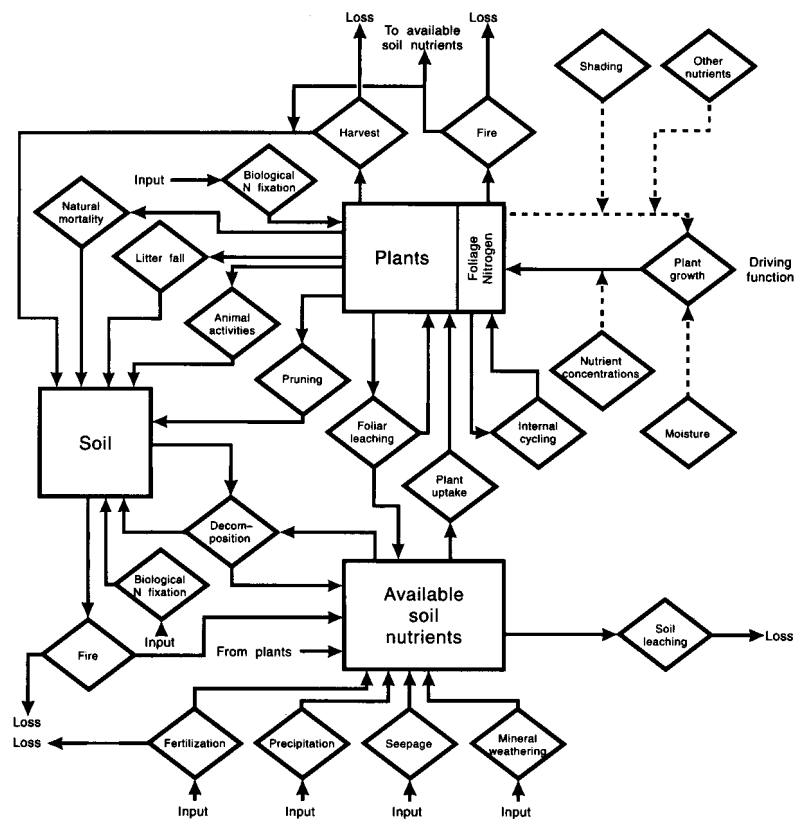
Die Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe wird in der gegenwärtigen Version von SILVA noch nicht berücksichtigt. Es können hier lediglich standortspezifisch verfügbare Ressourcen definiert werden. Bei ausreichend verfügbaren Mengen an Wasser und Nährstoffen wirkt sich dieser Umstand nicht spürbar auf die Praktikabilität des Modells aus. Ist dagegen etwa die Verfügbarkeit von Wasser stark limitiert, weichen die Ergebnisse von den realen Verhältnisse ab. Das Modell von MIDDELHOFF und BRECKLING (1998) ist dagegen in der Lage, die Konkurrenz von Erlenwurzeln um Wasser und Nährstoffe zu simulieren. Knappe Ressourcen können hier Konkurrenzsituationen entstehen lassen, lange bevor sich die Kronen der Bäume beschatten. Der Ökosystemsimulator TRAGIC (HAUHS et al., 1993; 1995) berücksichtigt in ähnlicher Weise die lokal begrenzten Ressourcen und den aus der Eroberung des Wuchsräumens durch Kronen und Wurzeln entstehenden Konkurrenzdruck.

### **3.1.2.3 Einzelbaumweise prozeßorientierte Wachstumsmodellierung**

Noch weiter dringen die prozeßorientierten Modelle in die Tiefen der Pflanzenphysiologie vor. Diese versuchen, solche Prozesse wie Produktion, Konsumtion, Transport und Allokation möglichst genau nachzubilden. Während einige Simulatoren wie FORCYTE (KIMMINS, 1993) und TREEDYN (BOSEL, 1994, JANSEN et al., 1995) den Bestand als Gesamtheit oder wie FORSKA-HD (LINDNER, 1998) als Mosaik von kleinflächigen Teilbeständen betrachten, orientieren sich andere Modelle am Individuum oder an physiologischen Elementen eines Individuums.

Schwierig erweist sich hier die Tatsache, daß viele Prozesse an sich sowie die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den Einzelprozessen noch nicht hinreichend genau quantifiziert werden können (siehe Abbildung 3.3). Mit zahlreichen Parametern versehene Modelle können zwar durchaus in Einzelfällen befriedigende Ergebnisse liefern, sind dann aber oft nicht auf andere Situationen übertragbar. Zudem ist aufgrund des hohen Rechenaufwandes vieler derartiger hochparametrisierter Modelle meist lediglich die Simulation kleiner Pflanzen oder Pflanzenabschnitte möglich. Nur wenige

vermögen, wie z.B. TRAGIC (HAUHS et al., 1993; 1995) durch entsprechende Skalierung die Prozesse in Beständen zu modellieren. Fortschritte in der Modellgestaltung und der Rechenleistung werden aber gerade auf diesem Gebiet bald neue Dimensionen der Modellierung ermöglichen.



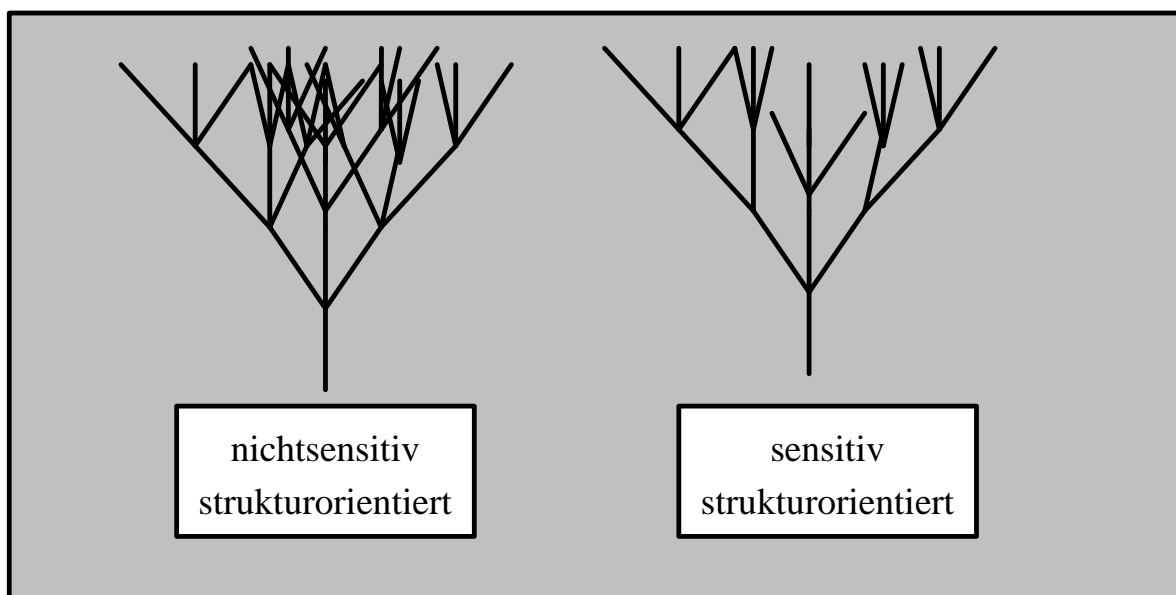
**Abb. 3.3:** Übersicht über die Hauptbestandteile und Transportwege des Prozeßmodells FORCYTE-11 (aus KIMMINS, 1993). Auch einzelbaumorientierte Modelle müssen diese Elemente und deren Bedeutung für jeden Einzelbaum berücksichtigen.

### 3.1.2.4 Einzelbaumweise strukturorientierte Wachstumsmodellierung

Die morphologische oder strukturorientierte Modellierung des Wachstums versucht unter Berücksichtigung von Architekturregeln auf unterschiedlicher Detailebene die Prozesse der Bildung von Geweben und Organen (Blätter, Knospen, Triebe, Wurzeln, Reproduktionsorgane) nachzugestalten. Alle Prozesse gehen dabei von genau definierten Umweltbedingungen aus. Da in

einem solchen System keine Sensitivität gegeben ist, können Veränderungen dieser Bedingungen nicht wahrgenommen werden.

Eine Knospe wird ihre Triebanlagen in einem strukturorientierten Modell entsprechend von fest stehenden Verzweigungsregeln entwickeln. Dabei wird nicht berücksichtigt, ob etwa im Inneren einer Krone bereits eine überhöhte Verzweigungsdichte erreicht wird (siehe Abbildung 3.4 links). Derartige Modelle sind beispielsweise in der ursprünglichen Version von AMAP oder in den nichtsensitiven Grammatiken von GROGRA umgesetzt worden (siehe hierzu KURTH, 1994b, 1998 sowie KURTH und SLOBODA, 1999a).



**Abb. 3.4:** Beispiele für einfache zweidimensionale Verzweigungen, die ein nichtsensitives und ein sensitives Modell mit den selben geometrischen Regeln liefern (KURTH, 1994b, 1998 sowie KURTH und SLOBODA, 1999a/b)

### 3.1.2.5 Einzelbaumweise sensitive strukturorientierte Wachstumsmodellierung

Im Gegensatz zur zuvor beschriebenen nichtsensitiven strukturorientierten Modellierung ist die sensitive strukturorientierte Modellierung in der Lage, auch lokal oder temporär spezifische Umweltbedingungen wahrzunehmen und darauf durch Anpassung der betroffenen Prozesse zu reagieren. Die Entfaltung der Triebe einer Knospe erfolgt jetzt also nicht mehr allein nach den Verzweigungsregeln, sondern kann auch die lokale Beschattung oder andere Konkurrenzfaktoren berücksichtigen.

Die Abbildung 3.4 soll anhand von zwei einfachen Verzweigungen den Unterschied zwischen nichtsensitivem und sensitivem Wachstum illustrieren. Das linke Beispiel zeigt das Ergebnis einer monopodialen Verzweigung nach 3 Vegetationsperioden ohne eine Berücksichtigung von Konkurrenz zwischen den Trieben. Im rechten Fall wurde die Wirkung der Konkurrenz auf die Entfaltung der Knospen berücksichtigt (siehe KURTH, 1994b, 1998 sowie KURTH und SLOBODA, 1999b).

### **3.1.3 Aktuelle Systeme**

Als Mitte der 80-er Jahre der Waldwachstumssimulator CACTOS von einem Team an der University of California in Berkeley (WENSEL, 1986) entwickelt wurde, entstand damit eines der ersten Systeme, das in der Lage war, die Entwicklung von ganzen Beständen auf Einzelbaumbasis zu modellieren. Für die in der kalifornischen Sierra Nevada typischen, vom Nadelholz dominierten Mischbestände gab es damit erstmals eine Möglichkeit, langfristig die Wirkungen von Eingriffen zu prognostizieren. Die Entwicklung der dazu notwendigen Funktionen legte die Grundlagen für weitere einzelbaumbasierte Wachstumsmodelle in Mischbeständen.

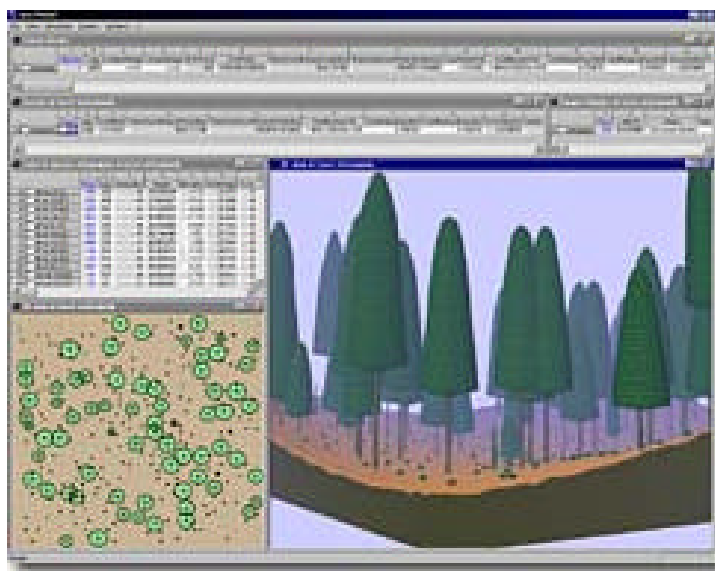
In Deutschland leiteten bis dahin ganze Förstergenerationen ihre Wachstumsprognosen aus Ertragstafeln ab. Rasante Veränderungen der Standortqualitäten durch Eutrophierung oder Versauerung reduzierten aber in den letzten Jahrzehnten auch für gleichaltrige Reinbestände die Vorhersagegenauigkeit dieses wichtigen Werkzeuges. Zusätzlich führte die Orientierung der Landesforstverwaltungen zum Umbau von Reinbeständen in Mischbestände zu einer steigenden Nachfrage nach neuen Prognosewerkzeugen. Die breite Einführung von Computertechnik bis in die Revierförstereien Anfang der neunziger Jahre sorgte auch für die technische Basis des Einsatzes von rechenaufwendigen Waldwachstumsmodellen.

Auf dieser Grundlage entstand Mitte der 90-er Jahre der Waldwachstumssimulator SILVA (KAHN und PRETZSCH, 1997), welcher im Rahmen dieser Untersuchung in der Version 2.2 zur Verfügung stand. Dieses System beinhaltet eine Weiterentwicklung des Strukturgenerators STRUGEN (PRETZSCH, 1993) (siehe Kapitel 3.2.4), den eigentlichen Waldwachstumssimulator, verschiedene



Analysertools zur Bewertung der ökonomischen und ökologischen Folgen von Eingriffen in den Bestand sowie ein Visualisierungstool, welches in der Lage ist, kleinere Bestände mit schematisierten Bäumen (siehe Kapitel 3.3.2, Typ 2) darzustellen. SILVA verwendet das Konzept der distanzabhängigen und einzelbaumbezogenen Wachstumssimulation. Eine vertiefte Beschreibung erfolgt in Kapitel 5.1.2.

Ein weiteres Programm zur Simulation der Entwicklung eines Bestandes ist das von NAGEL (1997) entwickelte BWIN. Im Gegensatz zur SILVA wurde hier ein distanzunabhängiger Ansatz umgesetzt. Ziel des Programmes ist es, durch einzelbaumbezogene Simulation eine genauere Schätzung der Entwicklung der Bestandesdaten zu ermöglichen. Für die auch hier mit STRUGEN generierbaren Individuen gelten lediglich bestandestypische „Konkurrenzmaße“. Die Ergebnisse der Simulation spiegeln also nicht die spezifischen Konkurrenzbedingungen des Einzelbaumes wieder. Angesichts der Probleme bei der Simulation spezifischer Standortsbedingungen und deren Wirkungen auf das Wachstum, eignet sich dieser wesentlich einfachere Ansatz durchaus für die einzelbaumbezogene Simulation von Bestandesdaten. Für die Visualisierung von Entwicklungsszenarien ist er dagegen wenig geeignet.



**Abb. 3.5:** „Snapshot“ von TRAGIC++ mit Darstellungen des Bestandes in Form von Tabellen, Karten und 3D-Ansicht (Quelle: BITÖK, 1999)

Unabhängig von der Entwicklung des an forstlichen Fragestellungen orientierten Waldwachstumssimulators SILVA wurde am BITÖK in Bayreuth der Simulator

TRAGIC (HAUHS et al., 1993; 1995) entwickelt. Bei ihm liegt das Hauptaugenmerk auf der Modellierung ökologischer Prozesse über mittlere bis lange Zeiträume. Mit diesem System war es erstmals möglich, mit einer Auflösungseinheit des Einzelbaumes den Prozeß der Waldentwicklung bis zur Erreichung eines „*steady state*“ oder Klimaxstadiums zu modellieren. Bestandteil dieses Systems ist ebenfalls ein Visualisierungstool zur Darstellung der Bestände mit schematisierten Bäumen (siehe Abbildung 3.5).

Zwei Arbeitsgruppen in Österreich entwickelten ebenfalls unabhängig voneinander je einen Simulator. Das Programm MOSES, welches HASENAUER (1994) entwickelte, beinhaltet ein distanzabhängiges Wachstumsmodell. PROGNAUS (MONSERUD und STERBA, 1995) dagegen berücksichtigt die spezifischen Abstände zwischen den Einzelbäumen bei der Modellierung der Zuwächse oder der Mortalität nicht.

Einen Vergleich der Wachstumsmodelle der vier Einzelbaumsimulatoren SILVA, BWIN, MOSES und PROGNAUS stellte WINDHAGER (1999) an. Hierzu integrierte er die Modellfunktionen in einem eigenen Programm. Anschließend simulierte er Bestände, welche sich außerhalb des Parametrisierungsraumes aller Modelle (in Niedersachsen) befanden und verglich die Ergebnisse mit den realen Daten. Er gelangt zu der Erkenntnis, daß die einzelnen Modelle auf sehr unterschiedliche Weise die Realität wiederzugeben versuchen. Dabei widersprechen sie einander in Detailfragen. Anhand der mehr oder weniger stark von den realen Werten abweichende Simulationsergebnisse zeigt WINDHAGER (1999) den weiter hohen Forschungsbedarf auf dem Gebiet der einzelbaumbezogenen Wachstumssimulation auf.

### **3.2 Strukturen virtueller Bestände**

Die räumliche Verteilung der Einzelbäume innerhalb des Bestandes unterscheidet sich je nach Baumartenzusammensetzung, Bestandesbegründung, Bestandesalter, durchgeführten waldbaulichen Maßnahmen sowie einer Reihe weiterer Faktoren. Die Beschreibung dieser Faktoren, insbesondere für strukturreiche Mischbestände steht noch in einem frühen Forschungsstadium.

Neben der räumlichen Struktur zeichnen sich Waldbestände auch durch spezifische Differenzierungen in der Verteilung verschiedener anderer Parameter wie der Art, Größe oder Vitalität aus. Da diese häufig ein Ergebnis der Konkurrenz sind, ist an dieser Stelle die Kenntnis von Nachbarschaftsbeziehungen von Nutzen. GADOW (1999) förderte die Entwicklung von strukturbeschreibenden Indizes. Diese sind in Abschnitt 3.2.4.1 näher besprochen.

### **3.2.1 Die räumliche und zeitliche Dimension von Prozessen**

Prozesse, wie sie mit dem hier vorgestellten System dargestellt werden sollen, besitzen eine spezifische räumliche und zeitliche Dimension. Ihre Darstellung erfordert unterschiedliche zeitliche und räumliche Maßstäbe.

Ein zu kleiner Maßstab, also eine Darstellung mit zu vielen Details, induziert große Datenmengen. Ein zu großer Maßstab und damit zu wenig Details vernebelt dagegen die Effekte, die charakteristisch für die abzubildenden Prozesse sind. Dies gilt sowohl für den räumlichen als auch für den zeitlichen Maßstab.

Einen Überblick über die räumliche und zeitliche Skala von Prozessen in Ökosystemen gibt die Tabelle 3.1.

Die kleinsten mit diesem System visualisierbaren Prozesse haben eine zeitliche Dimension von wenigen Stunden und / oder eine räumliche Ausdehnung von einigen Zentimetern bis wenigen Metern. Dazu zählen mikroklimatische Veränderungen innerhalb eines Tagesganges oder Konkurrenzverhältnisse von Baumsämlingen mit der krautigen Vegetation des Bestandesbodens. Diese Beispiele zeigen bereits den Schwerpunkt auf ökologischen Themen innerhalb dieser Größenordnung. Die hier verwendeten Modelle sind dafür in der Regel zu stark abstrahiert.

Eine Größenordnung höher erstrecken sich die Prozesse über einige Quadratmeter bis Hektar sowie über Zeiträume von Wochen bis zu einigen Jahren. In diese Kategorie gehören die Wirkungen forstlicher Eingriffe sowie der inner- und intraspezifischen Konkurrenz. Hier befindet sich der

Schwerpunkt forstlicher Fragestellungen, der auch mit dem hier vorliegenden System bearbeitet werden kann.

**Tab. 3.1:** Übersicht über die zeitliche und räumliche Skalierung von Prozessen in Waldökosystemen (nach ULRICH, 1994)

	<b>Zeitliche Dimension</b>	<b>Räumliche Dimension</b>	<b>Prozeß</b>	<b>Erscheinungsform</b>
+4	Jahrtausende	Kontinente	Makro-Evolution	Artenentstehung und –sterben
+3	Jahrhunderte	Landschaft	Sukzession oder Management	Entwicklungsphasen von Ökosystemen
+2	Jahrhunderte	Ökosysteme	Systemerneuerung	Stabilitätsphasen von Ökosystemen
+1	Jahrzehnte	Bestände, Ausschnitte von Ökosystemen	Bestandesentwicklung (Vorratsveränderung von Biomasse und Humus)	Altersklassen, Stoffhaushalt des Bodens
0	Jahr	Einzelbaum und dessen Nachbarn	Stoffkreislauf	Stoffhaushalt des Ökosystems
-1	Wochen bis Monate	Baum, Bodenvegetation,	Wachstumsprozesse (Blätter, Feinwurzeln, Früchte, Holz)	Verzweigung in Krone und Wurzel, Belaubung,
		Bodenhorizonte	Populationsdynamik (Zersetzer, Phytophagen)	Humusform, Bodenbildung
-2	Stunden bis Tage/Wochen	Blatt, Wurzel,	Physiologische Prozesse (Assimilation, Aufnahme)	C-, Ionenakkumulation,
		Bodenaggregate	Mineralisierung	Boden-Wasser-Chemie
-3	Sekunden bis Minuten	Zellen,	Biochemische Prozesse,	Biochemische Ereignisse,
		Mineraloberflächen	Bodenchemische Prozesse	Pufferung, Heterogenität

Prozesse, die sich räumlich über Quadratkilometer erstrecken oder viele Jahrzehnte bis Jahrhunderte andauern, fallen in den Bereich der Landschaftsplanung oder großräumigen Ökologie. Auch hierfür sind zumeist andere als die hier eingesetzten Modelle besser geeignet.

### **3.2.2 Erhebung der Bestandesstrukturparameter im Freiland**

Die Erhebung von Kennziffern und Meßwerten im Freiland mit dem Ziel einer Reproduktion von Bäumen und Beständen im virtuellen Raum ist bisher mit sehr großem Aufwand verbunden. Es lassen sich dabei drei grundlegende Möglichkeiten unterscheiden.

Ein befriedigendes Abbild der räumlichen Verteilung der Bäume liefert die Vermessung aller Stammfußkoordinaten eines Bestandes im Rahmen einer Vollaufnahme. Bei größeren Stammzahlen, stark geneigtem Gelände oder dichtem Unterwuchs wird schnell die Grenze des praktisch und ökonomisch Machbaren erreicht. Für ökologische Untersuchungen der Bestandesstrukturen auf kleinen Flächen ist dieses Verfahren aber noch immer unumgänglich. Der große Vorteil dieses Verfahrens ist der geringe Einfluß von Fehlerquellen, die insbesondere bei der Generierung von Einzelbaumstrukturen aus Bestandesdaten wirken können. Der reproduzierte virtuelle Bestand läßt sich sehr gut mit dem realen Bestand vergleichen. Simulationen, die in solchen virtuellen Beständen durchgeführt werden, lassen sich zu Zwecken der Kalibrierung mit Meßdaten aus dem realen Bestand vergleichen.

Einen etwas geringeren Anspruch auf Präzision können die diversen Probeflächenverfahren erheben. Je nach Strukturreichtum des Bestandes müssen unterschiedlich hohe Anteile an der Gesamtfläche erfaßt werden, um ein gefordertes Maß an Präzision zu erfüllen. Innerhalb der Probefläche werden wieder die Stammfußkoordinaten erhoben. Derartige Datensätze liegen, wenn auch in relativ geringer Probeflächendichte, für viele staatliche und private Forsten vor.

Die Probeflächen können schließlich klassifiziert und auf Standorten gleicher Klassifizierung vervielfacht werden.

Noch im Stadium der Entwicklung befinden sich Verfahren zur Erhebung von Kennziffern im Bestand, die zur Generierung von räumlichen Strukturen geeignet sind. Sie werden im Abschnitt 3.2.4.1 näher beschrieben.

### 3.2.3 Erhebung der räumlichen Struktur im Luftbild

Bereits seit einigen Jahrzehnten setzt die Forstwirtschaft Verfahren der Luftbildvermessung in der Praxis ein. Neben der Stratifizierung und Klassifizierung von Beständen, der Kartierung von Bestandesgrenzen hat auch die Schätzung von Bestandesvorräten aus mehrphasigen Stichproben (SCHADE, 1980; HUSS und AKÇA, 1984; SABOROWSKI, 1990; AKÇA, 1997) schon lange ihre Praxisreife erlangt. Die Kartierung von Einzelbäumen mittels Luftbildern findet aber mehr in der Städteplanung, z. B. bei der Erstellung von Baumkatastern, Anwendung (KÜRSTEN, 1983).

Einzelbaumkartierungen aus Luftbildern für forstliche Zwecke stoßen auf einige Schwierigkeiten, deren man sich bei der Auswahl dieses Verfahrens bewußt sein muß. Sie sind im folgenden anhand des prinzipiellen Arbeitsablaufes erläutert:

Die Befliegung eines Untersuchungsgebietes zur Erstellung von Luftbildern ist sehr kostenaufwendig und in der Regel nur bei großflächigem Bedarf sehr aktueller Aufnahmen lohnend.

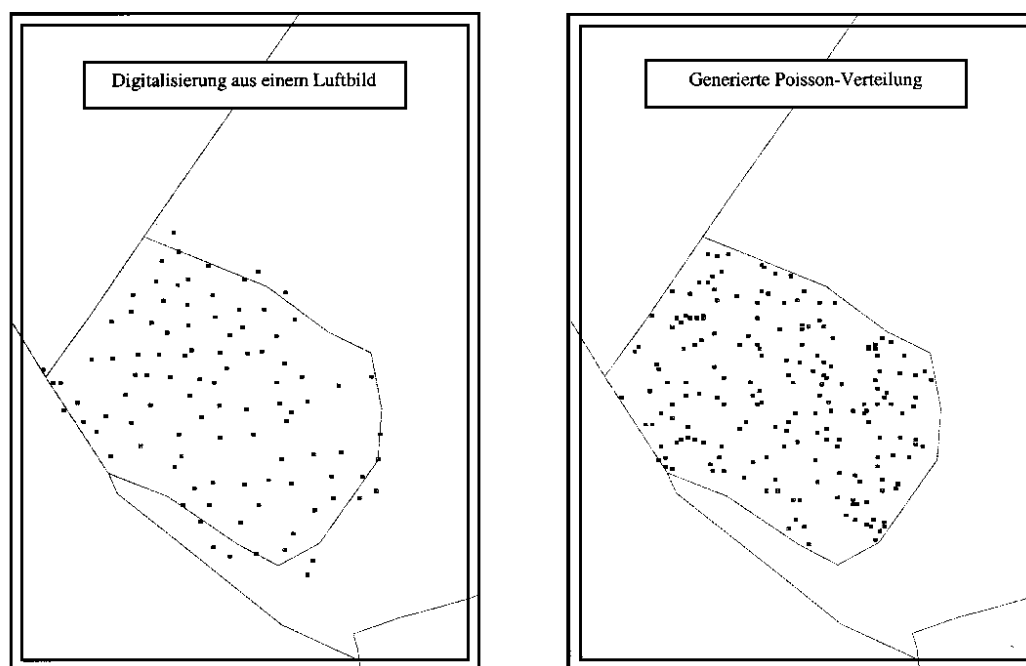
Gegenwärtig existierende Archive besitzen weder zeitlich noch flächendeckend vollständige Luftbildsätze. Jedoch verfügen die meisten Landesforstverwaltungen bzw. deren Landesversuchsanstalten über recht umfangreiche Sätze von Aufnahmen ihrer forstlichen Flächen. Allerdings sind diese oft schon einige Jahre, manchmal bereits Jahrzehnte alt.

Die vorhandenen Luftbilder liegen in der Regel nur in Form von großformatigen Dias vor. Da diese sehr empfindlich und bei Verlust quasi unersetzlich sind, werden sie meist nur ungern anderen Nutzern überlassen.

Existieren mehrere Luftbilder des Untersuchungsgebietes, so sollte jenes ausgewählt werden, welches möglichst aktuell ist, keine oder minimale Bewölkung über dem Untersuchungsgebiet besitzt und, falls nur die Positionen der Bäume bestimmt werden sollen, dieses möglichst in senkrechter Projektion darstellt. Sollen dagegen auch die Baumhöhen direkt im Luftbild gemessen und nicht etwa aus dem Kronendurchmesser geschätzt werden, so ist eine stereoskopische Auswertung unumgänglich (HILDEBRANDT, 1996). Auch für diesen Zweck existieren geeignete software- (z.B. SOFTPLOTTER,

AUTOMETRIC INC.) und hardware-technische (z.B. DSR 11-18, KERN SWISS) Lösungen.

Zur Kartierung der Einzelbaumpositionen und evt. Kronenprojektionen etwa mit Arc/Info bedarf es der vorherigen Digitalisierung des Luftbildes mit sehr hoher Auflösung. Bei einem Luftbildmaßstab von 1:12000 ist etwa eine optischen Scannerauflösung von 1200 DPI notwendig, um Details von etwa 10 Inch oder etwa 25 cm Größe erkennen zu können. Für die Ansprache der Arten, insbesondere die Unterscheidung ähnlicher Arten oder die Ansprache der Vitalität anhand der Kronenstruktur sind noch höhere räumliche Auflösungen erforderlich. Scanner dieser Leistungsklasse sind bisher nur im professionellen Bereich, etwa bei Verlagen und Druckereien, im Einsatz. Wesentlich einfacher ist es, wenn das Luftbild bereits in digitaler Form und mit der notwendigen Auflösung bezogen werden kann.

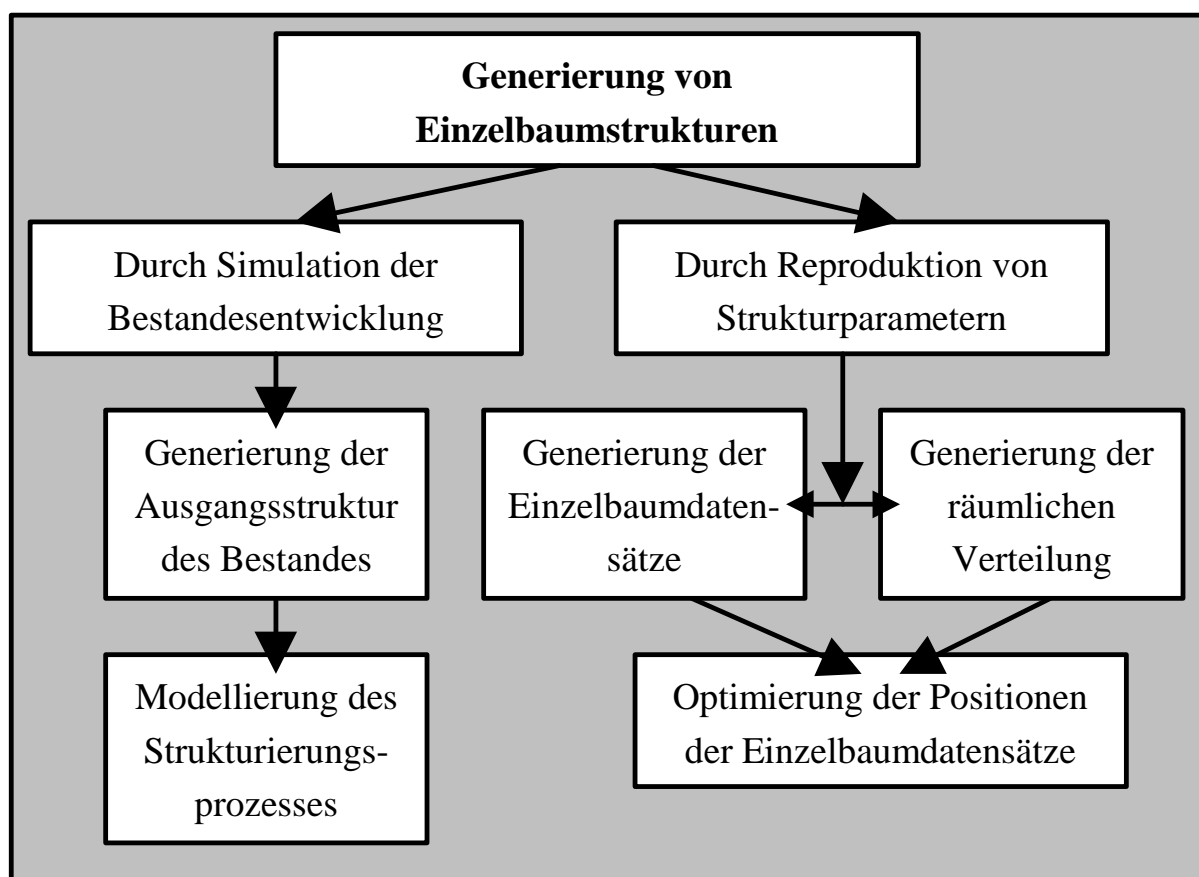


**Abb. 3.6a/b:** Stammfußkarten der Abteilung 307, Fläche b2 erzeugt durch Digitalisierung aus einem Luftbild (3.6a, siehe auch Abbildung 6.4) und durch Generierung einer Poisson-Verteilung mit bekannter Stammzahl (3.6b). Die aus der Forsteinrichtung bekannte Stammzahl wird bei der Digitalisierung offenbar unterschätzt.

Vor der eigentlichen Kartierung muß das digitalisierte Luftbild entzerrt und im geographischen Koordinatensystem positioniert werden. Dafür sollte eine

digitale Karte vorliegen, auf der Objekte verzeichnet sind, die auch im Luftbild präzise erkannt werden können. Für diesen Arbeitsschritt liefert Arc/Info die notwendigen Hilfswerkzeuge („*registry / rectify*“).

Schließlich können die Einzelbaumpositionen und bei Bedarf die Kronenprojektionen digitalisiert werden (siehe Abbildung 3.6a). Hierbei wird dem Bearbeiter schnell klar werden, daß zwar vorherrschende und damit gut beleuchtete Bäume leicht zu erkennen, zurückbleibende und damit stärker beschattete dagegen nur schwer anzusprechen sind. Individuen des Unterstandes sind in der Regel gar nicht zu erkennen. Es bleibt hier dem Bearbeiter überlassen, ob er auf diese Bäume etwa bei einer Landschaftsvisualisierung verzichtet oder sie nachträglich etwa durch Generierung aus den Bestandesdaten der Forsteinrichtung ergänzt.



**Abb. 3.7:** Schematische Übersicht über die Methoden der Generierung von Einzelbaumstrukturen



### **3.2.4 Generierung von räumlichen Einzelbaumstrukturen**

Die Generierung von Einzelbaumstrukturen läßt sich, wie in Abbildung 3.7 dargestellt, auf zwei Wegen, der Simulation des Strukturbildungsprozesses und der Generierung der aktuellen Struktur aus strukturbeschreibenden Parametern angehen.

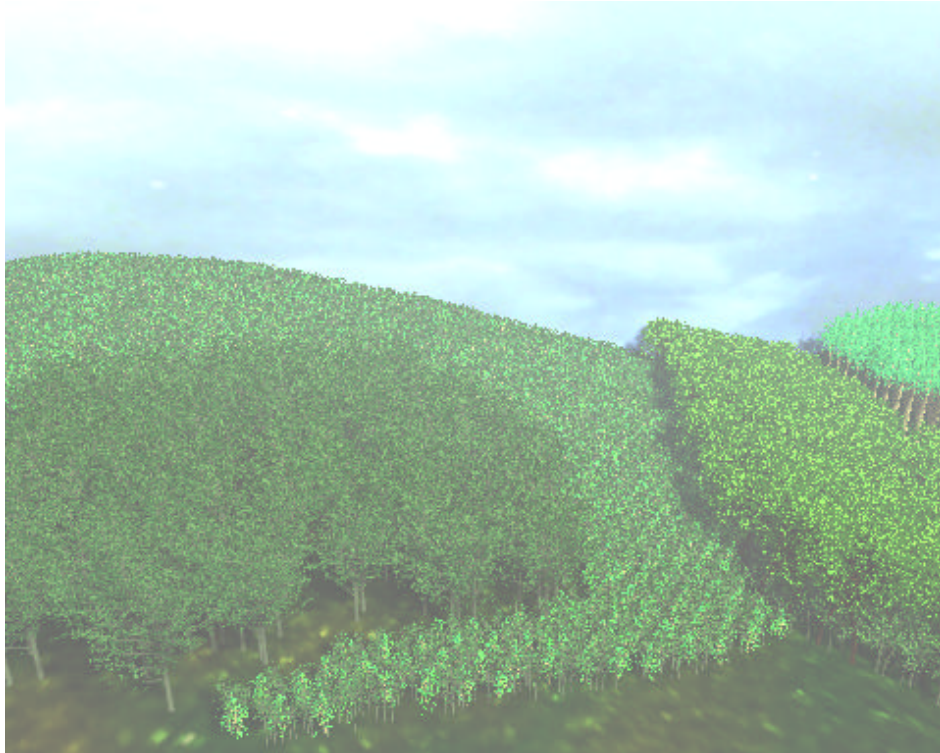
Die Simulation der Differenzierungsvorgänge in einem Bestandesleben geht von einer Ausgangsstruktur, etwa einem Pflanzverband oder einer zufälligen bzw. geclusterten Verteilung von Sämlingen nach natürlicher Verjüngung aus. Davon ausgehend werden die Prozesse des Wachstums, der Konkurrenz und Mortalität modelliert. Selbst die räumliche Struktur eines durch Reihenpflanzung begründeten Bestandes läßt sich nur in den ersten Jahren bis Jahrzehnten einfach beschreiben. Später verschwindet der Einfluß des Ausgangspflanzverbandes durch Eingriffe und natürliche Mortalität völlig (DEGENHARDT und POFAHL, 1997). Diese Methode erfordert daher sehr gut funktionierende Waldwachstumsmodelle.

Die Generierung einer Einzelbaumstruktur, bei welcher die aktuelle Bestandesstruktur wiedergegeben werden soll, erfolgt in zwei Teilschritten mit grundlegend unterschiedlicher Methodik. Nach der Erzeugung der räumlichen Verteilung der Bäume sowie von den realen Häufigkeitsverteilungen entsprechenden Einzelbaumdatensätzen, müssen letztere den Stammfußpunkten so zugewiesen werden, daß die realen Nachbarschaftsverhältnisse bezüglich der Dimensionsverhältnisse möglichst optimal wiedergegeben werden.

#### **3.2.4.1 Generierung der räumlichen Verteilung der Baumkoordinaten**

Verschiedene Forschungsteams beschäftigen sich intensiv mit der Erfassung von Strukturparametern, deren Korrelation zu Bestandesdaten und der Generierung von Bestandesstrukturen aus diesen Parametern.

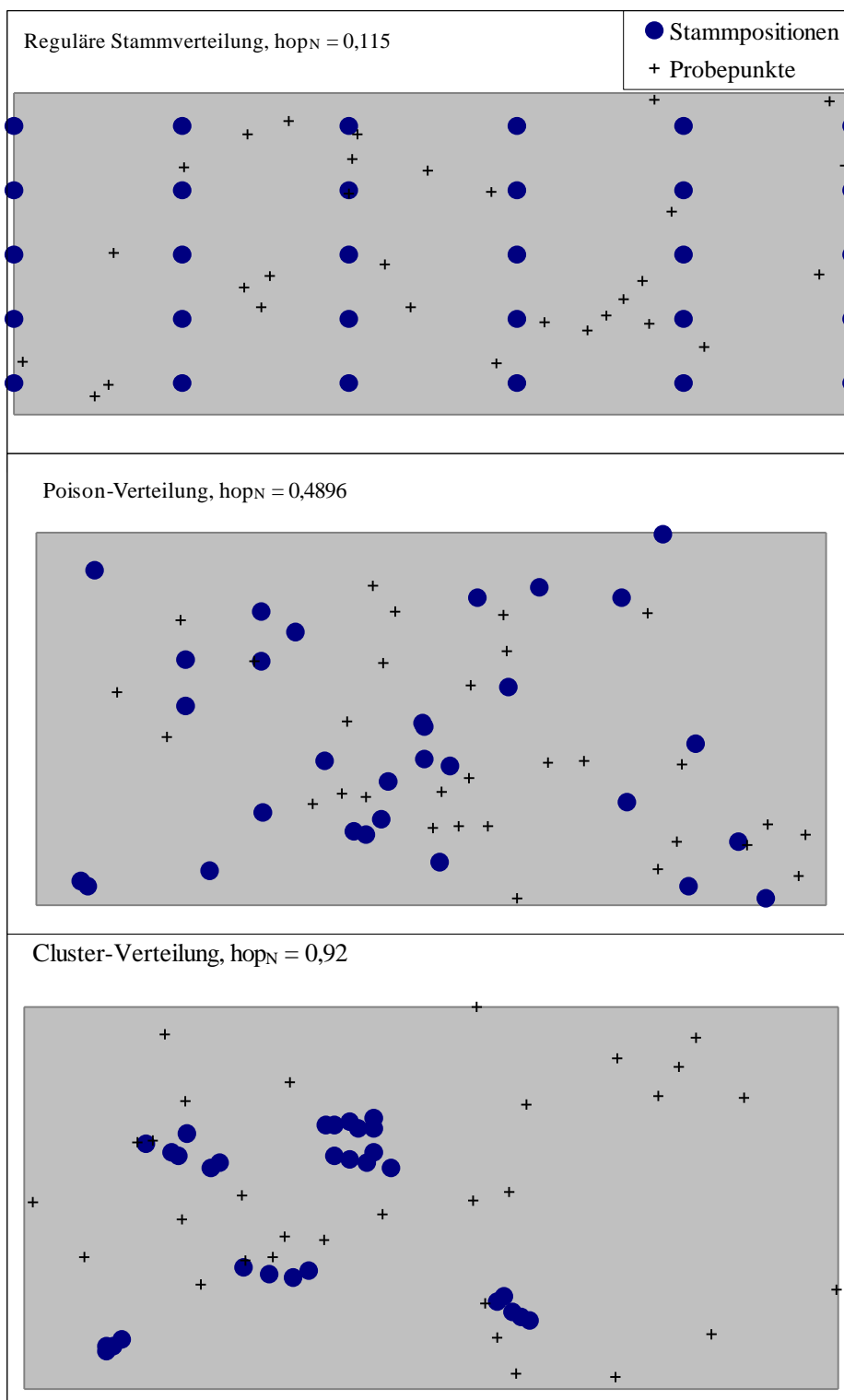
Die Grundtypen regelmäßige, zufällige und geklumpte Verteilung (siehe Abbildung 3.6b und 3.9) treten in ihrer Reinform in der Praxis nur äußerst selten auf. Werden Bestände mit solchen Verteilungsmustern erzeugt, wie dies in Abbildung 3.8 zu sehen ist, wirkt das Erscheinungsbild sehr künstlich. Die ständige Konkurrenz bewirkt zudem eine kontinuierliche Veränderung der Strukturparameter.



**Abb. 3.8:** Bild einer Waldlandschaft mit regelmäßig (gepflanzte Bestände) bzw. zufällig (aus Naturverjüngung hervorgegangene Bestände) verteilten Baumpositionen

Die Generierung von räumlichen Bestandesstrukturen fällt in das mathematische Fachgebiet der markierten Punkt-Prozesse. Bisher wurden drei grundlegende Ansätze zur Erzeugung solcher räumlicher Strukturen von Punkten beschrieben.

Der erste Ansatz ist eigentlich keine echte Generierung von Strukturen, sondern vielmehr eine Vervielfältigung (Kopierung) eines bekannten Teilbestandes. Dieser Teilbestand kann entweder aus einer Stichprobeninventur oder einem Archiv stammen. Alle Flächen des Untersuchungsgebietes werden nach bestimmten Parametern klassifiziert. Anschließend wird in ihnen ein bekannter Teilbestand der selben Klassifizierung mosaikartig vervielfacht. Diese Methode ist relativ unkompliziert, solange nicht allzuvielen Parameter in die Klassifizierung der Bestände einfließen. Bei einer Visualisierung von größeren Regionen fällt aber oft das mosaikartige Muster der Teilbestände auf.



**Abb. 3.9:** Beispielfälle für die Analyse von Stammverteilungen mit dem Hopkins-Test (nach TOMPPO, 1986)

DEGENHARDT (1999) sowie DEGENHARDT und POMMERENING (2000) diskutieren die Möglichkeiten, welche sich aus der Anwendung von Gibbs-

Prozessen zur Beschreibung und sekundären Reproduktion der Bestandesstrukturen anhand von Inventur- und Stichprobendaten ergeben. Diese Methodik befindet sich allerdings noch in der Entwicklung und hat noch keinen Einzug in die Praxis gefunden. TOMPPO (1986) diskutierte eine Reihe weiterer Kennziffern zur Analyse der räumlichen Verteilung von Bäumen. In der Abbildung 3.9 wird beispielhaft der Hopkins-Index demonstriert. Er wird aus den Abständen von zufällig erzeugten Probepunkten zu den jeweils nächsten Bäumen errechnet. Es existieren folgende Idealfälle:

Reguläre Verteilung  $\text{hopN} = 0,0$

Cluster-Verteilung  $\text{hopN} = 1,0$

Poisson-Verteilung  $\text{hopN} = 0,5$ .

Es wäre andererseits auch denkbar, eine Abhängigkeit der räumlichen Verteilung der Bäume in bekannten Beständen mit deren Einrichtungsparametern (Baumarten, Alter, Standort, Mischungsanteile etc.) zu modellieren, um dann flächendeckend aus den Forsteinrichtungsparametern Strukturinformationen abzuleiten. Eine derartige Untersuchung ist aber mit einem sehr hohen Zeitaufwand verbunden und steht nur für den Fall zur Debatte, daß andere Verfahren nicht den Ansprüchen des Nutzers entsprechen.

Mit der Generierung von Strukturen beschäftigte sich auch PRETZSCH (1993). Er entwickelte den Strukturgenerator STRUGEN, der auch in den Waldwachstumssimulatoren BWIN (NAGEL, 1997) und SILVA (KAHN und PRETZSCH, 1997) integriert ist. In den bisher zugänglichen Versionen bewältigen beide Programme aber nur kleinere Bestände mit einigen 1000 Bäumen. In jungen Beständen oder weiträumigen Landschaften wird diese Stammzahl nicht immer den Bedürfnissen des Nutzers genügen.

Dieser Strukturgenerator greift ebenfalls auf die Grundtypen räumlicher Verteilungen zurück, ergänzt diese aber durch eine Reihe von Variationsmöglichkeiten.

### 3.2.4.2 Generierung von Einzelbaumparametern

Nachdem die Stammfußpunkte über die Fläche verteilt wurden, müssen diesen noch die entsprechenden Eigenschaften zugewiesen werden. Als wichtigste Parameter im Sinne der Visualisierung sind die Art, die Größe und evt. die Vitalität anzusehen. Diese drei Eigenschaften unterliegen unterschiedlichen Häufigkeiten und besitzen unterschiedliche Affinität zueinander. Welche Häufigkeit und welche Affinität vorliegt, muß im realen Bestand ermittelt werden. Da diese Angaben im Rahmen der Forsteinrichtung bisher nicht erfaßt werden, müssen sie nachträglich im Bestand ermittelt oder aus der Bestandesbeschreibung indirekt abgeleitet werden.

Für die Bestimmung von Häufigkeiten und Affinität im Bestand eignen sich die Nachbarschaftsindizes nach FÜLDNER (1995) und GADOW (1999). Dabei werden im Bestand Stichprobenbäume ausgewählt und inklusive der nächsten  $n$  Nachbarn erfaßt.

Aus den  $n+1$  bestimmten Brusthöhendurchmessern wird ein Differenzierungs-Index  $T$  nach der Formel

$$T_i = \frac{1}{n} \sum_n^1 t_{ij}$$

bestimmt, wobei  $T_i$  der Differenzierungsindex des Baumes  $i$  und  $t_{ij}$  der Brusthöhendurchmesser des  $j$ -ten nächsten Nachbarn von  $i$  ist.

Der Durchmischungsindex läßt sich aus der Artzugehörigkeit der  $n+1$  Bäume nach der Formel

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_n^1 m_{ij}$$

ermitteln, wobei  $M_i$  der Durchmischungsindex des Baumes  $i$  und  $m_{ij}=1$  ist, wenn der  $j$ -te nächste Nachbarn der gleichen Art wie  $i$  angehört. Andernfalls ist  $m_{ij}=0$ . Gehören alle Bäume der gleichen Art an, so ist der Wert des Index gleich 1; besitzen die  $n$  Nachbarn dagegen eine andere Artzugehörigkeit als der Bezugsbaum, so ist der Index gleich 0.

Schließlich soll der Aggregationsindex einen Indikator für die Klumpung oder Regelmäßigkeit der Verteilung liefern. Er wird nach der Formel

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_n w_{ij}$$

ermittelt, wobei  $W_i$  der Aggregationsindex des Baumes  $i$  und  $w_{ij}$  der Abstand des  $j$ -ten nächsten Nachbarn von  $i$  ist.

Werden diese drei Indizes mit dem Durchmesser, der Art oder beiden Parametern gekoppelt, lassen sich Aussagen darüber treffen, mit welcher Präzision den Nachbarn eines konkreten Baumes mit spezifischen Eigenschaften wiederum spezifische Parameter zugeordnet werden können.

Zur Reproduktion des Bestandes werden zunächst die Datensätze der Bäume entsprechend der erfaßten Häufigkeiten erzeugt. Diese Einzelbaumdatensätze müssen jetzt noch an geeigneten Stammfußkoordinaten positioniert werden.

Nach einer zufälligen oder auch regelmäßigen räumlichen Generierung der Stammfußkoordinaten der Datensätze wird wie auch in STRUGEN (sowie in SILVA) eine maximale Anpassung des virtuellen Waldes an die Erwartungsverteilung durch Austausch ungünstig positionierter Bäume angestrebt. Die möglichen Stammfußkoordinaten bleiben von diesen Tauschvorgängen unberührt. Bei hohen Stammzahlen dauert diese Anpassung sehr lange. Zudem ist die Anpassung nicht optimal und hängt stark von der ersten Verteilung der Parametersätze ab.

Zur Zeit sind noch keine geeigneten Funktionen bekannt, die diesen Verteilungsprozeß wesentlich effektiver bewältigen können.

### **3.3 Visualisierung von Bäumen, Beständen und Waldlandschaften**

Die Darstellung von Wäldern kann über verbale Beschreibungen quantitativer und kategorischer Eigenschaften sowie durch grafische Abbildungen erfolgen.

#### **3.3.1 Geschichtlicher Abriss und Forschungsstand**

Einige der ersten überlieferten verbalen Beschreibungen der Wälder in Mitteleuropa stammen aus der Zeit des Römischen Reiches. Besonders markant ist daran, wie der Autor die Dichte des Waldes beschreibt, da diese offenbar im Kontrast zu den ihm bekannten mediterranen Wäldern stand (siehe dazu HASEL, 1985). Wesentlich mehr Informationen sind aus diesen Quellen allerdings nicht zu gewinnen.

Im Mittelalter folgten detaillierte grafische Darstellungen des Waldes. Diese Bilder sind zwar oft romantisch verklärt, zeigen aber auch gelegentlich ein sehr präzises Abbild des Waldes. Derartige Quellen wurden unter anderem zum Nachweis mittelalterlicher vorindustrieller Waldschäden herangezogen. Weiterhin liefern auch schriftliche Zeugnisse Informationen über den Zustand des Waldes jener Zeit. Neben Reiseberichten und anderen literarischen Werken entstanden auch die ersten frühen forstlichen Abhandlungen. Diese versuchten eine erste quantitative Beschreibung des Waldzustandes. Die Fortsetzung dieser Entwicklung ist in der heutigen modernen Forsteinrichtung zu sehen (HASEL, 1985).

Traditionell konzentrierte sich die Forsteinrichtung auf die Entwicklung und den Einsatz quantitativer und kategorieller Beschreibungen. Die grafische Darstellung von Waldbeständen und –strukturen erfolgte in der Regel in Gestalt von zweidimensionalen und zumeist flächenbezogenen Karten. Dreidimensionale Modelle und Zeichnungen blieben aufgrund des hohen Arbeitsaufwandes in der Regel wissenschaftlichen oder populärwissenschaftlichen Publikationen vorbehalten. Aber bereits hier profitierten die Autoren von der gesteigerten Anschaulichkeit dieser Darstellungsform.

Wie in so vielen anderen Bereichen verursachte die Entwicklung moderner Computertechnologien auch in diesem Gebiet eine enorme Veränderung. Seit etwa zehn Jahren liefern die Rechnersysteme Möglichkeiten, auch komplizierte

Objekte dreidimensional darzustellen. Rasant ansteigende Rechenleistungen und schnelle Grafik-Algorithmen lassen es zu, immer mehr Details des darzustellenden Objektes wiederzugeben. Während die ersten Programme noch vor wenigen Jahren die Bäume nur mit Hilfe von einfachen geometrischen Körpern darstellen konnten (z.B. KAHN und PRETZSCH, 1997 sowie NAGEL, 1997), kann inzwischen die Oberfläche eines einzelnen Baumes aus mehreren hunderttausend Polygonen bestehen. Zusätzlich lassen sich Grafiken von Rinden, Blättern usw. als Texturen auf die Polygone projizieren, um ihnen ein noch realistischeres Äußeres zu verleihen. Optische Effekte wie unterschiedlichste Beleuchtung und Beschattung sowie Dunst- und Nebelschleier verstärken diesen Effekt weiter. Schließlich lassen sich Serien von Einzelbildern zu Animationen zusammenfügen, die eine virtuelle Bewegung durch oder über den Bestand erlauben.

Weitere Spezialeffekte wie die Erzeugung von Tiefenunschärfe sowie weiche Übergänge zwischen den Einzelbildern bei Animationen sind technisch bereits möglich und werden auch in künftige Versionen der Visualisierungssoftware einfließen.

Eine vertiefte Diskussion technischer Fragen der Computergrafik führt SEIFERT (1998) durch, auf den an dieser Stelle ausdrücklich verwiesen werden soll.

### **3.3.2 Aktuelle Systeme**

Die virtuelle Darstellung von Beständen und Waldlandschaften beschäftigt eine Reihe verschiedener Teams weltweit (LECOUSTRE et al., 1997; BERGEN et al., 1995; BUCKLEY, et al., 1998; HOUSE et al., 1998; BUCKLEY und BERRY, 1997). Dabei lassen sich zwei Gruppen von Zielstellungen unterscheiden.

**Landschaftsplaner** interessiert vor allem das Bild der Landschaft, weniger der Komplex von Prozessen, welcher das Landschaftsbild verändert. Sie konzentrieren sich auf eine möglichst „echt aussehende“ Darstellung von Objekten. Dabei werden auch gern Bilder dieser Objekte verwendet, die wie in einer



Fotomontage am Computer in die Landschaft eingefügt werden. Dieses Verfahren ist aber nicht geeignet, Prozesse zu modellieren.

**Ökologen** dagegen interessieren sich primär für den Prozeß, welcher die Landschaft prägt bzw. erzeugt. Hier stehen die Modelle meist im Zentrum des Interesses. Aufgrund des oft sehr hohen Rechenaufwandes werden hier zumeist nur kleine Baumgruppen betrachtet. Dementsprechend sind die Visualisierungen oft nur sehr kleinräumig und in vielen Programmen nur von geringer Detailauflösung.

Die Beschränkung bei beiden Gruppen hat seine Ursache in der beschränkten Kapazität der Rechnersysteme. Große Datenmengen können zwar inzwischen relativ problemlos gespeichert werden; deren Verarbeitung durch rechenintensive Prozeßmodelle bzw. deren dreidimensionale Darstellung verursacht aber noch immer enorme Rechenzeiten.

Die Kombination von hoher Detailauflösung auf großen Landschaftsausschnitten mit der Modellierung von Entwicklungsprozessen erfordert eine sehr gewissenhafte Handhabung der Datenmenge. Künftige Leistungssteigerungen der Rechentechnik können hier zwar unterstützend wirken, werden aber das Problem nicht gänzlich lösen.

Die Animation von Bewegungen des Betrachters durch den virtuellen Bestand bzw. der Entwicklung von Pflanzen im Zeitraffer ist mit der zur Verfügung stehenden Hard- und Software möglich, erfordert aber noch immer einen hohen Rechenaufwand. So benötigte die Silicon Graphics Workstation O2 des Bearbeiters für die Berechnung einer 16-Sekunden-Sequenz mit ca. 40 Bäumen mehr als 24 Stunden reine Rechenzeit. Eine Vervielfachung der Baumzahl oder der Animationslänge würde eine entsprechende Vervielfachung der Rechenzeit zur Folge haben.

Es müssen also Verfahren gefunden werden, um die Rechenzeit zu verkürzen. Es ist zum Beispiel nicht nötig, Bäume zu berechnen, die sich außerhalb des Sichtbereiches befinden. Bei großen Landschaften und kleinem betrachtetem Landschaftsausschnitt läßt sich der Rechenaufwand enorm reduzieren, indem Bäume, die sich außerhalb des sichtbaren Ausschnittes befinden, nicht berechnet werden.

Ein System, mit dem sich Waldlandschaften bildlich darstellen lassen, sollte wenigstens drei Aufgaben umsetzen können:

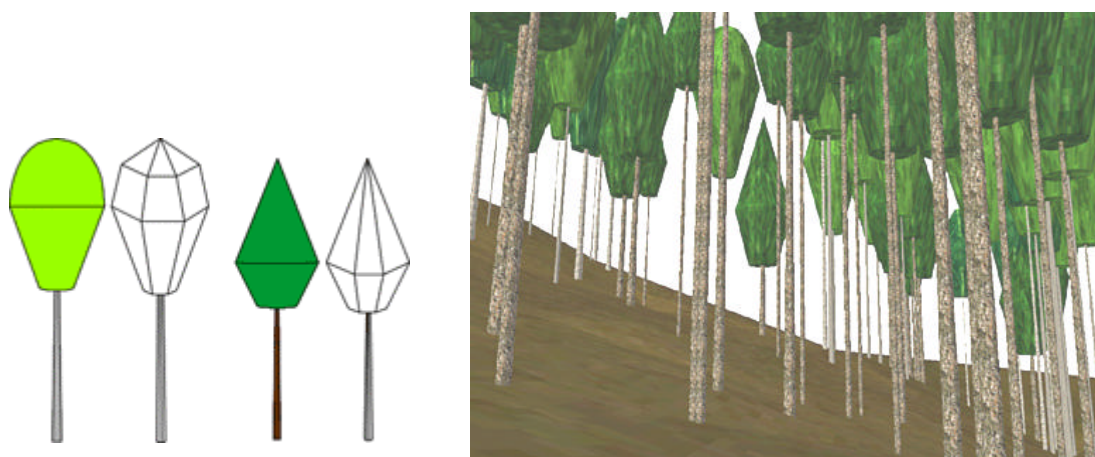
- Es muß aus Informationen über Position, Art und Größe der Bäume eine 3-dimensionale virtuelle Szene erstellen können. Diese Anforderung ist notwendig, um Ansichten aus verschiedenen Blickwinkeln erzeugen zu können.
- Für die Erzeugung des Bildes ist es weiterhin notwendig, aus Beobachterposition und Blickrichtung eine Perspektive zu berechnen.
- Die Software muß schließlich in der Lage sein, aus diesen Informationen eine 2-dimensionale Projektion der Bestandesansicht zu generieren. Dabei sollten wenigstens solche optischen Eigenschaften wie Überlappung und perspektivische Verkleinerung berücksichtigt werden.

Bei einer relativ einfachen Form eines solchen Visualisierungssystems werden an die Positionen der Bäume 2-dimensionale Fotos der entsprechenden Arten plaziert. Derartige Bäume bestehen also lediglich aus einem Polygon mit einer Textur. Zusammen mit einem texturierten Relief und weiteren optischen Effekten wie Nebel, lassen sich mit relativ geringem Rechenaufwand recht anschauliche Bilder von Waldlandschaften erzeugen. Die einfache Darstellung zieht aber auch einige wesentliche Nachteile nach sich. Bäume verschiedenen Alters müssen unterschiedliche Texturbilder zugewiesen werden. Ansonsten wirken die Bäume wie „aufgeblasen“. Stehen zudem Bäume der gleichen Art nebeneinander und werden mit dem gleichen Texturbild dargestellt, entsteht der Eindruck von „Klonen“. Schließlich lassen sich von 2-dimensionalen Objekten keine realistischen Schatten projizieren.

Einen Schritt weiter gehen die Visualisierungssysteme, welche den Baum als Kombination verschiedener geometrischer Körper darstellen. Dabei wird der Stamm oft unterhalb des Kronenansatzes aus Zylindern und die Krone aus Kombinationen von Kegeln und Ellipsoiden oder deren Abschnitten zusammengesetzt.

Diese Bäume können nach verschiedenen Parametern, wie BHD, Kronenansatzhöhe, Kronendurchmesser, Gesamthöhe und Kronenform modelliert und mit verschiedenen Texturen illustriert werden. Da sie in ihrer äußeren Form ihren natürlichen Originalen bereits recht ähnlich sind, ist auch

die Berechnung der Bodenbeschattung sinnvoll. Wird für die Krone eine bestimmte Lichtdurchlässigkeit simuliert, erhält man bereits recht realistische Abbilder der Natur. Diese Form der Visualisierung von Bäumen, Beständen und Waldlandschaften wird zur Zeit an der Universität München im Rahmen der Visualisierungssoftware TreeView weiterentwickelt (SEIFERT, 1998; siehe Abbildung 3.10). Da solche Bäume nur aus einer sehr begrenzten Anzahl von meist nicht mehr als 100 Polygonen bestehen, eignet sich diese Art der Visualisierung unter den gegenwärtigen technischen Möglichkeiten am besten, interaktive Echtzeit-Bewegungen durch den Bestand oder die Bestandesdynamik zu visualisieren.



**Abb. 3.10:** Darstellung von stilisierten Buchen und Fichten aus zusammengesetzten Körpern und deren Verwendung bei der Visualisierung eines Fichten-Buchen-Bestandes durch TreeView (Quelle: SEIFERT, 1998)

Die dritte Form der Visualisierung von Bäumen geht am weitesten in die morphologischen Details des Baumes. Jeder virtuelle Baum besteht aus einem Skelett, dem sogenannten „*Linetree*“. Dieser setzt sich aus einer Kette von Einzelementen zusammen, für welche neben ihrer relativen Position im Baum z.B. auch solche Parameter wie physiologischer Typus, Durchmesser am Anfang und Ende und abgehende Verzweigungen definiert sind. Als physiologischer Typus werden Angaben darüber verstanden, ob der entsprechende Abschnitt Teil einer Triebachse (Ast, Stamm oder Wurzel), ein Meristem (Knospen) oder ein Blattorgan (Laubblatt, Nadel, Blüte) darstellt (REFFYE und BLAISE 1993; KURTH, 1994b, 1998).

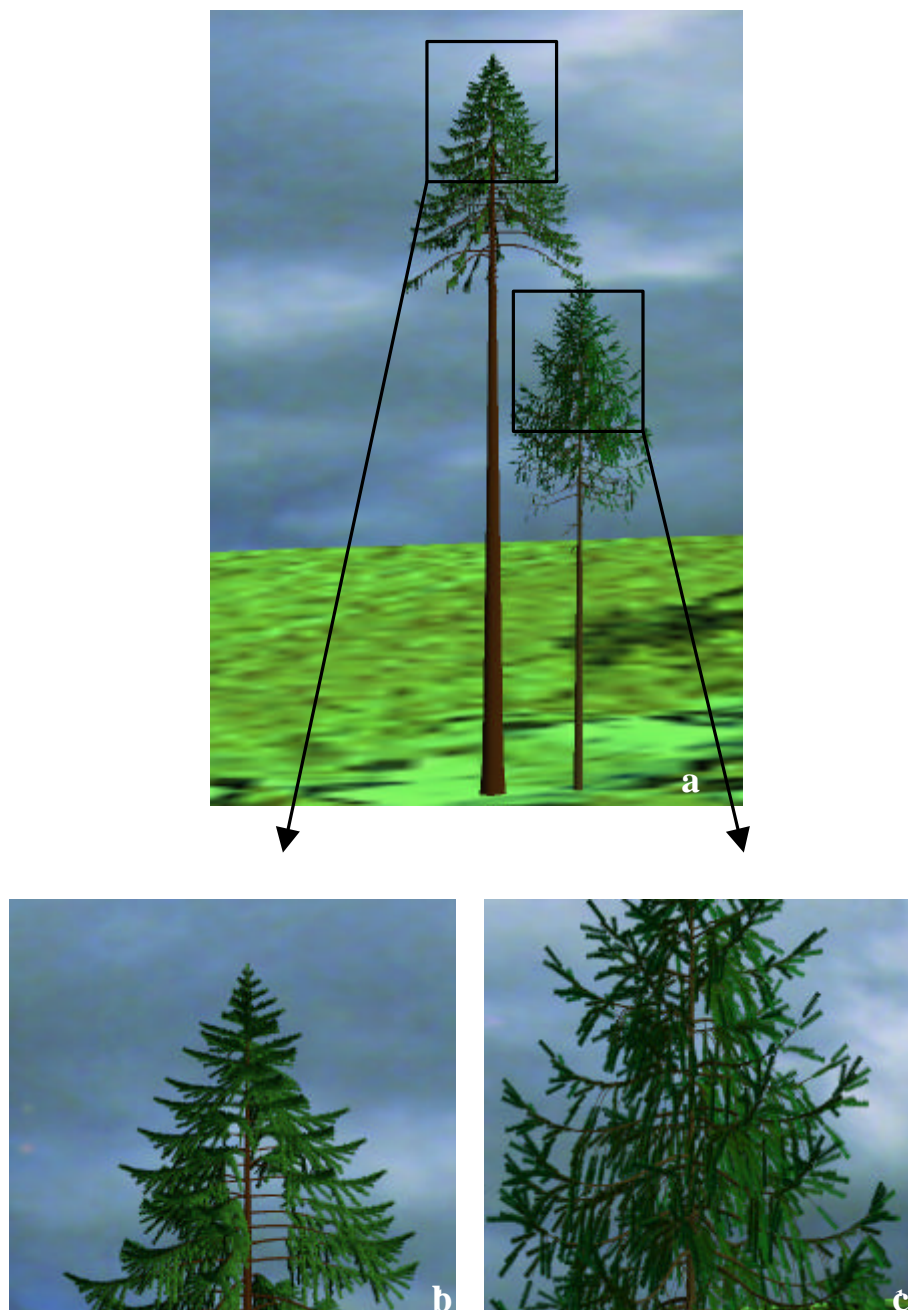
Es sind grundsätzlich zwei Wege denkbar, solche Linetrees zu erstellen. Der zunächst einfachere ist es, einen realen Baum mit allen seinen Zweigen zu

vermessen und diese Werte in den Linetree umzusetzen. Diese Methode liefert natürlich besonders realistische virtuelle Bäume, ist aber nur bei einzelnen jüngeren Individuen praktikabel. Zudem ist man auf den Zustand des Baumes zum Zeitpunkt der Vermessung fixiert. Dagegen ermöglicht die Modellierung der Entwicklung der Baummorphologie die Erstellung von Bäumen verschiedenen Alters. In diesem zweiten Verfahren werden aus zahlreichen empirischen Daten allgemeine Regeln für die Entwicklung der Morphologie einer Baumart aufgestellt. Diese werden schließlich in einer *growth engine* (CIRAD, 1996; REFFYE und BLAISE 1993; Abbildung 3.11a,c) oder einem *growth grammar interpreter* (GROGRA, KURTH, (1994b, 1998); Abbildung 3.11a,b) umgesetzt.

Aus einer Jungpflanze entwickelt sich in diesen „Wuchsmaschinen“ durch periodischen Zuwachs ein Baum. Da sich die Wachstumsregeln einer Baumart im Laufe des Lebens verändern, ist es oft nur möglich, das Regelwerk für einen bestimmten Lebensabschnitt zu bestimmen. Unter dieser Einschränkung leidet insbesondere die Nutzung der *growth engine* von AMAP bei der Visualisierung von Waldlandschaften. Für viele Baumarten existieren nur Morphologiemodelle bis zum Jungbestandsalter. Die Darstellung von Altbeständen bereitet gegenwärtig noch gewisse Schwierigkeiten. Perspektivisch sollen diese aber durch erweiterte Wachstumsregeln behoben werden. Zudem gibt es zwar Modelle für Solitärbäume und solche aus Bestandessituationen, trotzdem stellen diese Bäume nicht die Wirkung der spezifischen Konkurrenzsituation dar.

Die im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Darstellung der Bäume auf der Grundlage von mit Wachstumsregeln erstellten Linetrees findet ihre konsequente Weiterentwicklung in der Kopplung dieser Programme mit Zuwachsmodellen, die über die Konkurrenzsituation auch die generelle Verfügbarkeit von Licht, Wasser, Nährstoffen und Wuchsraum berücksichtigen. Solche komplexen Modelle werden gegenwärtig von verschiedenen Forschungsteams entwickelt (INRA, 1998). Grundlage dafür ist die Zuweisung von physiologischen Funktionen zu den einzelnen Abschnitten des Linetrees. Da ein mittlerer Baum aus einigen 10.000 Elementen besteht, ist es klar, daß solche Modelle für die Simulation der Entwicklung von Baumgruppen oder gar kleinen Beständen sehr große Rechenkapazitäten verlangen. Andernfalls gelangt der Modellierer schnell in die Situation, eine „Echtzeit-Simulation“ vor sich zu

haben, das heißt, daß die Simulation einer einjährigen Entwicklungsperiode wirklich ein Jahr Rechenzeit in Anspruch nimmt.



**Abb. 3.11a-c:** Graphische Darstellung einer mit AMAP (CIRAD, 1996; REFFYE und BLAISE 1993) erzeugten 40-jährigen Fichte (Abb. 3.11a rechts sowie 3.11c) und einer mit GROGRA (KURTH, 1994b, 1998) erzeugten 120-jährigen Fichte (Abb. 3.11a links sowie 3.11b). Visualisierung in beiden Fällen mit AMAP-LANDSCAPE.

### 3.3.3 Integration von Objekten in Landschaften

Um ganze Landschaften zu visualisieren, ist es notwendig, neben Bäumen und dem Relief auch Gebäude, Straßen und andere die Landschaft prägende Objekte in die Szene einzubeziehen.



**Abb. 3.12:** Darstellung des Klimaturmes des ErlebnisWaldes als Beispiel für die Integration technischer Objekte bei der Visualisierung von Waldlandschaften

Wie auch bei den einfacheren Verfahren zur graphischen Darstellung von Bäumen können auch für andere Objekte zweidimensionale Graphiken oder Fotos in die Szene eingefügt werden. Ein solches Vorgehen eignet sich insbesondere bei Objekten, die weit vom Betrachter entfernt sind. Aufmerksamkeit

sollte man dabei auf die Ausrichtung der Schatten legen, damit diese nicht im Widerspruch zu denen der dreidimensionalen Objekte stehen.

Bei der Darstellung von großen Landschaftsausschnitten, in denen sich nur geringfügige Veränderungen oder solche im Szenenvordergrund vollziehen, sollte der unveränderliche Teil der Szene in Form einer Hintergrundgrafik eingefügt werden. Diese Grafik kann durch Abspeichern einer dreidimensionalen Szene oder auch durch Einfügen eines Fotos erstellt werden. Andernfalls kann die für die Erstellung von Animationen oder Bildserien notwendige vielfache Berechnung der Szene bei unnötig vielen Einzelobjekten (insbesondere bei polygonreichen Bäumen oder Sträuchern) zu enormen Rechenzeiten führen.

Die Gestaltung des Reliefs mit Straßen, Wegen, Grünflächen und Feldern kann am einfachsten durch die Einbeziehung eines Luftbildes als Textur erfolgen. Lediglich Veränderungen wie Bodeneinschnitte müssen als gesonderte Objekte gestaltet werden.

Dreidimensionale Objekte wie nahestehende Häuser, Mauern und dergleichen können mit den diversen CAD-Programmen erstellt werden. Da AMAP-Integral ursprünglich für die Anwendung im Bereich der Grünplanung vorgesehen war, bietet das Programm hierfür mehrere Importformate an. Die meisten Gebäude können im Verhältnis zu den detailreichen Bäumen von AMAP oder GROGRA durch relativ wenige Polygone visualisiert werden und verursachen so keine wesentliche Erhöhung des Rechenaufwandes.

In der Abbildung 3.12 ist ein Ausschnitt einer Landschaftsvisualisierung zu sehen, in welche ein technisches Objekt, in diesem Fall der Klimaturm des ErlebnisWald-Projektes, integriert wurde. Nachdem das Objekt in AutoCad erstellt worden war, konnte es in die Szene eingebunden werden. Die Position der Blätter im Bereich der Hauptpfosten des Turmes zeigt die Genauigkeit der 3-dimensionalen Visualisierung. Der simulierte Schattenwurf der Baumkronen und des Turmes erhöht die Plastizität und Realitätsnähe der Szene.

### **3.4 Bewertung von Eingriffen durch räumliche Modellierung**

Eines der wesentlichen Ziele der Simulation von Waldentwicklungsprozessen ist der Vergleich von Unterschieden als Folge verschiedenartiger Eingriffe.

Die Modellierung der Entwicklung eines Bestandes geht von der Abhängigkeit von Bestandesstruktur und Umwelt aus. Identische Strukturen und Umweltparameter führen zu identischen Ergebnissen. Veränderungen von einzelnen oder mehreren Parametern zu einem oder mehreren Zeitpunkten führen zu veränderten, aber für den aktuellen Parametersatz typischen Ergebnissen.

Durch eine plötzliche Veränderung der Struktur eines Bestandes, wie sie etwa als Folge forstlicher Tätigkeiten (Durchforstungen), von Umwelteinflüssen (Sturm, Schneebruch, Kalamitäten) oder ökologischen Prozessen (einsetzende Verjüngung als Folge einer starken Mast) auftreten kann, erfolgt eine Neuordnung der Konkurrenzverhältnisse bzw. der Verfügbarkeit von Ressourcen. Sie bedingen von diesen Ausgangsparametern abhängige Entwicklungsszenarien. Die Bewertung von Eingriffen erfolgt durch den Vergleich ihrer Ergebnisse.

Seit dem frühen Mittelalter ist es den Menschen bewußt, daß ihr Wirken im Wald Folgen verursacht, die in ihrem Interesse stehen, diesem aber auch zuwider laufen können. Die massive Nutzung des Holzes für Bergbau, Glashütten oder den Schiffsbau sowie Streunutzung und Waldweide hatten die Strukturen der genutzten Wälder verändert (HASEL, 1985).

Die gelichteten Wälder boten dem Vieh mehr Futter als dicht geschlossene Bestände. Gleichzeitig verhinderte die Beweidung das Aufkommen der Verjüngung. Der massive Nährstoffexport durch Streunutzung bewirkte eine stetige Verschlechterung der Standortsqualität. Als Folge trat eine Holzknappheit ein, in deren Folge im 18. Jahrhundert die Anfänge der geregelten Waldbewirtschaftung entstanden. Das Neue an dieser Form der Bewirtschaftung war die Berücksichtigung der Folgen einer Nutzung. Maß für die Bewertung der Folgen waren die Kosten, welche die Bereitstellung des benötigten Holzes verursachte. Eine Übernutzung der örtlichen Vorräte hatte langfristig längere Transportwege und damit höhere Kosten zur Folge. Eine Nutzung, die dies vermied, wurde in der Folge als nachhaltig bezeichnet (HASEL, 1985).



Auch heute noch werden viele Folgen über die mit ihnen verbundenen Kosten verglichen. Dabei wird aber nicht mehr allein die Verfügbarkeit von Holz berücksichtigt. Auch andere Faktoren, wie etwa die Fähigkeit des Waldes zur Pufferung massiver Niederschläge oder Schneeschmelzen, der Erholungswert oder seine ökologische Funktionalität werden heute monetär bewertet (ELSASSER, 1996; BERGEN, 1997; SCHWEPPE-KRAFT, 1998). Allerdings ergeben sich hierbei oft Probleme bei der Wahl der geeigneten Methodik. Deswegen werden auch zukünftig weiter nichtmonetäre Bewertungen erfolgen.

Die Eignung von Wäldern als Habitat für spezifische Tier- und Pflanzenarten oder seine ästhetische Wirkung auf den Erholungssuchenden sind Beispiele für solche nichtmonetäre Bewertungen. Insbesondere für letztere ist es unumgänglich, realistische Darstellungen der möglichen Alternativen für die Entscheidungsfindung zu besitzen. Hierfür eignet sich das hier besprochene System in besonderem Maße.



## **4 Anforderungen an Modelle und Visualisierungssysteme sowie deren Restriktionen**

Die Fülle und Diversität der einzelnen Systeme, die im Überblick im vorangegangenen Kapitel beschrieben wurden, macht es notwendig, konkrete Anforderungen an die Elemente eines Visualisierungssystems zu stellen. Es wäre allerdings unrealistisch, diese Ansprüche über das gegenwärtig machbare hinaus zu heben. Daher ist es unumgänglich, auch die technischen Restriktionen genau zu bestimmen. Beides soll im folgenden geschehen.

### **4.1 Anforderungen an moderne Visualisierungssysteme**

Ein modernes System zur Visualisierung von Waldentwicklungsszenarien wird nur dann eine Chance haben, den Sprung von der experimentellen Ebene zur praktischen Anwendung zu machen, wenn es leistungsfähig, vielseitig, flexibel und möglichst einfach zu handhaben ist.

Um eine möglichst vielseitige Anwendbarkeit zu erlauben, muß das System eine breite Datenbasis integrieren können. Da die Gewinnung von Daten in vielen Projekten den größten Kostenpunkt darstellt, sollten alle bereits verfügbaren Quellen, welche geeignete Informationen enthalten, genutzt werden können. Hierfür sind entsprechende Import-Export-Schnittstellen erforderlich. Neben ASCII-Dateien sollten auch binäre Dateien in gängigen Formaten (Arc/Info, Auto-CAD etc.) lesbar sein. Für die Interpretation der Daten ist selbstverständlich eine gewissenhafte Dokumentation jedes Datensatzes unverzichtbar. Im System sollten ferner Tools zur Umwandlung von flächenbezogenen in einzelbaumbezogene Daten vorhanden sein.

Neben der Bewertung ästhetischer Aspekte, die sich zweifellos kaum quantifizieren lassen, sollte ein System zur Visualisierung von Waldentwicklungsszenarien auch Tools zur quantitativen Beschreibung von Strukturen und deren Veränderungen bereithalten. Sie erlauben die Ergänzung des ästhetischen Aspekts mit Zahlenmaterial, ohne welches heute keine Entscheidung mehr gefällt wird. Solche Parameter können entweder aus den bestandes- bzw. einzelbaumbezogenen Daten oder aber auch durch Analyse der dreidimensionalen Struktur im virtuellen Bestand ermittelt werden.

Weiterhin sollte ein modernes Visualisierungssystem auch in der Lage sein, verschiedene Szenarien unterschiedlicher Maßstäbe simulieren zu können. Neben der räumlichen Dimension und der davon abhängigen Detailauflösung sollten auch verschiedene zeitliche Skalen in den Modellen berücksichtigt werden können. Diese beiden Dimensionen müssen im Einklang mit dem zu modellierenden Prozeß stehen. Je mehr Prozesse das System also darstellen soll, um so mehr Flexibilität ist auch in seiner Darstellungsweise erforderlich.

Eine hohe Flexibilität des gesamten Systems beinhaltet auch eine breite Auswahl an Darstellungsformen und Methoden. Je nach Zweck und Zielgruppe sind Einzelbilder, Serien oder Animationen unterschiedlicher Auflösung gefragt. Die Vielzahl der möglichen Ausgabegeräte, wie Monitore, Projektoren, kleinformatische Drucker, großformatige hochauflösende Plotter oder Druckmaschinen erfordern eine fast unendliche Zahl verschiedener Typen und Varianten von Standardausgabe-Formaten. Das System sollte aber zumindest eine Reihe gängiger Ausgabeformate, wie verschiedene Raster- (TIFF, JPEG), Postscript- (PS) oder Movie-Formate (MPEG, MOV, AIV) erzeugen können. Aus diesen gängigen Formaten können in der Regel auch seltenere Formate transferiert werden. Die dazu notwendigen Transfer-Programme können bei Bedarf beschafft werden.

Diese vielfältigen technischen Aufgaben muß das System in überschaubarer Rechenzeit realisieren. Da die Kosten der leistungsfähigsten Hardwarekonfigurationen in der Praxis kaum zu tragen sein werden, muß hier gut abgewogen werden, inwieweit Rechenzeit und damit Arbeitszeit durch Leistungsfähigkeit der Rechner substituiert werden kann. Daneben gilt es den Rechenaufwand so weit wie möglich zu reduzieren. Da sich hier eine Einsparung in der Rechenzeit besonders drastisch auswirkt, ist dies insbesondere bei der Erzeugung von Bildserien und Animationen bedeutsam. Für diesen Zweck eignen sich Verfahren zur selektiven Detailtiefe bzw. die Verwendung von Hintergrund-Images.

Ein wirklich leistungsfähiges System verursacht gegenwärtig noch hohe Anschaffungskosten. Diese werden bei einzelnen kleinen Projekten kaum zu rechtfertigen sein. Eher denkbar ist die Bereitstellung solcher Systeme durch Dienstleister, wie etwa Ingenieurbüros und Planungsämter, die je nach Bedarf

die entsprechenden Visualisierungen erstellen. Teilweise verfügen sie bereits über Teile der notwendigen Hardwareausstattung. Als projektungebundenes Angebot muß ein solches System wiederum ein hohes Maß an Flexibilität besitzen.

Schließlich sollten neue Produkte und Versionen im Bereich der Soft- und Hardware ohne großen Aufwand integrierbar sein.

## **4.2 Restriktionen zum gegenwärtigen Stand der Technik**

Da jedes Modell immer nur eine vereinfachte, unvollkommene formale Nachahmung der Realität sein wird, dürfen die Anforderungen an die Modelle hinsichtlich ihrer Realitätsnähe nicht übertrieben werden. Wer die Natur in absoluter Natürlichkeit studieren will, muß sich diese direkt ansehen. Es wird kein Modell geben, daß die Wirklichkeit identisch wiedergibt. Dieser Fakten muß sich jeder Nutzer von Modellen bewußt sein.

Das hier vorgestellte System integriert ein Reihe sehr unterschiedlicher Simulatoren (Abbildung 5.2). Viele von ihnen befinden sich noch in einer intensiven Weiterentwicklung. Infolge dessen wird der Leser dieser Arbeit oder der potentielle Nutzer feststellen, daß die Ergebnisse des Visualisierungssystems nicht immer so realitätsnah sind, wie dies mitunter erwartet oder benötigt wird. Hier kann nur auf künftige Fortschritte bei der Modellbildung getröstet werden.

Aus einem Modell wird erst dann ein technisch realisierter Simulator, wenn die Funktionen in ein Computerprogramm umgesetzt werden. Dieser zusätzliche Schritt reduziert die Zahl der zur Verfügung stehenden Modelle beträchtlich. So gibt es für manche Modelle zwar publizierte Funktionen, aber keine Softwareform, die diese für einen Simulator nutzbar macht. Einige Modelle sind auch noch so unsicher, daß deren Autoren noch nicht an einer weiteren Nutzung interessiert sind. Schließlich besitzt nicht jeder Simulator geeignete Schnittstellen, um ihn in ein komplexes System zu integrieren. Eine Lösung derartiger Schwierigkeiten könnte durch regelmäßige Zusammenarbeit und Erfahrungsaustausch, wie dies in letzter Zeit etwa im Rahmen von Arbeitsgruppentagungen verstärkt praktiziert wird, gefunden werden.

Schließlich hängt die Leistung eines Programmes sehr stark von der Leistungsfähigkeit der verwendeten Hardware ab. Die moderne Rechnertechnologie stellt heute bereits Ressourcen zur Verfügung, die noch vor wenigen Jahren undenkbar waren. Trotzdem ist noch lange nicht alles, was technisch denkbar oder vom praktischen her wünschenswert ist, machbar. Und nicht alles, was technisch machbar ist, ist ökonomisch sinnvoll. Letztlich bleibt es dem Nutzer der Technologie überlassen, für welches Level der Perfektion er sich entscheidet.

Resultierend aus den in diesem Kapitel beschriebenen Anforderungen und Restriktionen wurde ein Beispielkonzept entworfen, welches im folgenden Kapitel vorgestellt werden soll.

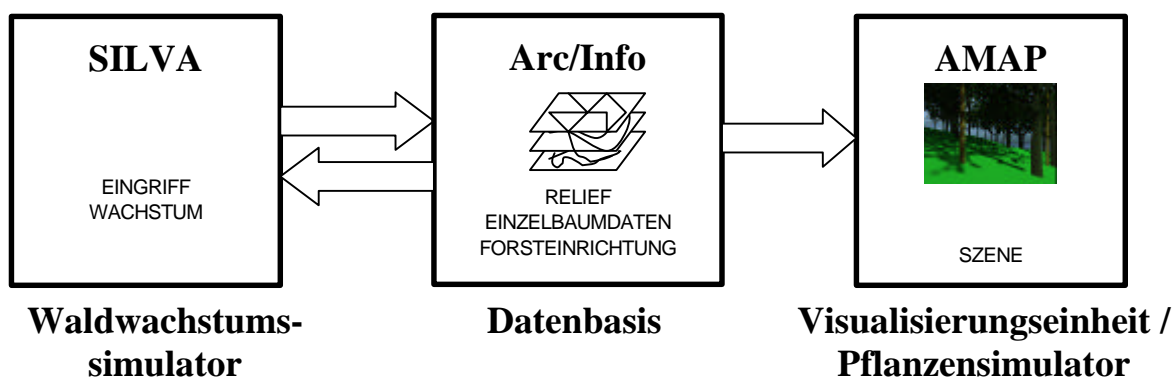
## 5 ViWa (Virtueller Wald) – ein modernes Visualisierungskonzept für dynamische räumliche Waldstrukturen

Wie im vorangegangenen Kapitel umrissen, muß ein modernes System zur Visualisierung von Waldentwicklungsszenarien eine breite Datenbasis integrieren können, Tools zur Bewertung von Strukturen bereithalten, verschiedene Szenarien unterschiedlicher Maßstäbe simulieren und hochwertige Darstellungen geeigneter Dimension erstellen können. Diese technischen Aufgaben soll das System mit überschaubarer Rechenaufwand realisieren und dabei für die wichtigsten Anwender finanzierbar bleiben. Schließlich sollten neue Produkte und Versionen im Bereich der Soft- und Hardware ohne großen Aufwand integrierbar sein.

Zur Demonstration und praktischen Erprobung wurde das System ViWa (Virtueller Wald) entworfen. Neben einigen kleinen Hilfstools besteht es ausschließlich aus kommerziellen oder nahezu praxisreifen Software-Produkten.

### 5.1 Bestandteile von ViWa

Insbesondere die Integrationsfähigkeit neuer Produkte und Versionen spricht für die Anwendung eines modularen Konzeptes. Das Gesamtsystem ViWa setzt sich daher aus den Modulen GIS-gestützte Datenbasis, Waldwachstumssimulator und Visualisierungseinheit sowie den Schnittstellen zwischen den Modulen zusammen, wie es in Abbildung 5.1 dargestellt ist.



**Abb. 5.1:** Modulare Struktur des Visualisierungssystems ViWa





### 5.1.1 Die GIS-basierte Datenbank

Auf der Grundlage von Arc/Info (ESRI) wurde eine Datenbank organisiert, welche alle für das Untersuchungsgebiet verfügbaren und selbsterstellte Datensätze enthält. Für viele Zielstellungen genügt es, über Relief-, Bestandes- und Nutzungsdaten zu verfügen; gelegentlich wird es auch notwendig sein, Informationen von weiteren Umweltfaktoren, aber auch von technischen Objekten (Gebäude, Straßen) einzubeziehen.

Zur Erstellung des Reliefs wurde ein Digitales Höhenmodell (DEM) integriert. Bei Vorliegen entsprechender Waldentwicklungsmodelle könnten zudem das Klima, Standortdaten der Forsteinrichtung, aber auch antropogene Einflüsse mit integriert werden.

Die Bestandesstruktur wird in eigenen Datenlayern je nach Herkunft in Form von polygon- (Bestände) oder punktbezogenen (Einzelbäume) Datensätzen gespeichert. Entsprechende Indizes geben Auskunft über die Herkunft der einzelnen Daten.

Weiterhin können auch flächenbezogene Angaben zur Nutzungsplanung oder Informationen über den Zustand der Wege erfaßt werden. Zu diesen Zusatzinformationen gehört auch die Lage und Gestalt von Gebäuden und anderen technischen Objekten.

Da die meisten der hier erwähnten Datensätze Bestandteil der Datenbanken der Forstbetriebe sind und diese oft bereits in sogenannten Forstlichen Informationssystemen organisiert sind, dürfte diese Komponente keine allzu hohen Anforderungen an den potentiellen Nutzer stellen.

Forsteinrichtungsdaten liegen in der Regel als flächenbezogene Bestandesdaten vor. Nur selten wird eine einzelbaumweise Inventur mit Stammfußkoordinaten vorliegen. Ihre Erhebung ist sehr kostenaufwendig und wird meist nur für kleine Teilflächen möglich sein. Andererseits sollte eine gute Bestandesbeschreibung genügen, um eine realitätsnahe Struktur des Bestandes zu erzeugen.

Als wesentliche **Einzelbaumparameter** werden die Position, die Baumart, die Dimension mit BHD, Höhe, Kronenansatzhöhe und evt. Kronendurchmesser sowie Angaben zur Vitalität des Baumes wie Alter, Kraft'sche Klasse oder Schädigungsgrad benötigt.

Die Baumart kann direkt aus den Forsteinrichtungsdaten bestimmt werden. Lediglich Nebenbaumarten und Arten der Strauchschicht müssen evtl. anhand von Angaben über die Waldgesellschaft ergänzend simuliert werden.

Die Simulation der individuellen Positionen der Einzelbäume ist eine der schwierigsten Aufgaben in diesem Abschnitt. Der Abstand eines Baumes zu seinen Nachbarn ist von einer Reihe von Faktoren abhängig, wobei die Form der Bestandesbegründung, die Baumart, das Alter, die aktuelle und historische Konkurrenzsituation sowie Art, Intensität und Zeitpunkt von Eingriffen bzw. Störungen die wichtigsten zu sein scheinen. Die Frage nach der aktuellen und historischen Konkurrenzsituation beinhaltet eine Reihe weiterer Faktoren wie die Einflüsse artgleicher oder artverschiedener, größerer oder kleinerer, älterer oder jüngerer Nachbarn. Da diese Faktorenkombination einem ständigen Wandel unterliegt, ist die aktuelle Konkurrenzsituation ein Resultat der Historie des Bestandes. Weitere Einzelheiten zur Methodik der Strukturgenerierung sind im Abschnitt 3.2.4 zu finden.

### **5.1.2 Der Waldwachstumssimulator SILVA**

Als Waldwachstumssimulator wird ein Programm bezeichnet, mit welchem Wachstumsmodelle für Prognose- und Szenariorechnungen eingesetzt werden können. Ein Überblick über die Grundansätze der Waldwachstumsmodellierung wurde in Abschnitt 3.1.2 besprochen.

Unterscheiden lassen sich je nach Objekt des verwendeten Modells Bestandes-, Verteilungs- und Einzelbaumsimulatoren. Während ein Bestandessimulator ähnlich einer Ertragstafel nur durchschnittliche Bestandeswerte liefert und somit lediglich für sehr homogene Bestände geeignet ist, werden diese mittleren Werte in einem Verteilungssimulator nach Stammzahlfrequenzen aufgeschlüsselt. Mit solchen Programmen lassen sich bereits detailliertere Aussagen über die zu erwartenden Sortimente machen. Schließlich lösen Einzelbaumsimulatoren den Bestand in seine Individuen auf und schreiben die Entwicklung der Morphologie jedes einzelnen Baumes fort. Im Gegensatz zu den distanzunabhängigen Einzelbaumsimulatoren wie CACTOS (WENSEL, 1986) berücksichtigen die distanzabhängigen die jeweilige Position des Einzelbaumes und seiner

Nachbarn. Damit lassen sich Aussagen über die individuelle Konkurrenzsituation des Baumes machen. (PRETZSCH et al., 1999a)

Der von KAHN und PRETZSCH (1997) entwickelte Waldwachstumssimulator SILVA, der hier eingesetzt wurde, stellt einen der am weitesten entwickelten Waldwachstumssimulatoren dar und ist für den mitteleuropäischen Raum parametrisiert.

Die Modellierung des Wachstums der Bäume erfolgt in Abhängigkeit von der spezifischen und dreidimensional ermittelten Konkurrenzsituation sowie des Zustandes des Baumes. Das Höhenwachstum geht von einem standortsabhängigen, das Durchmesserwachstum dagegen von einem standortsunabhängigen Potential aus.

Die Einzelbaumdaten können aus Einzelbauminventuren oder Probeflächen stammen, wobei letztere auf die Gesamtfläche hochgerechnet werden. Mit Hilfe des Strukturgenerators STRUGEN (PRETZSCH, 1993) können auch aus Bestandesmittelwerten und kategoriellen Bestandesbeschreibungen Einzelbaumdaten generiert werden.

Durch die Möglichkeit des Betriebs über Steuerdateien ist das Programm ab der Version 2.2 auch für die Integration in komplexe Systeme geeignet.

Gegenwärtig ist das Programm nur auf MS-WINDOWS-basierten Rechnern lauffähig.

### **5.1.3 Das Visualisierungstool AMAP-Integral**

Zur Visualisierung wurde das System AMAP-Integral (Atelier de Modélisation de l'Architecture des Plantes) herangezogen, das im CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) im französischen Montpellier entwickelt wurde (CIRAD, 1996; REFFYE und BLAISE 1993). Diese Software wird in Versionen für die Betriebssysteme IRIX und WindowsNT kommerziell vertrieben.

Als Hauptanwendungsgebiet dieses Produktes wurde die Visualisierung von krautigen Pflanzen, Sträuchern, Gebüschern und Bäumen in Kombination mit Gebäuden, wie sie Architekturbüros und Städteplaner verwenden, vorgesehen.

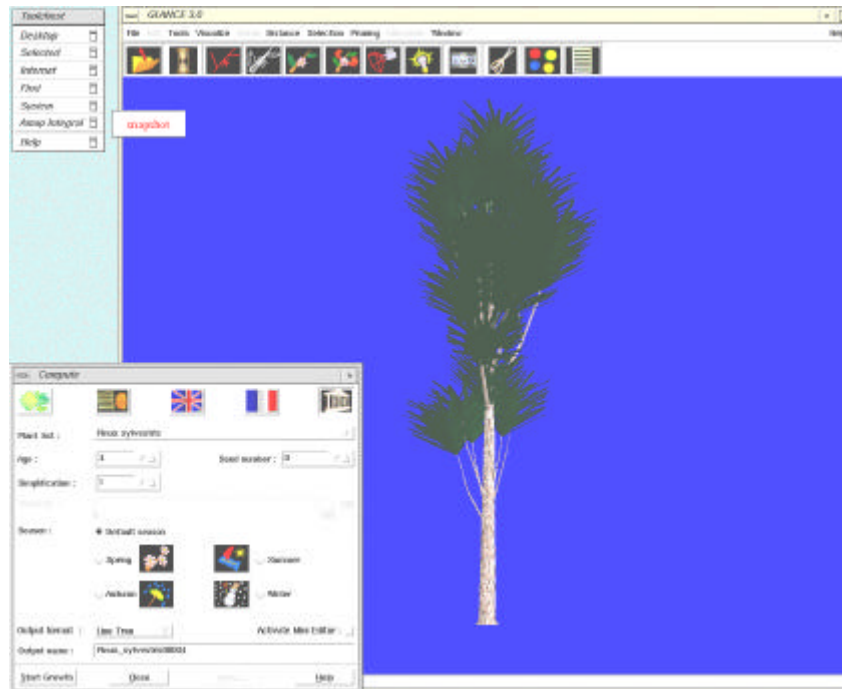
Die hohe botanische Genauigkeit der dargestellten Pflanzen macht diese Software aber auch zum geeigneten Werkzeug zur Visualisierung von Waldbeständen und –landschaften sowie deren Entwicklung.

Als modulares System beinhaltet AMAP-Integral die in Tabelle 5.1 beschriebenen Grundbausteine.

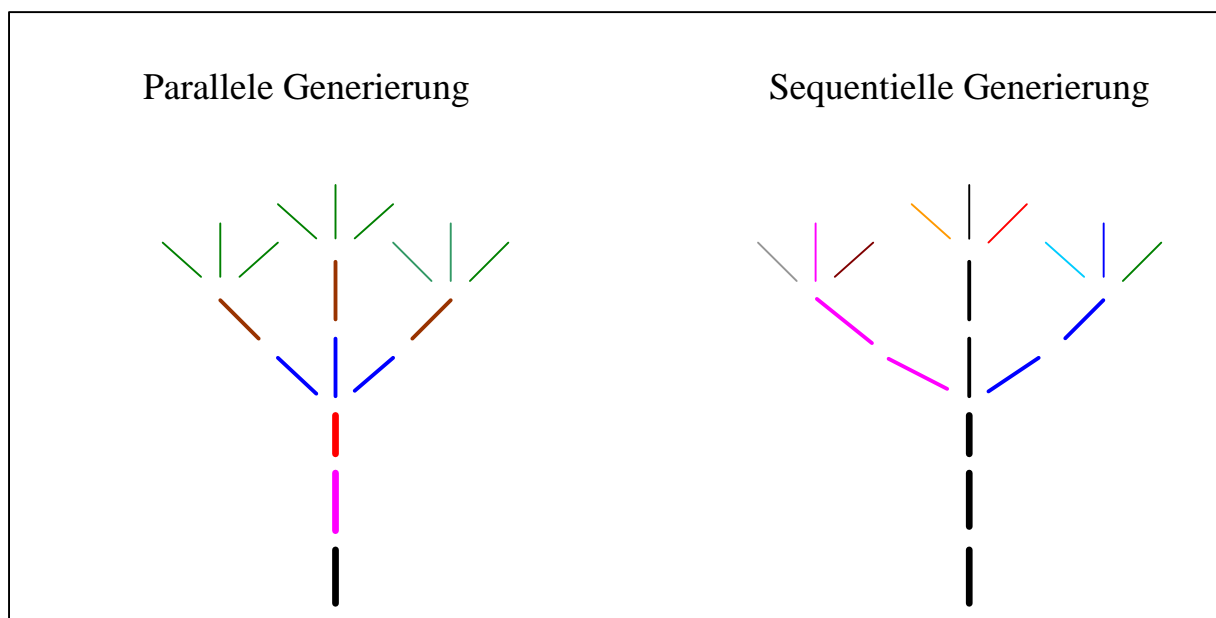
**Tab. 5.1:** Grundbausteine des Visualisierungssystems AMAP-Integral (CIRAD, 1996)

<b><i>Growth engine</i></b>	Modellierung der Pflanzenmorphologie und Erzeugung der <i>line-tree's</i>
<b><i>Glance</i></b>	Benutzeroberfläche zum Aufruf der <i>growth engine</i> und Visualisierung einzelner Pflanzen
<b><i>Terrain</i></b>	Modellierung von Geländereliefs aus 3-dimensionalen Geländedaten
<b><i>Faces</i></b>	Bestimmung von optischen Eigenschaften technischer Objekte
<b><i>Material</i></b>	Bestimmung von optischen Materialeigenschaften, wie Reflexion, Textur etc. an Pflanzen und dem Relief
<b><i>Landscape,</i></b>	Visualisierungstool zur graphischen Darstellung von Szenen aus Pflanzen und Objekten wie Geländereliefs, Gebäuden und Hintergründen; Bestimmung optischer Effekte wie Beschattung, Nebel etc.
<b><i>Calrgb</i></b>	Erzeugung von Images und Animationen

Die Erzeugung von Baumarchitekturen kann im Modul ***Glance*** aufgerufen werden, dessen Benutzeroberfläche in Abbildung 5.3 dargestellt ist. Dem Anwender steht ein Archiv von artenspezifischen Parameter-Files zur Verfügung. Für einige Baumarten existieren zusätzlich verschiedene Architekturtypen, wie sie etwa bei im Freiland bzw. im Bestand erwachsenen Buchen auftreten. Diese Parameter-Files enthalten typische Architekturregeln. Zusätzlich kann vom Anwender das Alter sowie eine Startvariable (*seed-number*) für die Variabilität bestimmt werden. Letztere ist geeignet, verschiedene Versionen eines bestimmten Baumes zu generieren.



**Abb. 5.3:** „Snapshot“ von AMAP-Glance. Nach der Wahl der Baumart (*Pinus sylvestris*), des Alters (4) und der *seed-number* (0) erfolgt die Generierung des Line-Tree-Files und eine anschließende Visualisierung des gerenderten Baumes



**Abb. 5.4:** Gegenüberstellung paralleler und sequentieller Generierung von Baumstrukturen (gleiche Farben symbolisieren ein Generierungsintervall)

Entsprechend der mit dem Parameter-File gewählten Architekturregeln und dem Alter werden Ketten von Triebabschnitten erzeugt, welche als *Linetree*

abgespeichert werden. Diese Generierung erfolgt in der kommerziellen Version AMAP-Integral sequentiell. Es wird also jeder Ast bis zu seiner finalen Knospe entwickelt, bevor die nächst folgende Verzweigungsordnung in Angriff genommen wird (siehe Abbildung 5.4 rechts). Aufgrund dieses Umstandes ist es auch kaum möglich, Konkurrenzsituationen zu berücksichtigen, wie dies etwa bereits in der experimentellen Version AMAP-Para (BLAISE, 1991) oder bei GROGRA (KURTH, 1994b, 1998) erfolgt. Hier werden erst alle Meristeme einer Periode zu Triebabschnitten, Blättern und Blüten entwickelt, bevor sich auf dieses Ergebnis aufbauend die Meristeme der Folgeperiode entfalten können. Dabei können auch veränderte Konkurrenzsituationen zwischen Blättern und Zweigen eines Baumes oder auch benachbarter Bäume berücksichtigt werden (siehe Abbildung 5.4 links). Für den allgemeinen Anwender steht diese Version aber leider noch nicht zur Verfügung. Es bleibt zu hoffen, daß die experimentellen sensitiven Systeme bald in kommerziellen oder frei zugänglichen Produkten Eingang finden.

Nach der Erzeugung der Linetrees werden den einzelnen Abschnitten entsprechend ihrer botanischen Funktion räumliche Strukturen („*pattern*“) zugeordnet. Dabei werden etwa bei Triebabschnitten Zylinder um den zentralen Vektor gelegt. Dieser Zylinder trägt bei der finalen Visualisierung die Textur. Für Blätter wird in der Regel eine Fläche als *pattern* zugeordnet.

Zur realistischen Darstellung von Einzelbäumen in Landschaften werden von der Visualisierungs-Software AMAP folgende Parameter benötigt:

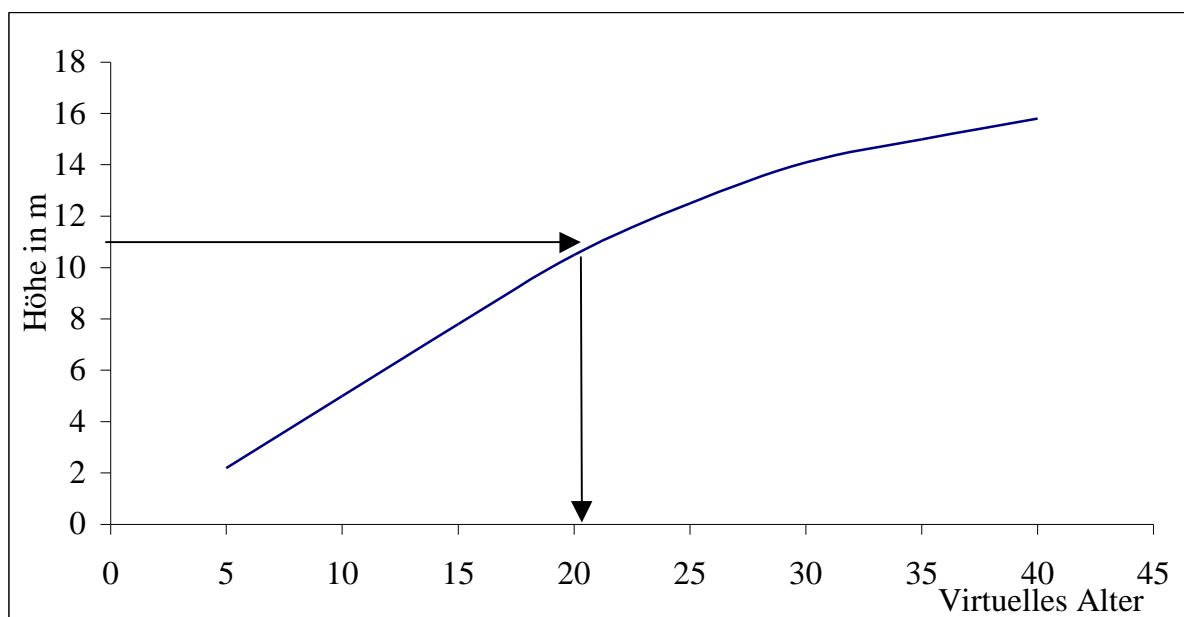
- Definition der **Position** durch XY-Koordinaten (relativ zum Ursprung des Reliefs)
- Definition des **Linetree** durch die Baumart (eventuell auch Variation), das virtuelle Alter (hergeleitet aus der realen Baumhöhe bzw. dem BHD) und die Konkurrenzverhältnisse (zur Wahl zwischen originalem Linetree und beschnittenen)
- Definition der **Darstellung** durch die vertikale Rotation und die Neigung (zur Individualisierung bei sonst gleichem Parametersatz)

Zur Positionierung der Einzelbäume ist im System AMAP die Kenntnis der entsprechenden XY-Koordinaten notwendig. Der korrespondierende Höhenwert ergibt sich automatisch aus dem Geländemodell. Die Koordinaten können durch

direkte Vermessung im Bestand, Digitalisierung aus dem Luftbild oder durch eine Simulation gewonnen werden.

Da die verwendete Software keine direkte Berücksichtigung von Durchmesser und Höhe zuläßt, müssen diese Parameter über die Parameter Wuchsmodell und Alter einfließen. Jede Baumart verfügt über ein oder mehrere Wuchsmodelle, die spezifischen Konkurrenzverhältnissen entsprechen. Nachdem dieses bestimmt ist, muß das mit der Baumhöhe (bzw. mit Durchmesser und Standort) korrespondierende **virtuelle Hilfsalter** ermittelt werden (siehe Abb. 5.5).

Mit dem **virtuellen Hilfsalter** als Eingangsgröße wird dann der Linetree errechnet. Diese Datei enthält alle Detailangaben, welche die Grafik-Software zur Visualisierung benötigt. Durch vertikale Rotation und Neigung können Bäume gleicher Dimension und Art ein individuelles Aussehen erhalten.



**Abb. 5.5:** Für jede Baumhöhe kann das virtuelle Hilfsalter ermittelt werden, das als Eingangsparameter in die Visualisierung eingeht

Es muß darauf hingewiesen werden, daß die vorliegende Version der Visualisierungs-Software noch nicht über die Möglichkeit verfügt, die Wirkung von Konkurrenz auf das Wachstum der Bäume direkt zu berücksichtigen. Spätere Versionen sollen allerdings über ein solches Feature verfügen. Da andererseits die eigentliche Modellierung des Wachstums in SILVA vorgenommen wird, haben die in AMAP-Integral möglicherweise ineinander greifenden Kronen keinen Einfluß auf die quantitativen Ergebnisse. Erst wenn

die Morphologie des Baumes einen Feedback für das Wachstum liefert, wird die Berücksichtigung der Konkurrenz auf die morphologische Entwicklung des Baumes, wie sie für künftige Versionen von AMAP-Integral geplant ist, unumgänglich. Gegenwärtig kann die Entwicklung unter Konkurrenz lediglich durch „Beschneidung“ von Ästen in den Line-Trees improvisiert werden.

Für eine möglichst realistische Darstellung kann es also notwendig werden, neben den standardmäßig vorgegebenen Modellen, welche eher die Entwicklung der Bäume im Freiland nachbilden, auch solche Line-Trees zu erstellen, die verschiedenen Konkurrenzsituationen entsprechen. Dies bedeutet gleichzeitig, daß der **Konkurrenzstatus** ein Strukturparameter ist, der neben **Art** und dem **virtuellen Hilfsalter** bei der Auswahl des richtigen Line-Trees von Bedeutung ist.

AMAP-Integral bietet weiterhin zum Zwecke einer zügigen Berechnung des Images eine automatische Wahl der Detailauflösung an. Je geringer der Abstand des Betrachters vom Objekt, desto mehr Details des Baumes werden dargestellt. Objekten im Vordergrund kann so eine hohe Auflösung, solchen im Hintergrund eine geringe zugewiesen werden.

## **5.2 Räumliche Datenintegration**

Eine wesentliche Eigenschaft des vorgestellten Systems ist die Handhabung von Daten verschiedener Herkunft und Formatierung. Forsteinrichtungs-, Standorts- und Biotopdaten sind in der Regel flächenbezogen. Dagegen sind die Einzelbaumdaten aus Voll- und Luftbildinventuren sowie aus der Strukturgenerierung punktbezogen. Diese unterschiedlichen Formate sollten in einer einheitlichen Datenbank verwaltet werden. Für diesen Zweck eignet sich insbesondere die relationale Datenbank eines Geografisches Informationssystem (ARONOFF, 1993).

Mit den einzelnen Datensätzen verbundene Indizes geben Auskunft über die Herkunft jedes einzelnen Datensatzes. So ist es auch möglich, überlappende Einzelbaumdatensätze aus verschiedenen Herkünften für einen Bestand in einer Datei zu organisieren und bei Bedarf nach ihrer Herkunft getrennt abzufragen.



Die Organisation der Datenbasis über ein GIS liefert zudem den Vorteil, jederzeit die räumliche Struktur der Daten nutzbar zu haben. Dadurch lassen sich ohne weiteres Nachbarschaftsuntersuchungen oder regionale Ausschnitte aus der Datenbank ausführen.

Die Kenntnis der Nachbarschaftsverhältnisse ermöglicht die Bestimmung von Struktur- und Konkurrenzindizes für Daten aus Voll- oder Luftbildinventuren. Diese Parameter sind für die Modellierung des einzelbaumbezogenen Zuwachses unumgänglich. Zudem erlauben sie den Vergleich verschiedener Bestände oder von Datensätzen verschiedener Herkunft hinsichtlich ihrer Struktur.

Da aufgrund des hohen Rechenaufwandes nie mehr Bäume visualisiert werden sollten als unbedingt notwendig, ist es je nach räumlicher Ausdehnung des darzustellenden Prozesses erforderlich, unterschiedlich große Ausschnitte des gesamten Datensatzes für die Visualisierung zu berücksichtigen. Innerhalb eines GIS ist es ohne großen Aufwand möglich, solche Ausschnitte zu definieren und an die Visualisierungssoftware zu exportieren.

### **5.3 Datentransfer zwischen den Teilsystemen in ViWa**

Angesichts des Umstandes, daß bisher noch keine vollständig integrierte Software existiert, welche alle Anforderungen (siehe Kapitel 4) an ein modernes System zur Visualisierung von Waldentwicklungsszenarien erfüllt und dies unter ständig wechselnden Ansprüchen auch in der Zukunft kaum der Fall sein wird, muß sich der Nutzer solcher Systeme gezwungenermaßen auch mit der Frage des Datentransfers zwischen den einzelnen Modulen auseinandersetzen.

Die hier beispielhaft verwendete Software verfügt bisher noch nicht über gebrauchsfertige Schnittstellen zur Datenübergabe. Dies läßt sich lediglich in der Zukunft für die Kommunikation von AMAP mit Arc/Info erwarten („IMAGIS“ als Nachfolgeprojekt von IMAGO METROPOLIS). Aber auch diese Lösung muß nicht immer den Anforderungen des Nutzers entsprechen.

Eine sehr universelle Möglichkeit bietet die Fähigkeit aller hier verwendeten und sehr vieler weiterer Programme, ASCII-Dateien zu lesen und zu schreiben. Dieser Weg ist zwar hinsichtlich der Übertragungsgeschwindigkeit nicht

optimal, aber aufgrund der Transparenz der Daten am einfachsten zu handhaben und, bei Bedarf, zu manipulieren.

Der im konkreten Beispiel erfolgte Betrieb der drei Systemhauptkomponenten auf drei verschiedenen Rechnern und Betriebssystemen erschwerte den Transfer der Daten. Da eine direkte Benutzung der Dateien auf dem UNIX-System nur vom WINDOWS-Rechner, nicht aber vom IRIX-Rechner möglich war, mußte hier ein Transfer der Daten von (Scenen-Kopf-Datei <\*.cfh>) und zur IRIX-Plattform (Scenen-Datei <\*.sce>) mittels „*File-Transfer-Protocol (FTP)*“ erfolgen.

**Tab. 5.2:** Übersicht über die für ViWa entwickelten AML-Makros und ihre Hauptaufgaben

Name	Hauptaufgaben
arc.aml	Anwenderführung zwischen den verfügbaren AML-Makros
gebiet_arc.aml	Interaktive Auswahl des zu visualisierenden Gebietsausschnittes aus dem Forsteinrichtungscover und direkte Erstellung der Einzelbaumstrukturen anhand einfacher Strukturalgorithmen
gebiet_silva.aml	Interaktive Auswahl des zu visualisierenden Gebietsausschnittes aus dem Forsteinrichtungscover und Erstellung von Einzelbaumstrukturen anhand der in Silva erzeugten Mosaikparzellen
plot.aml	Schematische Darstellung des erzeugten Bestandes
Ausgabe.aml	Export des erzeugten Bestandes und Initialisierung von <newmakescene> zur Erstellung des AMAP-Scene-Files (*.sce)

### 5.3.1 Die AML-Makros

Arc/Info bietet über seine Arc-Makro-Language (AML) genannte interne Programmiersprache die Möglichkeit, den Bedürfnissen des Nutzers entsprechende Hilfsprogramme zum Lesen und Schreiben von geeigneten ASCII-Dateien zu erstellen.

Die für das Beispielkonzept ViWa entwickelten AML-Makros sind mit ihren Hauptfunktionen in Tabelle 5.2 aufgelistet. Eine detailliertere Übersicht über die einzelnen Arbeitsschritte kann den Skripten der Makros im Abschnitt 10.2 im Anhang entnommen werden.

Das Makro <arc.aml> dient als eine einfache interaktive Benutzeroberfläche. Diese bietet dem Nutzer eine Auswahl der verschiedenen Funktionen an und fragt nach den benötigten Startparametern. Sind diese richtig eingegeben, startet <arc.aml> das entsprechende Makro oder beendet das Programm. Bei unplausiblen Angaben wiederholt das Programm die Abfrage.

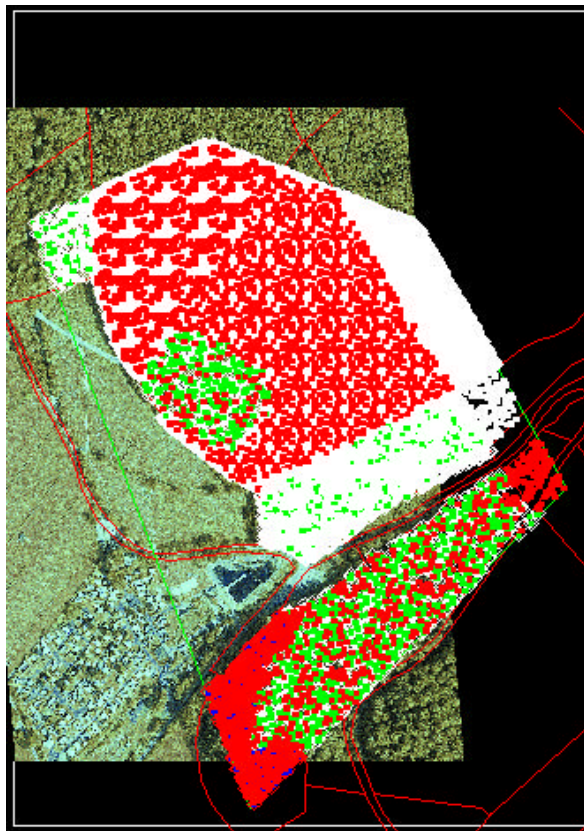


**Abb. 5.6:** Abfragebildschirm zur Bestimmung des Gebietsausschnittes. Die Verschiebung der Eckpunkte der Fläche erfolgt mit der Maus.

Der Erstellung von Einzelbaumstrukturen aus Bestandesdaten dienen die beiden Makros <gebiet\_arc.aml> und <gebiet\_silva.aml>. Beide Makros erlauben zuerst die Auswahl eines Gebietsausschnittes (Abb. 5.6). In diesem wird dann nach unterschiedlicher Methodik die Einzelbaumstruktur erzeugt.

Das Makro <gebiet\_arc.aml> generiert die Daten direkt anhand der Forsteinrichtungsdaten der entsprechenden Bestände. Die Bearbeitung erfolgt bestandes-, baumart- und schichtweise. Der entsprechende Datensatz wird zunächst aus der Datenbank ausgewählt. Aus diesem wird anschließend ermittelt, ob der Teilbestand aus Naturverjüngung oder Pflanzung hervorgegangen ist. Für einen gepflanzten Bestand wird aus der Stammzahl ein mittlerer Baumabstand ermittelt. Entsprechend diesem wird ein Raster erzeugt,

welches die Fußpunkte der virtuell zu pflanzenden Bäume liefert. Diesen werden dann die entsprechenden Daten über die Baumart und Größe zugeordnet. Im Falle eines aus Naturverjüngung hervorgegangenen Bestandes erfolgt zuerst die Generierung eines dichten Punktgitters. Die Weite des Gitters entspricht dabei dem theoretischen Mindestabstand der Bäume. Aus den Gitterpunkten werden schließlich über einen Zufallsgenerator so viele Punkte ausgewählt, wie der Teilbestand erhalten soll. Die überzähligen Punkte werden gelöscht und den verbliebenen wird die entsprechende Art und Größe zugewiesen.



**Abb. 5.7:** Darstellung eines vom Makro `<gebiet_silva>` erzeugten Szenenausschnittes, wie sie durch das Makro `<plot.aml>` erfolgt.

Strukturparzellen aus dem Waldwachstumssimulator SILVA verwendet das Makro `<gebiet_silva>` für seine Erzeugung der einzelbaumweisen Bestandesstruktur. Hierfür wird zunächst das entsprechende Szenario und der Zeitpunkt in der Simulation abgefragt. Anschließend erfolgt die Auswahl der entsprechenden Parzellendatei. Aus dieser werden dann mosaikartig Punkte erzeugt und diesen die Einzelbaumdaten zugewiesen. Schließlich werden alle außerhalb der betreffenden Bestandesgrenze liegenden Punkte gelöscht.

Die so generierten Einzelbaumstrukturen können mit Hilfe des Makros <plot.aml> am Bildschirm überprüft werden (Abbildung 5.7). Unterschiedliche Baumarten werden dabei von verschieden gefärbten Punkten symbolisiert.

Mit Hilfe des Makros <ausgabe.aml> können die bisher erzeugten Einzelbaumstrukturen nach AMAP exportiert werden. Das Makro erstellt dabei die vom Programm NEWMAKESCENE benötigte Baumarten-Datei <\*.cfg> sowie die Einzelbaumparameter-Datei <\*.prn>. Zusätzlich wird aus den Angaben über Baumart und Höhe das virtuelle Hilfsalter (siehe Abschnitt 5.1.3) ermittelt. Diesem wird von NEWMAKESCENE das passende Line-Tree-File zugeordnet. Zur genaueren Anpassung wird zusätzlich die relative Größe des Baumes nach der Formel:

$$\text{Relative Größe} = \text{Höhe des Line-Tree} / \text{Höhe des Baumes}$$

bestimmt. Anschließend erfolgt der automatische Start des Programmes NEWMAKESCENE.

### 5.3.2 Das Programm NEWMAKESZENE

Der Datentransfer von Arc/Info nach AMAP erfolgt über die Umwandlung von zwei spezifischen ASCII-Dateien (\*.prn, \*.cfg) in AMAP-lesbare „scene-files“ mit Hilfe eines in C programmierten Hilfsprogrammes („newmakescene“, siehe Anhang 10.3). Dieses kann aus dem Makro <ausgabe.aml> von Arc/Info aus aufgerufen werden.

Die Urversion *makescene* wurde am Institut für Forstliche Biometrie Göttingen im Rahmen einer Kooperation mit der ENGREF (Nancy/Frankreich) entwickelt. Auf dieser aufbauend wurden im Rahmen des Projektes zusätzliche Funktionen integriert, die dem Gesamtbild des erzeugten Bestandes mehr Diversität verleihen.

Das Programm schreibt im Anhang an die Szenen-Kopf-Datei <\*.cfh> die einzelnen Baumdatensätze. Hierzu wird jeder Einzelbaumdatensatz aus der vom Makro <ausgabe.aml> erstellten Einzelbaumparameter-Datei <\*.prn> einzeln eingelesen. Anschließend wird der Name des zugehörigen Line-Tree-Files aus der ebenfalls mit <ausgabe.aml> erstellten Baumarten-Datei <\*.cfg> ermittelt.

Gemeinsam mit einem Zufallswert für die Rotation des Einzelbaumes werden dann die Daten an den Kopf der Szenen-Datei angehängt.

#### **5.4 Problematik der Benutzeroberfläche für ViWa**

Die Benutzerfreundlichkeit moderner Anwendungen wird vor allem von der Qualität der Benutzeroberfläche bestimmt. Insbesondere solche Programme, die als Werkzeuge für Nutzer ohne tiefe Softwarekenntnisse dienen, sollten durch eine klare Führung intuitiv zum gewünschten Ergebnis führen. Gleichzeitig müssen neben leicht zu nutzenden Standardlösungen auch spezielle Anwendungen mit flexibler Gestaltung der Parameter möglich sein.

Ein System zur Visualisierung von Waldentwicklungsszenarien sollte die folgenden Funktionen als Standardangebote zur Verfügung stellen:

- Auswahl des Geländeausschnittes
- Bestimmung der Simulationsparameter
- Wahl zwischen Einzelbild-, Serienbild- und animierter Darstellung
- Auswahl von Tabellen und Diagrammen zur quantitativen Beschreibung

Zu allen Funktionen sollten optional weitere Parameter beeinflußt werden können, um eine bedarfsgerechte Anpassung zu erreichen.

Da das zur Erprobung stehende System auf drei verschiedenen Betriebssystemen konfiguriert war und diese aus Gründen der Datensicherheit nicht über eine allgemeine Benutzeroberfläche zu bedienen waren, wurde hier auf eine solche verzichtet. Lediglich die AML-Makros sowie das Programm NEWMAKESZENE wurden mit einer interaktiven Benutzerführung versehen, was auch dem Rahmen der Aufgabestellung des Projektes entsprach.

Für den Anwender eines solchen Systems sei aber noch einmal darauf hingewiesen, daß die vielen routinemäßigen Einzelschritte der Datenbearbeitung und des Transfers der Daten zwischen den einzelnen Modulen wesentlich effektiver und zuverlässiger über kleine Programme gesteuert werden sollten.

## **5.5 Möglichkeiten multimedialer Präsentation mit ViWa**

Das hier vorgestellte System Viwa bietet durch verschiedene graphische Ausgabeformate die Grundlage für eine Vielzahl von Präsentationsmöglichkeiten vom einfachen kleinformatigen Ausdruck einer einzelnen Szene bis hin zur multimedialen Präsentation von kombinierten Einzelbildern und Animationen.

Der Ausdruck einzelner Grafiken in größeren oder kleineren Maßstäben wird in vielen Situationen zweckmäßig und angemessen sein. Die Präsentation kann über Ausdrücke für Poster oder Textillustrationen oder Diashows im Rahmen von Vorträgen erfolgen. Entwicklungen von Beständen können durch Bildserien am einfachsten dargestellt werden.

Diese einfachen Grafiken nutzen aber die Potentiale zur Darstellung der Dynamik bei der Entwicklung des Waldes bei weitem nicht aus. Die 3-dimensionale Visualisierung der Entwicklung von Bäumen, Beständen und Landschaften beherbergt vielmehr das Potential von Animationen als auch von stereoskopischen Darstellungen. Beide Möglichkeiten, die durchaus auch miteinander kombinierbar sind, tragen erheblich zu einer steigenden Realitätsnähe bei.

Videoaufzeichnungen von Entwicklungen im Zeitraffertempo eignen sich besonders, die langfristigen Veränderungen, welche sich aus der Sukzession, aber auch aus Reaktionen von Beständen auf menschliche Eingriffe ergeben, anschaulich zu präsentieren.

Die Strukturen der Bestände oder auch verschiedene Details von Pflanzen lassen sich wesentlich verständlicher durch Bewegungen um einzelne Bäume oder durch den Bestand wiedergeben.

Schließlich nutzen die verschiedenen Methoden der Stereoskopie (Anaglyphen, Shutter-Brillen, Virtual-Reality-Brillen und –Helme) das Potential 3-dimensionaler Visualisierung aus, indem sie 3-dimensionale Bildeindrücke verschaffen.

## **5.6 Vor- und Nachteile des Systems ViWa**

### **5.6.1 Vorteile**

Primär hervorzuheben ist der nahezu unbegrenzt große Detailreichtum der Darstellung. Er wird durch die botanisch orientierte Modellierung der Baumarchitektur in Amap-Integral erreicht. Zur Begrenzung des Rechenaufwandes ist die Detailtiefe manuell oder automatisch wählbar.

Weiterhin ist die Integrationsmöglichkeit von technischen Objekten in die Szene gegeben. Dies erhöht die Realitätsnähe der Visualisierung.

Schließlich besteht die Möglichkeit der Erstellung von Animationen. In diesen können Bewegungen durch die Szene und / oder Veränderungen der Szene etwa als Folge des Wachstums der Bäume dargestellt werden.

Als Datengrundlage können verschiedene Quellen, wie zum Beispiel die Forsteinrichtung, dienen. Diese können über die Möglichkeiten des GIS Arc/Info ohne große Schwierigkeiten für das System ViWa aufbereitet und gespeichert werden.

Damit ist das System ViWa insbesondere für den Einsatz in der Öffentlichkeitsarbeit geeignet.

Seine Eignung für wissenschaftliche Aufgaben hängt von den Möglichkeiten der integrierten Modelle ab.

### **5.6.2 Nachteile**

Die geringe Integration des Gesamtsystems, sowie die noch sehr aufwendige Grafik führt zu hohen Rechenzeiten. Diese kann sich aber durch stärkere Kopplung der Module (Silva, Amap-Integral, Arc/Info) sowie Fortschritte im Bereich der Hard- und Software bereits in naher Zukunft wesentlich verringern.

Die relativ große Autonomie der einzelnen Module in ViWa erlaubt es auch nicht, interaktiv in den Bestand einzugreifen. Hierzu müßten die Module stärker miteinander verknüpft oder andere Tools entwickelt werden.



Schließlich ist ViWa noch begrenzt geeignet für die praktische Arbeit des Forstdienstes. Dies liegt in der nur wenig vereinfachten Bedienung des Systems. Hier macht sich insbesondere die fehlende grafische Benutzeroberfläche bemerkbar. Für eine praxisnahe Umsetzung des Gesamtkonzeptes müßten hier wesentliche Arbeitsschwerpunkte gesetzt und realisiert werden.



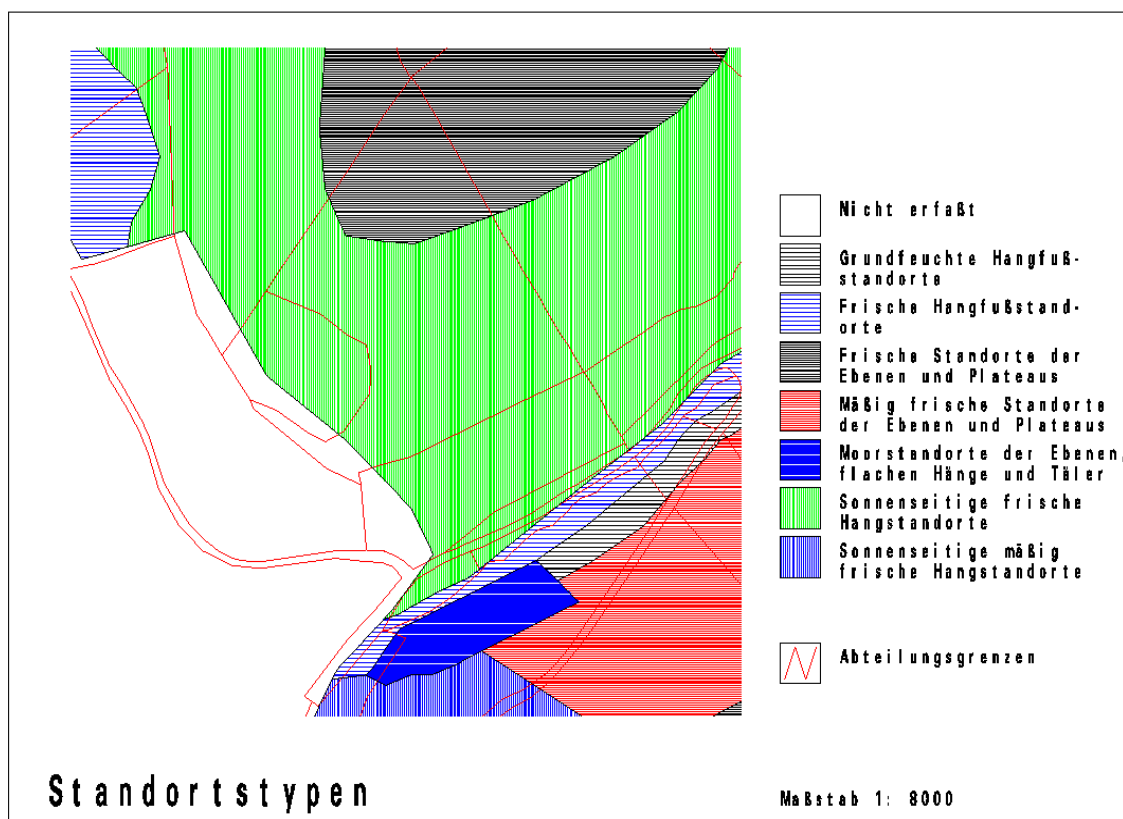
## 6 Anwendungen am Beispiel des „ErlebnisWaldes“

### 6.1 Datenbasis

In die Erprobung und Illustration der Verfahren wurden Bestandesdaten vom Ausstellungsgelände des EXPO2000-Projektes ErlebnisWald im Niedersächsischen Forstamt Neuhaus, Revier Steinborn, nahe der Stadt Uslar (Ortsteil Schönhagen) einbezogen.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im westlichen Teil des Solling auf einer Höhe von etwa 300 m ü. NN. Es ist dem Wuchsgebiet Unterer Solling (Wuchsbereichskennziffer 03.01.05, NIEDERSÄCHSISCHES FORSTPLANUNGSAMT, mündl. Mitteilung) zugeordnet.

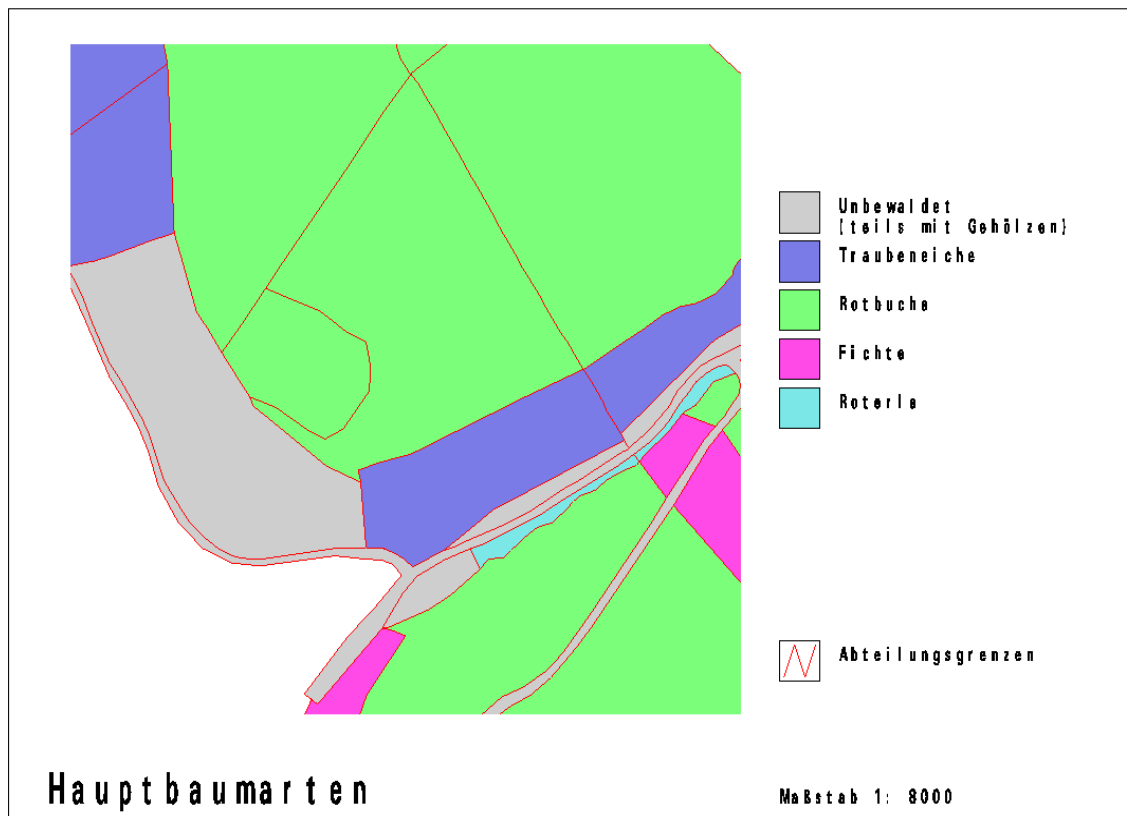
Die Böden haben sich auf basenarmen Silikatgesteinen in sandigen bis lehmig-sandigen Decken entwickelt. Es treten mäßig frische bis nachhaltig frische Hangfuß-, Plateaus- und sonnenseitige Hangstandorte auf (Quelle: Standortkartierung, siehe Abbildung 6.1).



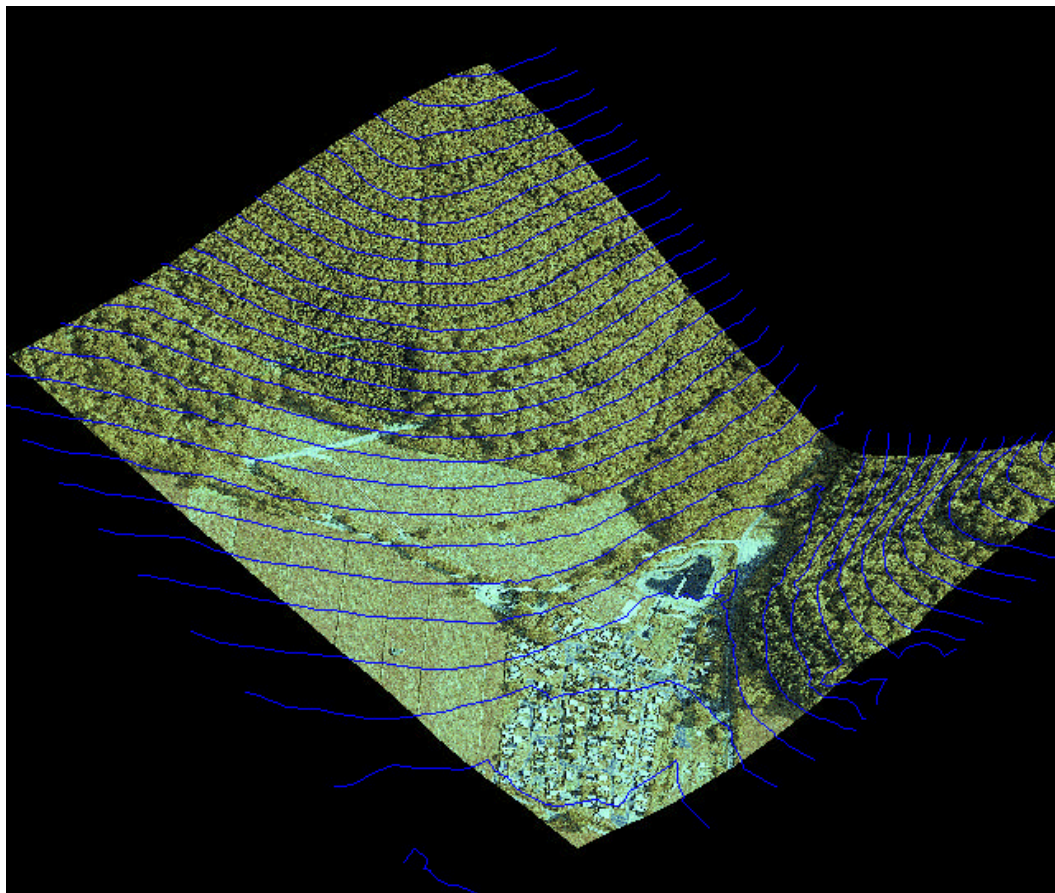
**Abb. 6.1:** Standortstypen entsprechend der Standortserkundung im Untersuchungsgebiet

Der Solling befindet sich in der Zone des feuchttemperierten subozeanischen Klimas und bei einer Höhe von bis zu 528 m ü. NN in der montanen Vegetationszone. Die Jahresmitteltemperatur liegt im unteren Teil des Solling bei 7°C. Es ist in den mittleren Lagen mit etwa 800 bis 900 mm jährlichem Niederschlag zu rechnen (GRAVENHORST und SZAREJKO, 1990).

Die aktuelle Bestockung besteht aus Buchen-, Eichen-Buchen- und Fichten-Beständen im Alter von ca. 30 bis 130 Jahren. Teilweise findet sich bei lichtem Kronenschirm Naturverjüngung von Buchen und gelegentlich von Fichten ein. Die Abbildung 6.2 liefert für das Untersuchungsgebiet eine Übersicht über die Verteilung der Hauptbaumarten.



**Abb. 6.2:** Hauptbaumarten im Untersuchungsgebiet nach den Angaben der Forsteinrichtung. Aus dem Datenarchiv (FIS-Ö) des Institutes für Forstliche Biometrie und Informatik der Universität Göttingen wurden die GIS-Datenlayer für die Biotopkartierung, die Forsteinrichtungsdaten und das Digitale Geländemodell (DGM) für den Bereich des ErlebnisWald-Geländes im Forstamt Winnefeld extrahiert (siehe Abbildung 6.3).



**Abb. 6.3:** Darstellung eines Luftbildes des Untersuchungsgebietes als Projektion auf dem Digitalen Geländemodell DEM (Abbildung erstellt mit Arc/Info, Luftbild farblich bearbeitet)

Die Datenlayer wurden auf geografische Übereinstimmung geprüft und korrigiert.

Luftbilder des Geländes aus dem Jahr 1989 und 1998 aus dem Archiv der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt wurden digitalisiert und in den Datensatz eingebunden (Falschfarben-Luftbild in Abbildung 6.3 sowie Abbildung 6.4 ).

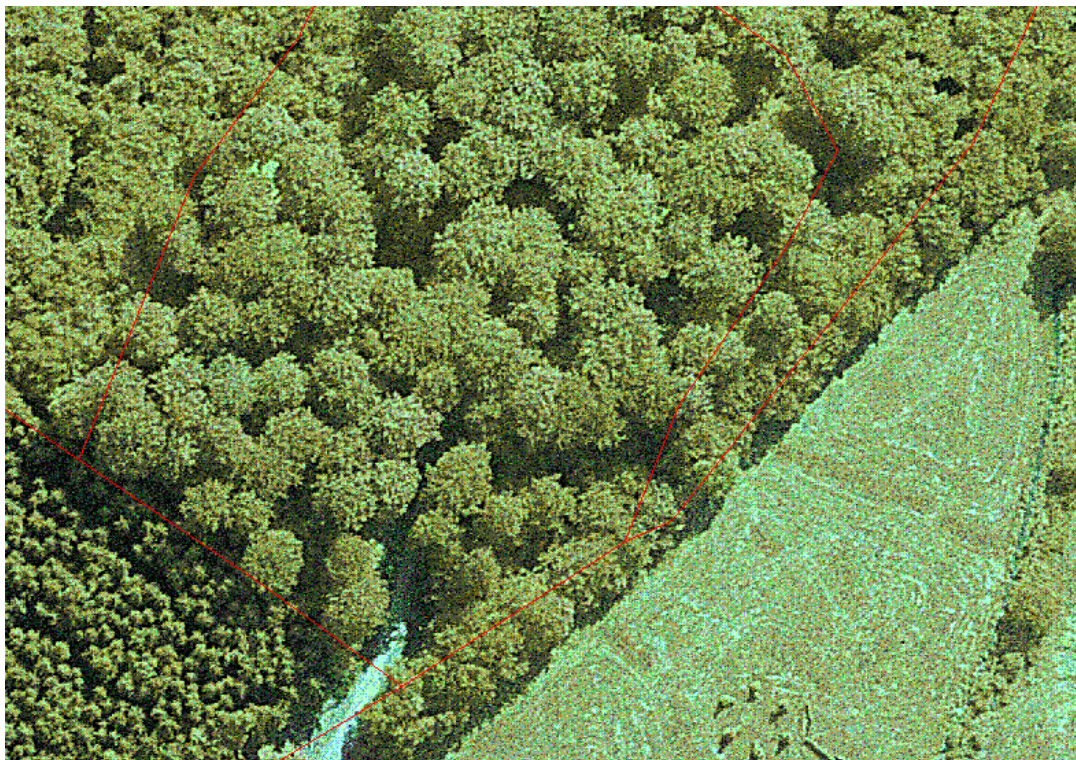
Aus einem Projekt des Forschungszentrum Waldökosysteme konnte eine Stammfußkarte eines Teiles des Altbuchenschirmes der Fläche 307b2 übernommen werden (siehe Abbildung 6.5). Diese wurde digitalisiert und ebenfalls eingebunden.

Im Untersuchungsgebiet wurden bei Ortsbesichtigungen drei Zonen ausgewählt, die sich aufgrund ihrer potentiellen Dynamik besonders gut als Untersuchungsobjekte eignen. Diese sind:

- der Altbuchenschirm in der Fläche 307b2,
- die Sukzessionswiese mit einsetzender Wiederbewaldung,
- sowie die mittelalten Mischbestände der Abteilungen 307 und 310.

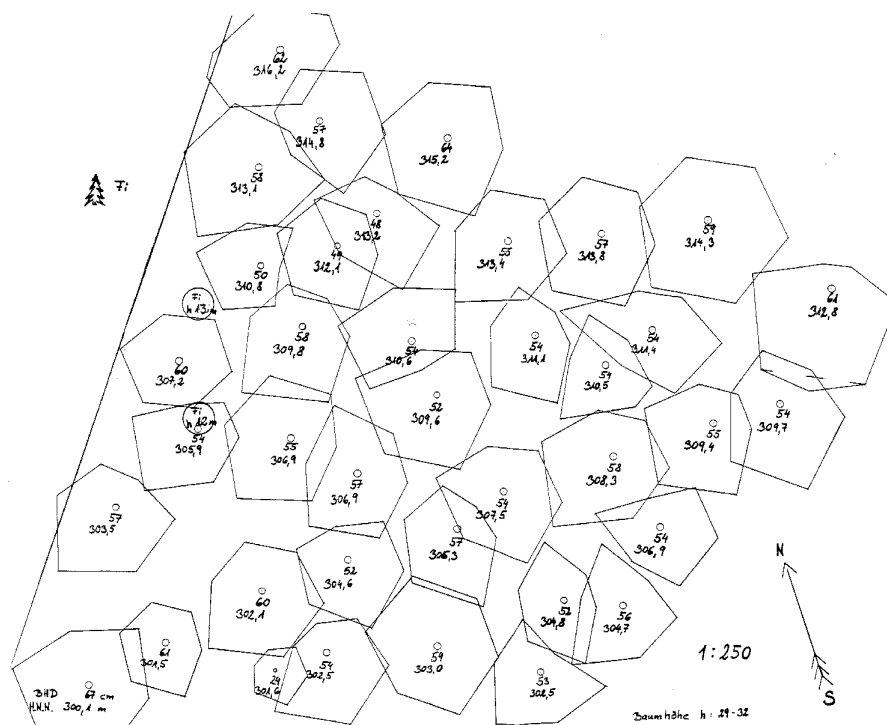
## **6.2 Darstellung eines Bestandes anhand einer Kronenprojektions- und Stammfußkarte**

**Der Altbuchenschirm in der Fläche 307b2** besteht aus etwa 150-jährigen Rotbuchen mit einem mittleren BHD von 43 cm und einer Höhe von etwa 28 Metern. Die Bestandesgrundfläche beträgt etwa 20 m<sup>2</sup>/ha und die Stammzahl 140 ha<sup>-1</sup>. Die etwa 10-jährige Verjüngung setzt sich aus Rotbuchen und einem geringen Anteil Fichten zusammen. Die Dichte und Höhe der Naturverjüngung variiert auf der Fläche sehr stark.



**Abb. 6.4:** Luftbildansicht der Fläche 307b2 aus dem Jahr 1998 (Falschfarben)

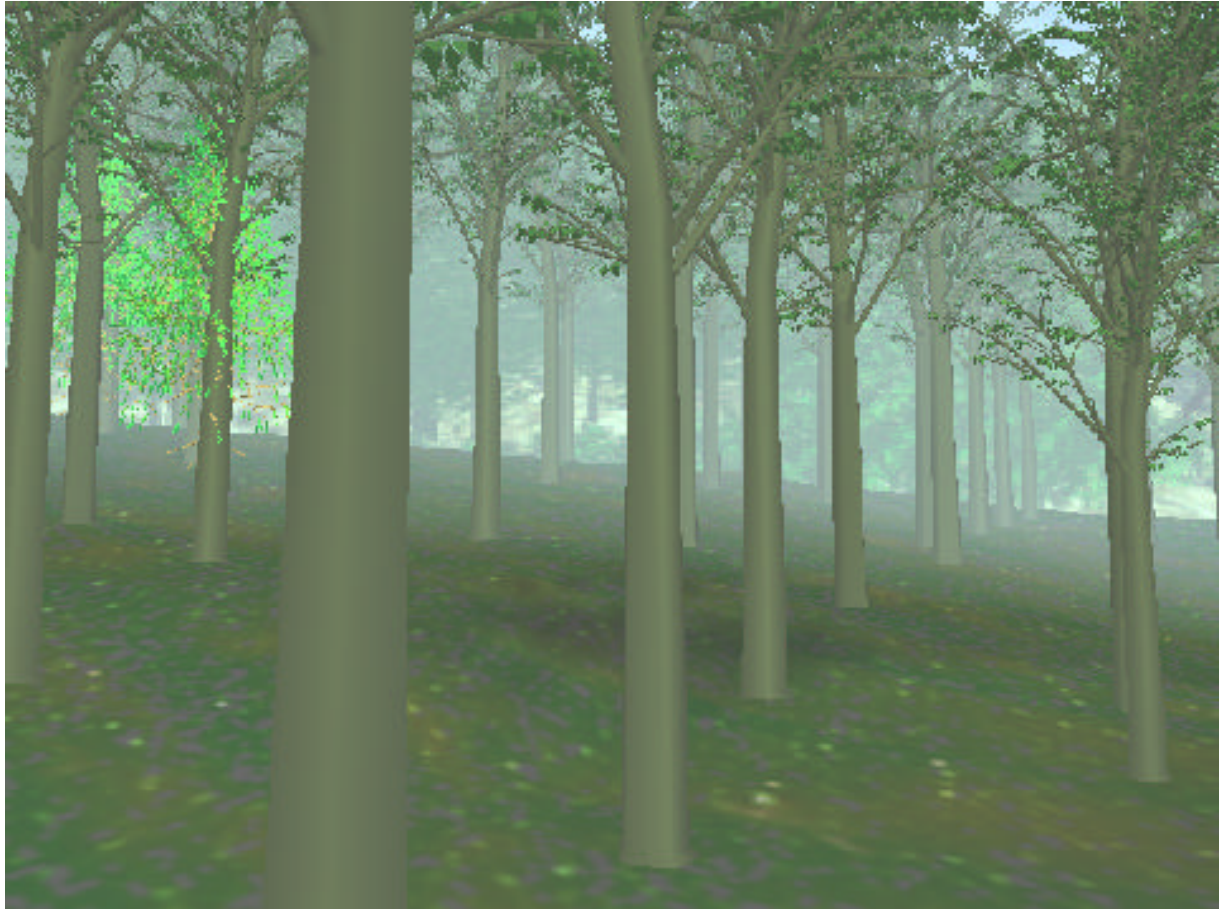
Der Bereich des Bestandes, welcher durch die Kronenprojektions- und Stammfußkarte (siehe Abbildung 6.5) erfaßt worden ist, umfaßt etwa 0,6 Hektar und hat eine diagonale Ausdehnung von etwa 100 x 70 Meter. Von der Kartierung wurden 38 Altbuchen erfaßt. Der Südhang weist ein mittleres Gefälle von 20 % auf, ist aber im oberen Teil stärker, im unteren schwächer geneigt. Der Schirm ist in diesem Teil des Bestandes lockerer. Die Verjüngung ist stellenweise ausgeblieben oder sehr licht.



**Abb. 6.5:** Verkleinerte Kopie der Kronenprojektions- und Stammfußkarte des Altbuchenschirmes in der Fläche 310a2

Zum Zwecke der Visualisierung dieses Bestandes wurden die Stammfußkoordinaten in Arc/Info digitalisiert. Aus den Höhenwerten wurde anschließend in Amap-Terrain ein Geländemodell berechnet. Die Brusthöhendurchmesser dienten als Maßstab zur Ermittlung des virtuellen Alters und des Größenfaktors. Somit konnten das Relief, die Baumpositionen und die Brusthöhendurchmesser realitätsnah gestaltet werden.

Schließlich erfolgte die Visualisierung der räumlichen Szene, wobei ein Waldbild als Hintergrund sowie Schatten und Nebel als optische Effekte eingefügt wurden (siehe Abbildung 6.6).



**Abb. 6.6:** Darstellung des Altbuchenschirmes in der Abteilung 307 nach der Kronenprojektions- und Stammfußkarte

### **6.3 Integrierte Darstellung einer Waldlandschaft und ihrer Dynamik anhand von Forsteinrichtungsdaten**

In Diskussionen mit den Vertretern des Naturschutzes fällt immer wieder das Wunschziel, den bestehenden Wald wieder der potentiell natürlichen Waldgesellschaft anzupassen. Zwar existieren seitens des Naturschutzes recht genaue Vorstellungen, welche Waldgesellschaft nun die potentiell natürliche für einen spezifischen Standort wäre, allerdings weniger darüber, inwieweit sich das Waldbild bzw. das Landschaftsbild bei einer dementsprechenden Umwandlung verändern würde.

Die in den meisten Forstbetrieben praktizierte bestandesweise Bewirtschaftung des Waldes hat ein markantes Mosaik von verschiedenen Einzelbeständen entstehen lassen. Diese sind aus Pflanzung oder Naturverjüngung hervor-



gegangen, mehr oder weniger strukturiert, zeigen also ein spezifisches Bild (siehe Abbildung 6.7a).

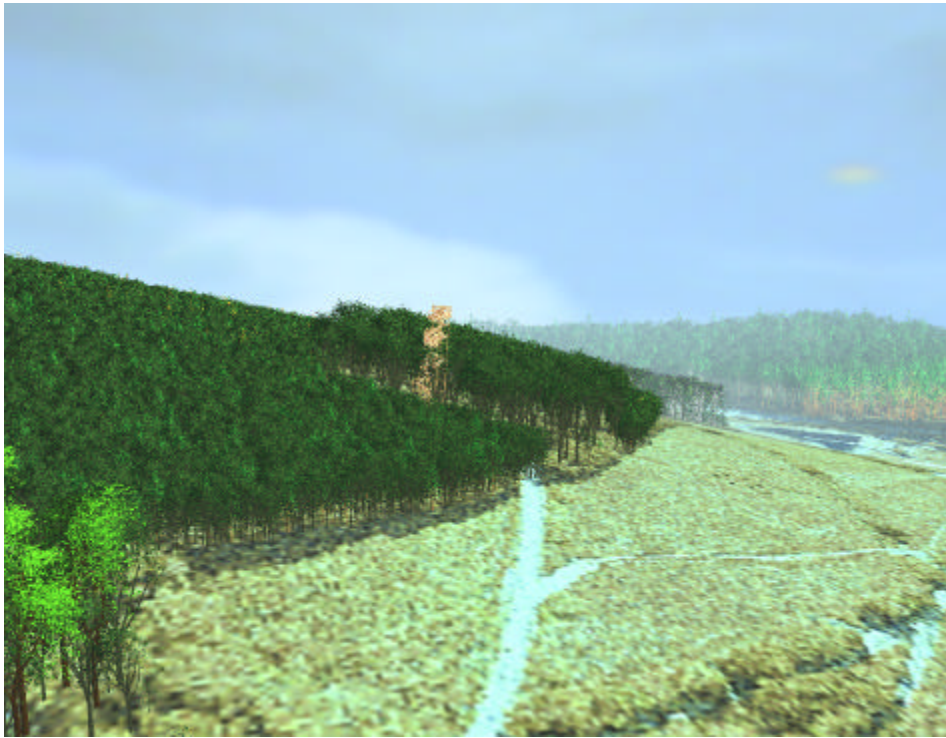
Demgegenüber zeigt der gleiche Standort im Solling unter den von der Buche dominierten Waldgesellschaften und ohne gliedernde Bestandesgrenzen ein wesentlich homogeneres Landschaftsbild (siehe Abbildung 6.7b).

Es bleibt jetzt den Eigentümern, Landschaftsplanern, Naturschutzverantwortlichen, Regionalpolitikern und anderen Parteien überlassen, zu entscheiden, welches Waldbild sie anstreben. Das hier entwickelte System ist aber in der Lage, dieses zu veranschaulichen und damit zu einer objektiveren Entscheidung im Hinblick auf die „Landschaftsvermarktung“ beizutragen.

Die Darstellung des aktuellen Waldbildes erfolgte auf der Grundlage der Forsteinrichtungsdaten. Aus diesen wurden Einzelbaumdaten durch den Strukturgenerator von SILVA erzeugt.

Anhand der Standortdaten wurden für den dargestellten Bereich Luzulo-Fageten als potentiell natürliche Waldgesellschaften bestimmt (siehe auch MATZNER, 1990). Diese primär von der Buche dominierten Bestände wurden durch zufällige Verteilung der Einzelbäume dargestellt.

Mit einem höherem Aufwand, etwa durch Verfeinerung der Positionierung oder Intergration weiterer Nebenbaumarten, wäre eine noch stärker detaillierte Darstellung möglich gewesen. Es stand allerdings nicht zu erwarten, daß dies zu einem wesentlich anderen Erscheinungsbild der Waldlandschaften geführt hätte. Die hier demonstrierte einfache Darstellung präsentiert die wesentlichen Züge der realen und der hypothetischen Waldlandschaft und spiegelt damit auch das für die lokalen Bedingungen begrenzte Wissen realistisch wieder. Die Integration weiterer Modelle zur Verteilung der Bäume oder deren Dimension würde eine in dieser Situation nicht vorhandene Genauigkeit vortäuschen.



**Abb. 6.7a/b:** Darstellung einer Waldlandschaft (ErlebnisWald-Gelände Schönhagen) unter der aktuellen bestandesweisen Bewirtschaftung (6.7a, oben) und der potentiell natürlichen Waldgesellschaft (6.7b, unten)

#### **6.4 Darstellung der Entwicklung eines Bestandes als Folge forstlicher Eingriffe**

Obwohl sich der erfahrene Förster mit entsprechenden Bestandeskennziffern sehr wohl ein Bild von einem Waldbestand machen kann, ohne ihn selbst jemals zu Gesicht zu bekommen, verfügt so mancher andere, der bei der Bewirtschaftung der Wälder ein Wörtchen mitreden will, nicht über solche auf Wissen und Erfahrung basierenden Fertigkeiten.

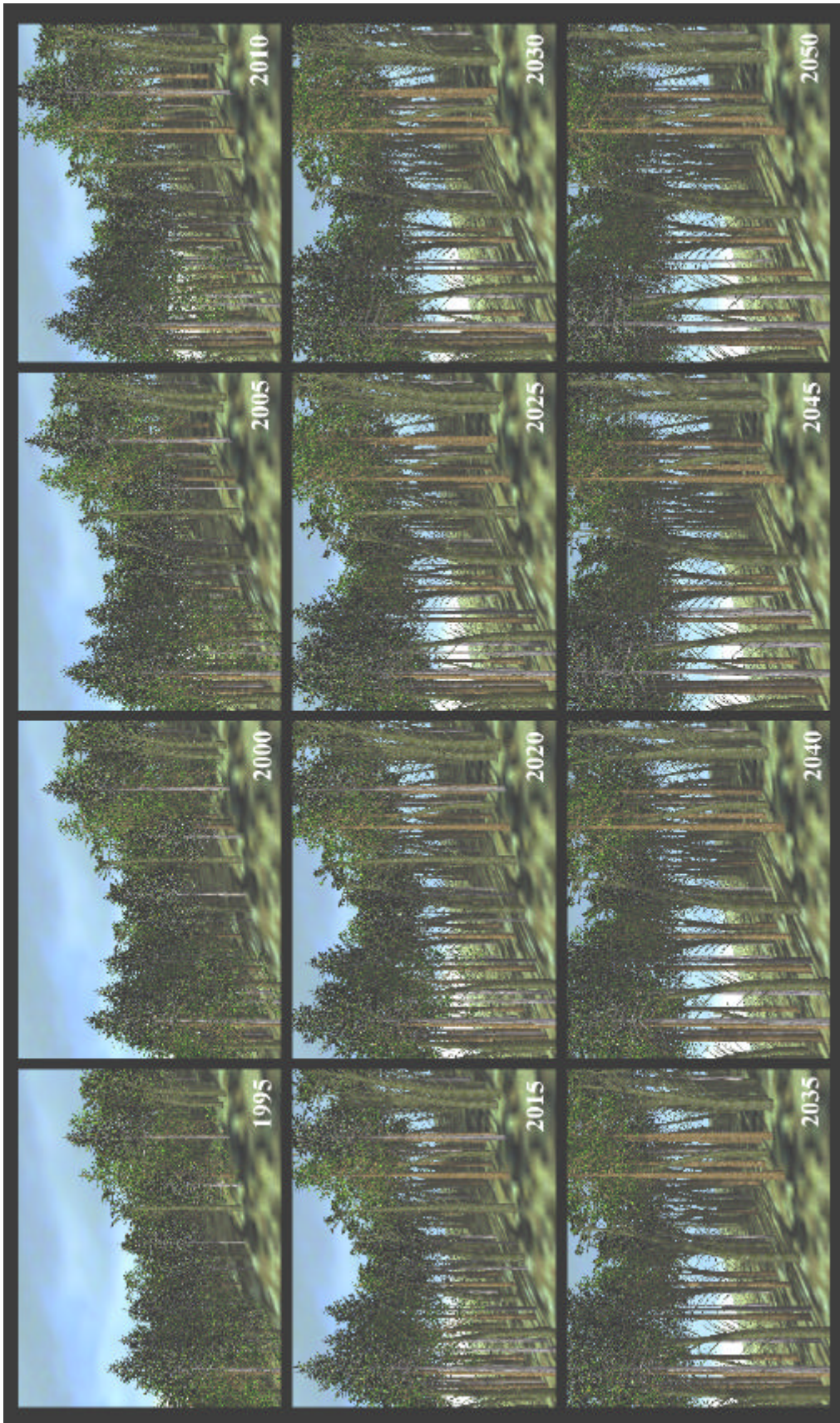
Diesen kann das hier entwickelte System durchaus helfen, sich ein Bild von Beständen machen, wie sie unter verschiedenen Nutzungsalternativen in einigen Jahrzehnten einmal aussehen werden.

Die Einzelbilder der Abbildung 6.8 stellen die Entwicklung eines Buchen-Lärchen-Fichten-Mischbestandes über einen Zeitraum von 55 Jahren dar.

Von Bestandesdaten der Forsteinrichtung ausgehend wurde vom in SILVA integrierten Strukturgenerator die Struktur eines etwa 30-jährigen Jungbestandes erzeugt. Neben den individuellen Positionen wurden ausgehend von den Mittelwerten auch die Dimensionen der Einzelbäume generiert. Die nachfolgende Modellierung der Bestandesentwicklung berücksichtigt die spezifische Konkurrenzsituation jedes einzelnen Baumes. Diese ergibt sich aus den Größenverhältnissen, der Art und dem Abstand des Bezugsbaumes zu seinen nächsten Nachbarn. Das Programm SILVA ermittelt danach aus der Konkurrenzsituation, der Vitalität und den verfügbaren Ressourcen den individuellen Zuwachs. Die sich durch Mortalität, Durchforstungen (hier alle 10 Jahre Eingriffe geringer Intensität) und individuellen Zuwachs verändernden Konkurrenzverhältnisse werden ständig neu bestimmt.

Die sich daraus ergebenden Veränderungen des Erscheinungsbildes des Bestandes sollen im folgenden näher beschrieben werden.

Ein heute noch dichter Jungbestand wird in wenigen Jahrzehnten in den unteren Bestandesschichten durch das Einsetzen der natürlichen Astreinigung wesentlich lichter sein. Die Gestalt der Bäume wird sich damit verändern. Zahlreiche Bäume werden durch Nutzung oder Mortalität verschwunden sein.



**Abb. 6.8:** Darstellung der Entwicklung eines ca. 35-jährigen Buchen-Lärchen-Fichten-Mischbestandes im Laufe von 45 Jahren bei mäßiger Durchforstung im Abstand von 10 Jahren und unter Berücksichtigung natürlicher Mortalität

Die anfangs noch vorwüchsige Lärche wird von den Buchen zunehmend eingeholt, während die Fichten immer mehr unter dem Druck der Buchen zu leiden haben. An den Bestandesrändern wird sich wohl aufgrund des zunehmenden Lichteinfalls eine üppige Bodenvegetation entwickeln.

Neben der hier simulierten recht schwachen Durchforstung können aber auch andere Eingriffe und ihre Auswirkungen auf die Bestandesentwicklung demonstriert werden. Der Wachstumssimulator SILVA bietet dafür umfangreiche Möglichkeiten.

### **6.5 Darstellung des Bestandesschattens am Boden im Tages- und Jahresgang als Informationsbasis zur Modellierung von Naturverjüngungen**

Eine Möglichkeit der Nutzung des Systems in der aktuellen Forschungsarbeit soll das folgende Beispiel illustrieren. In ihm wird die Simulation unterschiedlicher Beschattungsverhältnisse demonstriert, wie sie sich am Bestandesboden im Laufe eines Tages ergeben.

In einem Altbuchen-Bestand des Solling soll der Schattenfall zu verschiedenen Tageszeiten und Jahreszeiten simuliert werden. Hierzu wurde auf eine Kronenprojektions- sowie eine dreidimensionale Stammfußkarte des Bestandes (307b2) zurückgegriffen. Anhand dieser Daten wurde ein virtueller Bestand erzeugt. Das Programm AMAP-INTEGRAL bietet in seinem Modul LANDSCAPE die Option an, einen spezifischen Sonnenstand zu simulieren. Dafür sind Angaben über die geographische Lage der Untersuchungsfläche sowie die jeweilige Tages- und Jahreszeit erforderlich. Aus diesen Daten wird eine Sonnenansicht des virtuellen Bestandes errechnet und diese beim *rendering* der Oberflächen berücksichtigt. Da die Sonnenansicht bereits vor der eigentlichen Errechnung der Szene erfolgte, können zur besseren Ansicht des Schattens am Bestandesboden sogar die Bäume unsichtbar bleiben.

Die Abbildungen 6.9a-f zeigen zuerst die Veränderung des Schattens am Bestandesboden im Tagesgang (morgens, mittags, abends) für einen Frühlingstag.

Das Fleckenmuster, das auf den rechten Abbildungen in senkrechter Blickrichtung ohne die Bäume dargestellt wurde, beeinflusst wesentlich die Erwärmung des Waldbodens und damit die Entwicklung der frühblühenden Bodenvegetation eines Buchenwaldes.

Während am Morgen der Boden vor dem Beobachter noch stark beschattet ist, gelangt gegen Mittag viel Sonnenlicht durch die noch unbelaubte Krone der Buchen. Am Abend fällt das Sonnenlicht vor dem Beobachter vom Bestandesrand her weit in den Bestand.

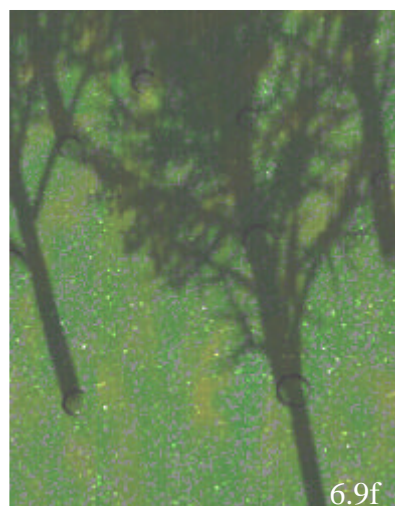
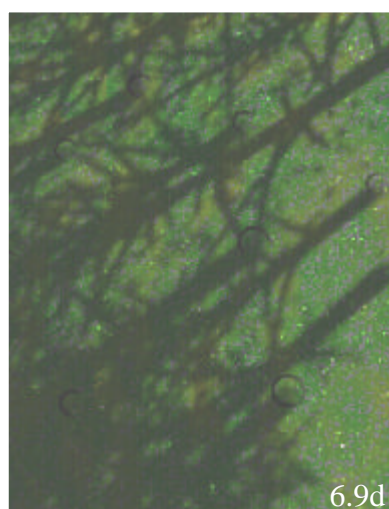
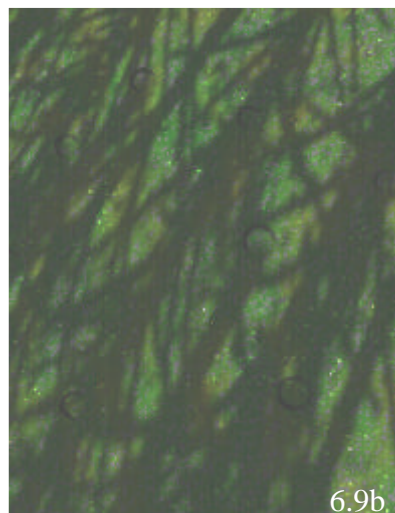
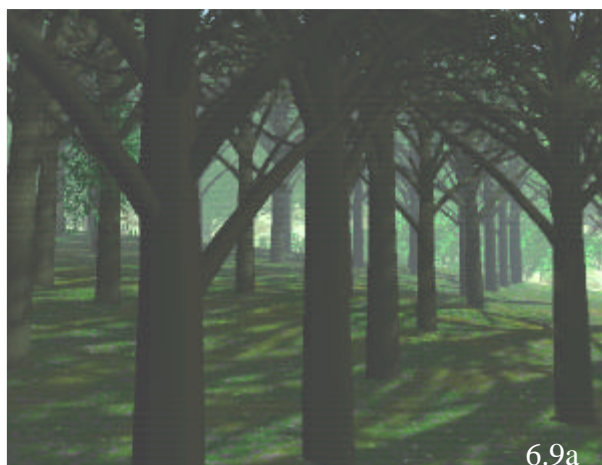
Die Kenntnis der Strahlungsmenge pro Zeiteinheit vorausgesetzt, sind solche Darstellungen dazu geeignet, die verfügbare Strahlungsmenge für jeden Punkt des Bestandes zu bestimmen. Dies kann zum Beispiel auch zur Bewertung von forstlichen Eingriffen in Hinblick auf die Naturverjüngung der Buche erfolgen.

Außer dem hier simulierten Tagesgang der Sonne, läßt sich ebenso ihr Stand im Laufe des ganzen Jahres bestimmen. Mit angepaßtem Belaubungsgrad lassen sich so die wandelnden Lichtverhältnisse während der gesamten Jahres darstellen und bei Bedarf auch quantifizieren (siehe Abbildung 6.10a-f).

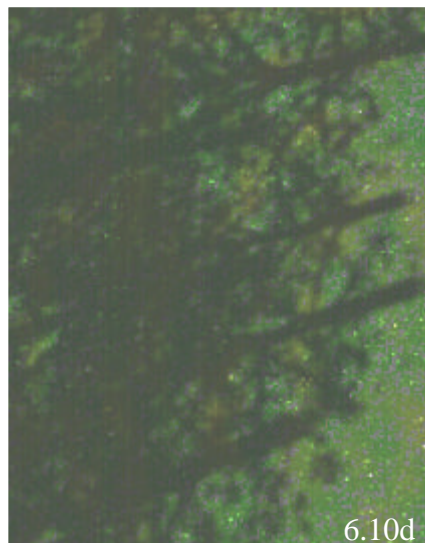
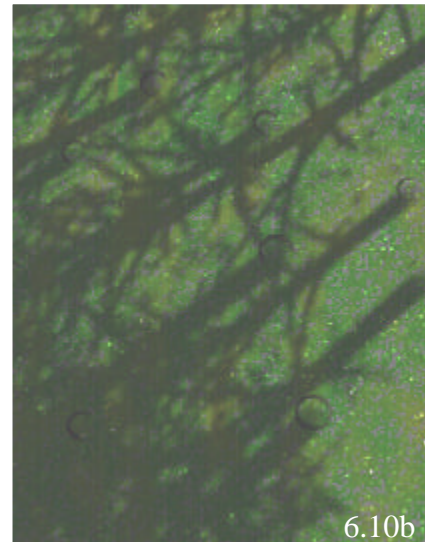
Die Bestimmung des Anteils des beschatteten Bodens läßt sich anhand der Abbildungen 6.9b/d/f und 6.10b/d/f mit Hilfe einer Bildauswertungssoftware (hier ADOBE Photoshop 5.0) durchführen. Dabei wird zuerst die Farbtiefe z. B. auf 8 Farben (3bit) reduziert. Anschließend erfolgt die Auswertung der einzelnen Farbpunkte (Pixel) in einem Histogramm. Die Tabelle 6.1 zeigt den Anteil der dunklen Schattenpixel in den Images. Eine derartige Analyse kann bei Bedarf auch automatisiert werden.

**Tab. 6.1:** Beschattungsprozente des Bestandesbodens ermittelt aus den Abbildungen 6.9b/d/f und 6.10b/d/f im Tages- und Jahresgang

1.April Zeit / Abb.	Pixel Gesamt	Pixel Beschattet	%	12:00 Uhr Termin / Abb.	Pixel Gesamt	Pixel Beschattet	%
9:00 / 6.9b	48945	31391	64.1	1. Apr. / 6.10b	54855	31871	58.1
12:00 / 6.9d	47424	27614	58.2	1. Mai / 6.10d	54855	29767	54.3
17:00 / 6.9f	47424	18559	39.1	1. Okt. / 6.10f	54855	26407	48.1



**Abb. 6.9a-f:** Simulation von Licht und Beschattung am Rand eines Buchenschirmes zu verschiedenen Tageszeiten (Bestandesansicht und Schattenprojektion):  
Termin: 1. April, 09.00 Uhr (6.9a/b), 12.00 Uhr (6.9c/d), 17.00 Uhr (6.9e/f),

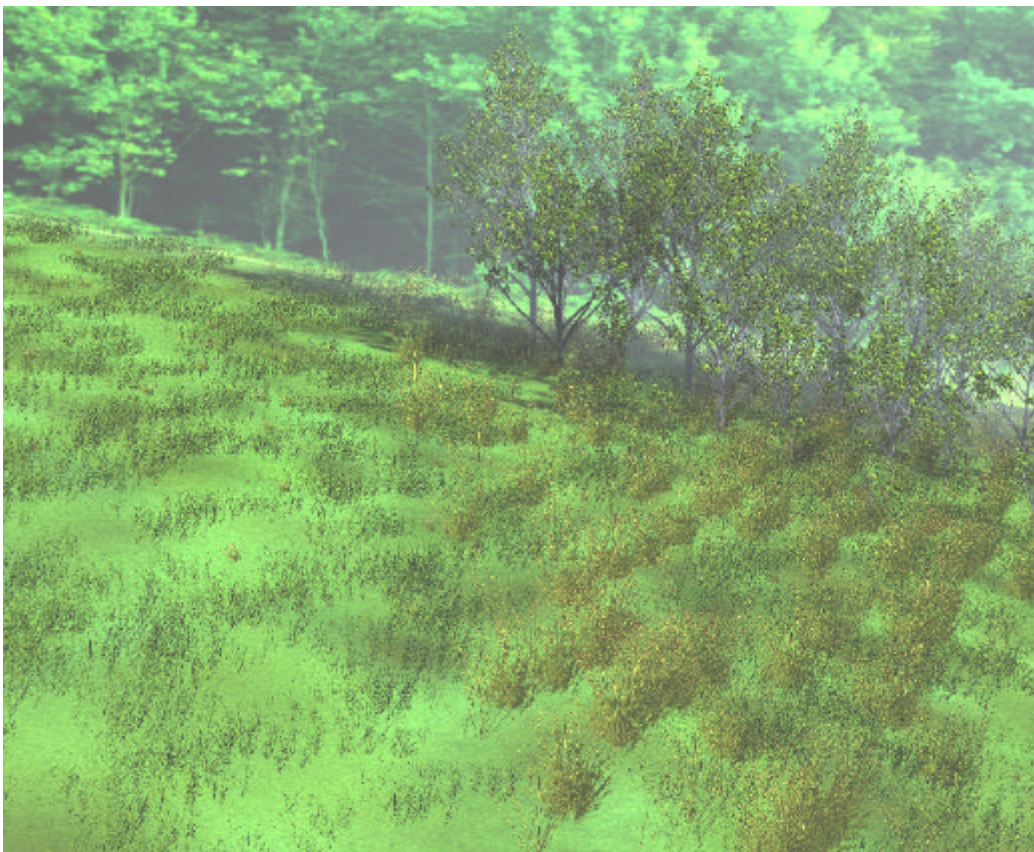


**Abb. 6.10a-f:** Simulation von Licht und Beschattung am Rand eines Buchenschirmes zu verschiedenen Jahreszeiten (Bestandesansicht und Schattenprojektion):  
 Termine: 1.April (6.10a/b), 1.Mai (6.10c/d), 1.Oktober (6.10e/f), 12.00 Uhr  
 (April Winterzeit, Mai/Oktober Sommerzeit)



## 6.6 Sukzession einer unbewirtschafteten Wiese

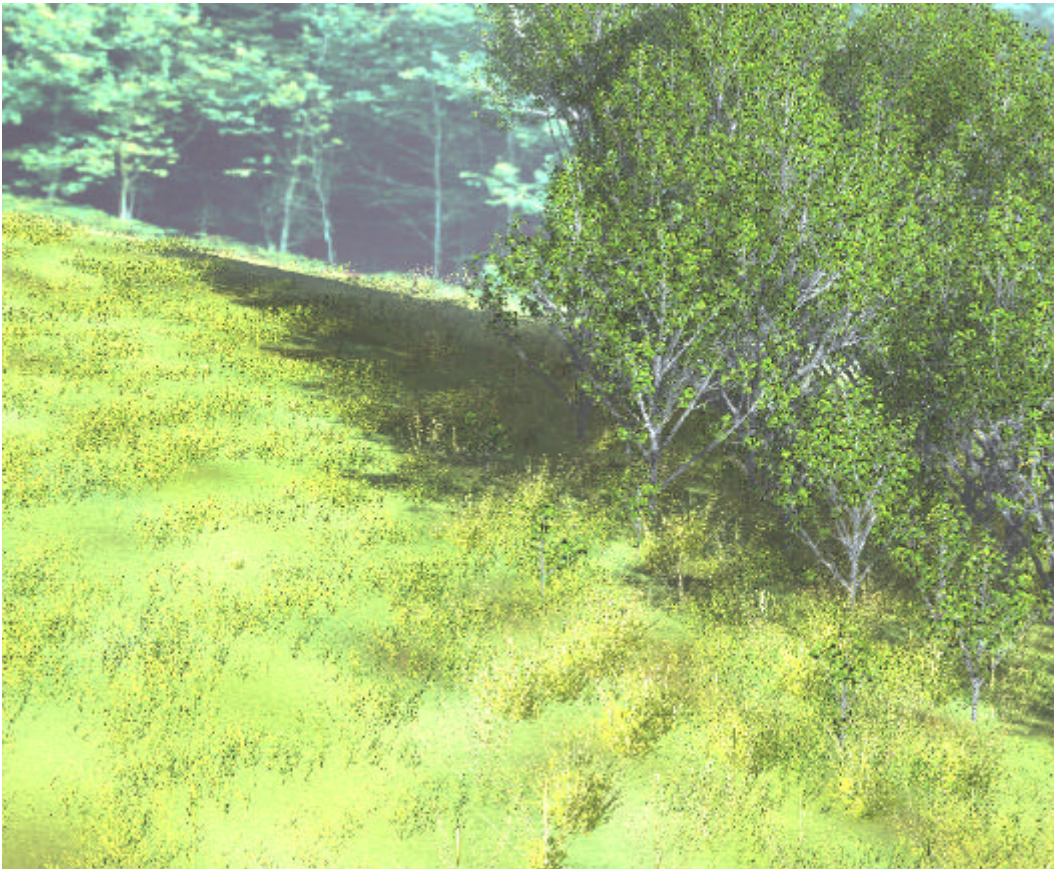
Die **Sukzessionsfläche** befindet sich südwestlich der Abteilung 307 auf einer ehemals extensiv bewirtschafteten Hangwiese. Die Untersuchungsfläche wurde in drei Streifen aufgeteilt, welche unterschiedlicher Nutzungsintensität unterliegen. Während sich auf der nutzungsfreien Teilfläche bereits wieder Aspenverjüngung einstellen und etablieren konnte, werden aufkommende Gehölze auf den gemähten Teilflächen unterdrückt.



**Abb. 6.11:** Darstellung der beginnenden Sukzession am Bestandesrand auf einer nur teilweise gemähten Wiese des ErlebnisWald-Geländes (gegenwärtiger Zustand, Hintergrund: Foto, Vordergrund: Modellierung)

Diese fortschreitende Sukzession soll im folgenden dargestellt und illustriert werden. Um eine realistische Darstellung zu erreichen, sind folgende Parameter notwendig. Ausgangspunkt für die Besiedlung der Wiese mit Gehölzen ist an diesem spezifischen Standort das Aufkommen von Sämlingen der Aspe (*Populus tremula*). Als charakteristische Pionierbaumart verfügt sie über eine ökologische Anpassung, die ihr die Erschließung neuer Standorte vor den

meisten anderen Baumarten ermöglicht. Erst in ihrem Gefolge haben Buchen, Eichen und auch die Fichten eine Chance sich zu etablieren



**Abb. 6.12:** Darstellung der fortgeschrittenen Sukzession am Bestandesrand auf einer nur teilweise gemähten Wiese des ErlebnisWald-Geländes (hypothetischer Zustand nach 10 Jahren, Hintergrund: Foto, Vordergrund: Modellierung)

Die Darstellung dieses Szenarios erfolgte über dem Geländemodell, welches bereits zur Visualisierung der Waldlandschaft herangezogen wurde. Die unterschiedliche Bewirtschaftungsintensität der beiden Wiesenabschnitte illustriert unterschiedlicher Grasbewuchs. Als Szenenhintergrund wurde eine Fotografie des realen Bestandesrandes eingefügt. Während sich die Baumgrößen und -verteilungen der ersten Szene (Abbildung 6.11) am aktuellen Zustand der Fläche orientieren, ist der Entwicklungszustand der zweiten Szene eher hypothetischer Natur, soll sie doch in diesem Fall primär der Veranschaulichung einer solchen Entwicklung dienen und die Applikationsfähigkeit für die Darstellung solcher Sukzessionsszenarien deutlich machen.

## 7 Diskussion

### 7.1 Notwendigkeit für die Modellierung und hochdetaillierte Visualisierung von Waldlandschaften

Wie bei allen anderen Medien haben die technischen Entwicklungen der letzten beiden Jahrzehnte auch im Bereich der Grafik dafür gesorgt, daß sich deren allgemeines Erscheinungsbild in der Öffentlichkeit sehr stark verändert hat. Nicht erst seit der Visualisierung von Fraktalen durch MANDELBROT (1982) und andere traten am Computer generierte Grafiken ins öffentliche Interesse.

Heute kann kein Wetterbericht mehr ohne seinen virtuellen Flug über Deutschland auskommen. Die Filmindustrie produziert kaum noch einen Streifen, in dem nicht in irgendeiner Szene mit dem Computer nachgeholfen wurde. Für den Zuschauer sind dabei längst nicht alle Manipulationen zu erkennen. Andere bauen gerade auf den Effekt, uns in Fantasiewelten zu entführen. Dem Spieler von Computerspielen wird eine virtuelle Welt vorgeführt, in der fast nichts unmöglich ist. Auch nicht was den Reichtum an Details und optischen Effekten angeht.

Der allgegenwärtige Einsatz hochwertiger Grafiken, welche mit immer raffinierteren Visualisierungstechniken erstellt wurden, erzeugt dabei eine Erwartungshaltung, denen in allen Bereichen des öffentlichen und privaten Lebens gerecht zu kommen ist. Um nur ein Beispiel zu erwähnen, sei hier die Entwicklung von Diagrammen in wissenschaftlichen Abhandlungen erwähnt. Noch vor nicht einmal zwei Jahrzehnten wurden nahezu alle Diagramme von geschulten wissenschaftlichen Zeichnern per Hand und Tusche zu Papier gebracht. Fehler und nachträgliche Änderungen waren nur noch schwer zu korrigieren. Zur gleichen Zeit nutzten die ersten „Computerfreaks“ die Möglichkeiten von Pseudografiken (anstelle von Linien wurden zeilenweise Buchstaben und Zeichen plaziert) zur Erstellung von Diagrammen. Die ersten echten Liniengrafiken fanden Anfang der 90er Jahre ihren Weg in die wissenschaftlichen Abhandlungen. Mit den Text- und Tabellenverarbeitungsprogrammen, Tintenstrahl- und Laserdruckern in Schwarz-Weiß und Farbe wurden die Diagramme immer aufwendiger. 3-dimensionale Balken und

gekrümmte Flächen konnten schattiert werden. Schließlich sorgte die Entwicklung des Internets und der damit verbundenen Technologien und Programmiersprachen dafür, daß sogar Animationen ohne großen Aufwand erstellt und dem Publikum präsentiert werden können. Wer heute noch mit handgezeichneten oder mit Pseudografik erstellten Diagrammen seinen Vortrag bestreitet, wird viel rethorisches Geschick mitbringen müssen, um das Interesse des Auditoriums zu behalten.

Wer also heute Sachverhalte grafisch präsentiert, muß der gestiegenen und weiter steigenden Erwartungshaltung der Menschen an die Qualität der Grafiken gerecht werden. Dies betrifft sowohl den Forstbeamten, der seine Nutzungsplanung vor Eigentümern, Naturschutz- und Fremdenverkehrsverantwortlichen, Politikern sowie weiteren an der Entscheidung Beteiligten darzulegen hat, als auch den Hochschullehrer, der seinen Studenten die Wirkung forstlicher Eingriffe oder antropogener Umweltveränderungen erklärt.

Hochdetaillierte Visualisierungen in Form von Grafiken und Animationen von Bäumen, Beständen und Waldlandschaften sowie den darin wirkenden Prozessen werden zu einem selbstverständlichen Bestandteil von Wissenschaft und öffentlichem Leben werden, wie 3-dimensionale Diagramme und virtuelle Wetterrundflüge. Sie können nicht zuletzt erheblich zu Akzeptanz und Verständnis von abstrakten biometrischen Modellen der Walddynamik beitragen.

## **7.2 Maße für die Praktikabilität der hochdetaillierten Visualisierung**

Wie brauchbar die hochauflösende Visualisierung von Waldentwicklungsszenarien für den Anwender ist, wird von den Faktoren Flexibilität, Genauigkeit und Bedienbarkeit bestimmt.

Jeder dieser Punkte muß für ein spezifisches System ein Mindestmaß erreicht haben, um für die Praxis von Interesse zu sein, was im folgenden anhand des hier vorgestellten Beispielsystems ViWa diskutiert werden soll.

### **7.2.1 Flexibilität**

Die gegenwärtig noch hohen Anschaffungskosten eines leistungsstarken Visualisierungssystems lassen sich nur bei einer hohen Auslastung rechtfertigen. Bei den meisten Anwendern werden die Aufgabenstellungen häufig wechseln, eine Situation, der das System gewachsen sein muß. Es gilt unterschiedliche Ein- und Ausgabeformate zu importieren und zu exportieren. Eingebundene Modelle müssen veränderbar sein, ohne daß andere Bestandteile des Systems angepaßt werden müssen.

Das System ViWa erlaubt es, sowohl Forsteinrichtungsdaten, als auch terrestrisch oder im Luftbild erhobene Daten zu berücksichtigen. Die im Kapitel 6 dargestellten Beispiele zeigen die vielseitige Anwendbarkeit von ViWa. Dazu gehören auch die verschiedenen Möglichkeiten der Ausgabe, wie sie bereits im Abschnitt 5.5 besprochen wurden.

### **7.2.2 Genauigkeit der Struktur-, Wachstums- und Morphologiemodelle**

Die Genauigkeit eines Systems hängt vor allem von der Genauigkeit der integrierten Einzelmodelle (Struktur-, Wachstums-, Baummorphologiemodell) ab. Viele von ihnen sind erst vor kurzer Zeit entwickelt worden und werden ständig weiter verfeinert. Modulare Systeme erlauben am leichtesten, neue Versionen einzubeziehen. Während der Arbeit mit dem System ViWa wurden mehrere Versions-Updates von Amap-Integral und Silva ausgeliefert. Diese ließen sich meist ohne große Schwierigkeiten integrieren.

Eine andere Ursache für Abweichungen der Visualisierungen vom realen Zustand ist die Qualität der verwendeten Daten. Die bestandesweise traditionelle Forsteinrichtung liefert nur sehr allgemeine Informationen zur Struktur der Bestände. Die Lage und Ausdehnung von Hilfsflächen wird oft nur verbal beschrieben, aber nicht kartiert. Dies ist aber für eine realitätsnahe Darstellung des Bestandesgefüges unverzichtbar. Insbesondere bei der Darstellung des aktuellen Waldbildes im Abschnitt 6.3 führte dieser Umstand zu Problemen, da mehrere für das Waldbild markante Hilfsflächen nicht kartiert waren. Hier gilt es neue Standards und Verfahren für die forstliche Praxis zu entwickeln und einzuführen. Wie gut diese neuen Möglichkeiten zur Beschreibung von

Strukturen geeignet sind, läßt sich anhand einer Visualisierung eines mit diesen Daten erzeugten virtuellen Bestandes leicht überprüfen.

### **7.2.3 Bedienbarkeit**

Die Verbreitung eines Hilfsmittels hängt nicht zuletzt von dessen Bedienbarkeit ab. Diese sollte intuitiv möglich sein. Regelmäßig wiederkehrende Arbeitsschritte muß das System selbständig abarbeiten können.

ViWa kann aufgrund seines niedrigen Integrationsgrades diese Ansprüche noch nicht erfüllen. Dazu trägt unter anderem die nur im Bereich der AML-Makros umgesetzte Benutzeroberfläche bei. Zur Beantwortung der wissenschaftlichen Fragestellung war diese Lösung jedoch hinreichend. Vor einer breiten Einführung in die Praxis sollte jedoch der notwendige Aufwand zur Entwicklung einer benutzerfreundlichen grafischen Oberfläche betrieben werden.

## **7.3 Wege zur Optimierung der Rechenzeit**

Um die Möglichkeiten zur Begrenzung des Rechenaufwandes zu diskutieren, ist es zweckmäßig, die besonders rechenintensiven Teilarbeiten herauszustellen. Dies sind:

- die Generierung der Einzelbaumstrukturen,
- die Wachstumsmodellierung auf Einzelbaumbasis sowie
- die Berechnung der Einzelbilder.

### **7.3.1 Generierung von Einzelbaumstrukturen**

Die Generierung von Einzelbaumstrukturen wird notwendig, wenn keine Einzelbaum-, sondern nur Bestandesdaten vorliegen. Die Einzelbaumdaten können, wie bereits in Kapitel 3.2.2 beschrieben, direkt durch Feldvermessungen oder Messungen im Luftbild erhoben werden. Diese Form der Datenerhebung ist sehr arbeitsintensiv. Einfacher können Bestandesdaten aus den Unterlagen der Forsteinrichtung, Felderhebungen oder durch Schätzungen

aus Luft- oder Satellitenbildern gewonnen werden. Aus diesen müssen dann die entsprechenden Einzelbaumstrukturen generiert werden. Diese Operation kann für die gesamte Landschaft erfolgen oder nur für einzelne Ausschnitte von besonderem Interesse. Insbesondere bei großen Landschaften würde eine vollständige Umwandlung in Einzelbaumdaten eine extrem große Menge an Daten erzeugen. Andererseits kann es bei relativ kleinen Landschaftsausschnitten effektiver sein, die Umwandlung nur einmal für die gesamte Fläche durchzuführen. Abhängig ist dies aber auch davon, ob ein Wachstumsmodell integriert ist und ob dieses auf Bestandes- oder Einzelbaumebene kalkuliert. Für große Landschaften wird es zweckmäßig sein, die Wachstumsmodellierung auf Bestandesebene durchzuführen und anschließend nur solche Ausschnitte in Einzelbaumstrukturen umzuwandeln, die visualisiert werden sollen.

### **7.3.2 Einzelbaum- oder bestandesorientierte Modelle**

Einzelbaumorientierte Modelle können bisher nur kleinere Bestände effizient modellieren. Sie erfordern eine Umwandlung der Bestandesdaten vor der eigentlichen Wachstumssimulation. Es sollte im Einzelfall geprüft werden, ob auch eine Auswahl von Einzelbeständen oder Ausschnitten aus diesen ausreichend ist, um den interessierenden Sachverhalt zu illustrieren.

Für die Darstellung der Waldlandschaft im Abschnitt 6.3 wurde für jede Teilfläche eine Parzelle von etwa 1600 bis 10000 m<sup>2</sup> Größe berechnet. Diese wurde anschließend im gesamten Bereich der Teilfläche mosaikartig vervielfacht. Lediglich in der Luftbildperspektive ist diese Zellenstruktur noch zu erkennen.

Großflächige Visualisierungen sollten mit bestandesweiser Modellierung des Wachstums arbeiten, da hier das Detail des Einzelbaumes eher nicht in den Vordergrund rückt. Für dem Betrachter nahe Bereiche der Szene können anschließend immer noch Einzelbaumstrukturen generiert werden.

### 7.3.3 Optimierung des Bildaufbaus

#### 7.3.3.1 Wahl eines Szenenausschnittes

Da die Dauer der Berechnung der Einzelbilder im wesentlichen von der Anzahl der Bäume in der Szene sowie deren Detailauflösung abhängt, kann es zweckmäßig sein, bei größeren Beständen nur den wirklich sichtbaren Teil des Bestandes an die AMAP-Software zu übergeben. Hierzu wird z.B. innerhalb eines im GIS integrierten Tools der Standpunkt des Betrachters sowie der Blickwinkel bestimmt und ein entsprechender Ausschnitt der Szene ausgewählt. Die Auswahl dieses Bereiches sollte sehr gewissenhaft erfolgen, um die wesentlichen Wirkungen der Simulation zu erfassen (siehe dazu Abschnitt 3.2.1 über die Wahl der geeigneten räumlichen Dimension). Im Falle der Animation einer Bewegung durch den Bestand innerhalb der Visualisierungssoftware wird in den meisten Fällen eine sehr großzügige Auswahl des Szenenausschnittes notwendig sein.

#### 7.3.3.2 Images oder dreidimensionale Objekte im Szenenumfeld

Zu einer realitätsnahen graphischen Darstellung gehört die Visualisierung des Szenenumfeldes. Hierzu zählen das Geländere relief, der Hintergrund und besondere technische Objekte, wie Gebäude oder Straßen.

Während die Größe des Reliefausschnittes nur einen geringen Einfluß auf die Bearbeitungszeit der Szene hat, kann sich die Art der Gestaltung der Bodenvegetation erheblich auswirken. Die schnellste Variante ist die einfarbige Gestaltung, die aber nicht sehr realistisch wirkt. Nur wenig mehr Rechenzeit benötigt das *rendering* (Auftragen einer Textur) des Bestandesbodens. Diese kann aus einem allgemeinen Image einer Wiese, eines Wald- oder Sandbodens oder auch aus einem Luftbild generiert werden. Durch die Verwendung eines Luftbildes werden auf einfache Weise auch Wege, Straßen, Felder und Wiesen, soweit sie nicht von Bäumen überschirmt sind, in die Szene eingefügt. Solange solche zweidimensionalen Objekte keine Veränderung im Rahmen der Simulation erfahren, genügt diese Form der Visualisierung. Dreidimensionale Objekte, wie Bäume und Gebäude können nur dann durch Images integriert werden, wenn sie sich im Hintergrund der Szene befinden und nicht durch die Simulation verändert werden.



Die Wahl und Platzierung eines geeigneten Hintergrundimages kann ebenfalls die Anzahl der zu visualisierenden Objekte und damit die Rechenzeit wesentlich beeinflussen.

## **7.4 Perspektiven für das Konzept ViWa**

Um die Zukunft der Visualisierung von Bäumen, Waldbeständen oder Landschaften zu diskutieren, ist es sicher nicht notwendig, sich intensiv mit der Frage zu beschäftigen, ob es eine Nachfrage nach solchen Systemen geben wird. Sie wird sich entwickeln, sobald die Modelle, Programme und Rechnertechnologien leistungsfähig genug sind. Diese Leistungsfähigkeit bezieht sich sowohl auf die **Zuverlässigkeit** der Modellprognosen, als auch auf die **Geschwindigkeit** der Bearbeitung, deren **Flexibilität** und **Bedienungsfreundlichkeit**.

Es scheint hier daher angebracht, auf die Perspektiven dieser vier Punkte ein wenig näher einzugehen.

### **7.4.1 Zuverlässigkeit künftiger Systeme**

Wie verlässlich die Prognosen eines Modells sind, wird davon bestimmt, wie gut dieses Modell die wesentlichen Faktoren der Realität wiedergibt. Diese Aussage beinhaltet zwei Teilaussagen. Zum einen müssen vom Modellierer alle wesentlichen Faktoren eines Prozesses erkannt werden. Zum anderen müssen anschließend die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Faktoren in einer Funktion quantifiziert und über Koeffizienten gewichtet werden. Dieser Prozeß der Modellbildung befindet sich am Objekt Waldökosystem noch in den Kinderschuhen. Von einfachen linearen Denkschemen, wie

Standortspotential – Konkurrenz = Wachstum

gelangten die Wissenschaftler zur Erkenntnis komplexer vernetzter Abläufe, die ein intensives Wechselspiel von Ursachen und Wirkungen beinhalten.

Das stetige Bemühen der Wissenschaftler, die Faktoren und Wechselwirkungen der im Wald ablaufenden Prozesse besser zu verstehen, wird seinen

Niederschlag in besseren, weil genaueren Modellen finden. Je genauer die Einzelprozesse nachgestaltet werden können, um so präziser und zuverlässiger werden auch die Simulatoren.

Andererseits birgt die Integration zahlreicher Parameter in die Modelle die Gefahr, den Aufwand für deren experimentelle Bestimmung unerschwinglich zu machen. Werden dann diese Parameter per Hand so „justiert“, daß die Ergebnisse mit den Erwartungen übereinstimmen, wird der Weg des Verstehens verlassen. Diese Modelle „funktionieren“ zwar im Einzelfall, zeigen aber in vielen anderen Situationen, daß sie nur ein sehr ungenaues Abbild der Realität darstellen.

#### **7.4.2 Arbeitsgeschwindigkeit künftiger Systeme**

Eines der wesentlichsten Hemmnisse bei der Einführung detaillierter Modellierungen und Visualisierungen ist die gegenwärtig noch hohe Rechenzeit. Neben der Optimierung des Bildaufbaus, wie sie im Abschnitt 7.3.3 besprochen wurde, kann eine künftige Beschleunigung der Arbeitsgeschwindigkeit sowohl durch Verbesserungen an der Hard- als auch an der Software erreicht werden.

Auf der Hardwareseite wird die nahe Zukunft neben Prozessortaktungen von mehr als 1 Gigahertz, großvolumigen Arbeitsspeichern auch neue Grafikprozessoren sowie breitbandige Systembusse bringen. Diese leistungsfähige Grafikhardware, wie sie heute bereits im professionellen Bereich Anwendung findet, wird direkt von spezieller Software angesteuert. Damit wird eine sehr direkte und schnelle Bearbeitung der Information erreicht.

## 8 Zusammenfassung

Das Forschungszentrum Waldökosysteme (FZW) generiert im Rahmen des aktuellen Vorhabens „Indikatoren und Strategien für eine nachhaltige, multifunktionelle Waldnutzung – Fallstudie Waldlandschaft Solling“ auf der Basis von Umwandlungsstrategien (z.B. LÖWE) praxisnahe Waldentwicklungsszenarien. Diese werden anhand von Indikatoren evaluiert, wobei auch „ästhetische Präferenzen“ berücksichtigt werden sollen. Hierfür bietet die virtuelle Konstruktion von Waldlandschaften und von deren Dynamik ein wirksames Hilfsmittel. Nachfrage nach einem solchen System besteht zudem seitens verschiedener Entscheidungsträger sowie im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit.

Ziel der Arbeit war die Entwicklung eines Beispielkonzeptes zur Visualisierung von Waldbeständen und –landschaften sowie deren Dynamik. Die dabei gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse sollten in einem Handbuch zusammengefaßt werden. Schließlich sollten diese anhand von Beispielanwendungen illustriert werden.

Wesentlicher Bestandteil der Arbeit ist die Modellierung des Waldwachstums. Daher wird ein Überblick über die verschiedenen Grundansätze gegeben. Ausführlich werden die Verfahren der einzelbaumweisen Wachstumsmodellierung diskutiert. Als beispielhafte Umsetzungen in Simulatoren werden die Systeme BWIN, TRAGIC, SILVA, PROGNAUS und MOSES vorgestellt.

Die Erzeugung virtueller Bestände bedarf einer sehr präzisen Wiedergabe der räumlichen Bestandesstrukturen. Es werden daher verschiedene Methoden zur Erhebung dieser Informationen, inklusive der Generierung aus Bestandesdaten, erläutert und deren Vor- und Nachteile diskutiert.

Anschließend wird die Entwicklung der Technologien zur Visualisierung von Bäumen, Beständen und Waldlandschaften besprochen. Der aktuelle Stand wird anhand der Systeme TREEVIEW, AMAP und GROGRA erläutert.

An die zum Einsatz kommenden Modelle und Visualisierungssysteme werden hohe Anforderungen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit, Flexibilität und Leistungsfähigkeit gestellt. Grenzen setzen den Systemen deren teilweise

unausgereiften zugrundeliegenden Modelle sowie die Finanzierbarkeit der notwendigen Rechnerleistung.

Das Konzept ViWa (Virtueller Wald) beinhaltet eine auf Arc/Info gestützte relationale Datenbank, den Waldwachstumssimulator SILVA, das Morphologiesimulator und Visualisierungssystem beinhaltende Programm AMAP sowie Hilfsprogramme für Datentransfer und –anpassung.

Auf der Basis des Geografischen Informationssystems Arc/Info wurde eine Datenbank entworfen, in der flächenbezogene Forsteinrichtungsdaten, einzelbaumbezogene Parameter sowie ein Digitales Geländemodell integriert wurden.

Der Simulator SILVA erfüllt im Konzept ViWa zwei Funktionen. Zum einen erzeugt er anhand ihm von der Datenbank übergebener Bestandesdaten Parzellen mit Einzelbaumstrukturen, zum anderen modelliert er deren Wachstum entsprechend der spezifizischen Konkurrenzsituation sowie vorgegebenen Eingriffen.

Schließlich stellt das Programm AMAP Baumarchitekturen verschiedener Arten und Altersstufen bereit. Diese werden vom Programm entsprechend der von der Datenbank gelieferten Einzelbauminformationen gemeinsam mit anderen Objekten in die virtuelle Szene eingefügt. Zur Ausgabe erfolgt die Visualisierung der gesamten Szene, einschließlich verschiedener optischer Effekte.

Den Transfer der Daten sowie deren Anpassung an die vielfältigen Ein- und Ausgabeformate der einzelnen Hauptkomponenten gewährleistet eine Reihe selbst entwickelter Hilfsprogramme. Mit deren Hilfe werden die Einzelkomponenten zum System integriert.

ViWa eignet sich zur multimedialen Präsentation durch die Möglichkeit zur Erstellung von großformatigen Postern hoher Auflösung, von Bildreihen und Animationen der Dynamik von Waldbeständen und Landschaften sowie von stereoskopischen Grafiken und Animationen.

Es zeichnet sich durch nahezu unbegrenzt großen Detailreichtum in der grafischen Darstellung der Bäume, die Möglichkeit zur Einbeziehung technischer Objekte in die Szene sowie durch ein breites Spektrum nutzbarer

Datenquellen aus. Allerdings begrenzt die Implementation des Konzeptes auf drei Betriebssystemen die Benutzerfreundlichkeit.

Fünf Anwendungen des Systems an verschiedenen Problemen illustrieren die Vielseitigkeit des Konzeptes ViWa. Die eingesetzten Daten stammen vom Gelände des ErlebnisWald-Projektes bei Schönhagen nahe Uslar.

Anhand einer Kronenprojektionskarte wird im ersten Anwendungsbeispiel das virtuelle Bild eines Buchenaltbestandes erzeugt. Die Ansicht einer Waldlandschaft unter der gegenwärtigen und der potentiell natürlichen Bestockung liefert das zweite Beispiel. Es kann z.B. in Diskussionen um bestandesweise Nutzung sowie die Verwendung ausschließlich potentiell natürlich vorkommender Arten helfen, die jeweiligen ästhetischen Aspekte zu berücksichtigen. In einer Zeitreihe wird im dritten Beispiel gezeigt, wie sich das Bild eines Bestandes im Laufe von 50 Jahren verändert. Diese Anwendung kann sowohl in der Öffentlichkeitsarbeit als auch in der Schulung des forstlichen Nachwuchses herangezogen werden. Ebenfalls dynamische Aspekte illustriert die Darstellung des Tages- und Jahresganges des Bestandesschattens am Waldboden. Derartige Darstellungen eignen sich auch zur Quantifizierung der Lichtverhältnisse mit Hinblick auf das Aufkommen der Naturverjüngung unter einem Buchenschirm. Schließlich erfolgt eine Illustration der Sukzession einer ungemähten Wiese. Neben dem aktuellen Zustand wird eine Prognose über die erfolge Wiederbewaldung nach 10 Jahren dargestellt.

Die ständig zunehmende Anzahl und Qualität hochwertiger Computergrafiken im täglichen Leben führt zu einer steigenden Erwartungshaltung. Dieser muß auch von Seiten der Forstwirtschaft und der forstlichen Forschung Rechnung getragen werden.

Das Konzept ViWa beweist die Realisierbarkeit hochauflösender Visualisierungen der Dynamik von Waldbeständen. Es besitzt zudem die Flexibilität, um in der Praxis anwendbar zu sein. Die sehr begrenzte Genauigkeit der integrierten Modelle verlangt allerdings nach weiterer Forschungsarbeit. Hier zeigen sich die bisherigen Grenzen und Probleme des Ansatzes am deutlichsten. Zudem erschwert die relativ geringe Integrationstiefe noch die Arbeit mit dem System.

Verschiedene Methoden, um den Rechenaufwand zu begrenzen, ermöglichen die Begrenzung der Kosten, die mit der Beschaffung noch leistungsfähigerer Systeme verbunden sind. Andererseits wird der technische Fortschritt immer leistungsfähigere Systeme verfügbar machen.

## 9 Verzeichnisse

### 9.1 Literatur

**Akça, A.** (1997): Waldinventur. Cuvillier, Göttingen.

**Ammer, Ch.** (1996): Konkurrenz um Licht: zur Entwicklung der Naturverjüngung im Bergmischwald. Forstl. Forschungsberichte München, Nr. 158, 198 S.

**Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung** (1984): Die Forsteinrichtung in der Bundesrepublik Deutschland: d. Forsteinrichtungsverfahren der Länder im Vergleich; einheitl. Forsteinrichtungsstatistik – Mindestanforderungen. Arbeitskreis Zustandserfassung u. Planung in d. Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, 89 S.

**Aronoff, St.** (1993): Geographic information systems : a management perspective. Ottawa

**Assmann, E. und F. Franz** (1963): Vorläufige Ertragstafel für Bayern. München, 104 S.

**Bachmann, M.** (1998): Indizes zur Erfassung der Konkurrenz von Einzelbäumen: methodische Untersuchung in Bergmischwäldern. Forstl. Forschungsberichte München, Nr. 171, 245 S.

**Bella, I. E.** (1971): A New Competition Model for Individual Trees. For. Sci. 17, S. 364-372.

**Bergen, S.D., J.L. Fridley, M.A. Ganter und P. Schiess** (1995): Predicting the Visual Effect of Forest Operations. Journal of Forestry, 93 (2), S. 33-37

**Bergen, V.** (1997): Monetäre Bewertung der Trinkwasserschutzfunktion des Waldes: Forschungsprojekt gefördert durch das Land Rheinland-Pfalz. Institut für Forstökonomie, Göttingen.

**BITÖK** (1999): <http://www.bitok.uni-bayreuth.de/MOD/Software/TRAGIC/History/>.

**Blaise, F.** (1991): Simulation du parallélisme dans la croissance des plantes et applications. Thèse, Université Louis Pasteur, Strasbourg, Département d'Informatique.

**BML** (1994): Bundeswaldgesetz. Hrsg. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

**Bossel, H.** (1994): TREEDYN3 Forest Simulation Model – Mathematical Model, Programm Documentation, and Simulation Results. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen, Reihe B, Bd. 35, 118 S.

**Breckling, B.** (1996): An individual based model for the study of pattern and process in plant ecology: an application of object oriented programming. EcoSys, 4, S. 241-254.

**Buckley, D.J. und J.K. Berry** (1997): Integrating Advanced Visualization Techniques with ARC/INFO for Forest Research and Management. <http://www.esri.com/base/common/userconf/proc97/PROC97/TO350/PAP347/P347.HTM>

**Buckley, D.J., C. Ulbricht und J. Berry** (1998): The Virtual Forest: Advanced 3-D Visualisation Techniques for Forest Management and Research. <http://www.innovativegis.com/products/vforest/vfoverpaper.htm>

**CIRAD** (1996): AMAP Software Version 2.2 Reference Guide. Unité de modélisation des plantes du CIRAD, Montpellier, Frankreich, 188 S.

- Degenhardt, A.** (1999): Simulative Erzeugung von Waldstrukturen auf der Grundlage von Inventurdaten. Beiträge zur 11. Tagung der Sektion Forstliche Biometrie und Informatik des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten, Ljubljana, S. 58 – 68.
- Degenhardt, A.** und **U. Pofahl** (1997): Simulation der natürlichen Entwicklung von Stammzahl und Stammverteilungsmuster in einem Kiefernreinbestand. In: Tagungsband der 10. Tagung Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Forstliche Biometrie und Informatik, Freiburg. Grüne Reihe, Ljubljana, S. 61-73.
- Degenhardt, A.** und **A. Pommerening** (2000): Erzeugung von Bestandesstrukturen auf der Grundlage von Probekreisdaten. Beiträge zur 12. Tagung der Sektion Forstliche Biometrie und Informatik des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten, Ljubljana (im Druck).
- Ek, A. R.** und **R. A. Monserud** (1974): FOREST: a Computer Model for Simulating the Growth and Reproduction of Mixed Species Forest Stands. Research report R2635, School of Natural Resources, Wisconsin University, 88 S.
- Elsasser, P.** (1996): Der Erholungswert des Waldes: monetäre Bewertung der Erholungsleistung ausgewählter Wälder in Deutschland. Sauerländer, Frankfurt a. M., 218 S.
- ErlebnisWald**, (1999): <http://www.erlebniswald.de/deutsch/index.html>.
- Füldner, K.** (1995): Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern. Dissertation am Forstwissenschaftlichen Fachbereich der Universität Göttingen, Göttingen.
- FZW** (1999a): Die Historie des FZW. <http://www.gwdg.de/~fzw/homede/hist.htm>
- FZW** (1999b): Indikatoren und Strategien für eine nachhaltige multifunktionelle Waldnutzung – Fallstudie Waldlandschaft Solling. Forschungsantrag des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen an den BMB+F (1999-2003), 385 S.
- Gadow, K. von** (1999): Waldstruktur und Diversität. Allg. Forst- u. Jagd-Zeitung, 170 (7), S. 117-122.
- Gravenhorst, G** und **Z. Szarejko** (1990): Das Klima des Sollings. In: Exkursionsführer Solling. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B Bd. 17, Göttingen, S. 5-14.
- Hasel, K.** (1985): Forstgeschichte. Springer Verlag, Berlin.
- Hasenauer, H.** (1994): Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern- und Buchen-Fichten-Mischbestände. Forstliche Schriftenreihe der Universität für Bodenkultur Wien.
- Hauhs, M., K. Rost-Siebert, A. E. Kastner-Maresch** und **H. Lange** (1993): A New Model Relating Forest Growth to Input and Output Fluxes of Energy and Matter of the Corresponding Ecosystem: TRAGIC (Tree Response to Acidification of Groundwater in Catchments). Final Report of EC Project EV4V-0032-D(B), Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen.
- Hauhs, M., A. Kastner-Maresch** und **K. Rost-Siebert** (1995): A Model Relating Forest Growth to Ecosystem-scale Budgets of Energy and Nutrients. Ecological Modelling 83 (1995), S 229-243.
- Hildebrandt, G.** (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. Wichmann-Verlag Heidelberg, 676 S.
- House, D.H., G.S. Schmidt, S.A. Arvin** und **M. Kitagawa-DeLeon** (1998): Visualizing a Real Forest. IEEE Computer Graphics and Applications, Jan./Feb. 1998, S.12-15.



- Huss, J. und A. Akça** (1984): Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft. Wichmann, Karlsruhe.
- Huth, A., T. Ditzer und H. Bossel** (1998): The Rain Forest Growth Model FORMIX3: model description and analysis of forest growth and logging scenarios for the Deramakot Forest Reserve (Malaysia). Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen, Bd. 124. Goltze, Göttingen, 182 S.
- Jaeger, M. und P. de Reffye** (1992): Basic Concepts of Computer Simulation of Plant Growth. *Journal of Biosciences*, 17 (3), S. 275-291.
- Jansen, M., P.-G. Martin, M. Sonntag, Th. Ditzer und H. Bossel** (1995): Modellierung von Bestandeswachstum, Stoff- und Energieumsätzen mit TREEDYN am Beispiel Solling F1. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B*, Bd. 45.
- Kahn, M. und H. Pretzsch** (1997): Das Wuchsmodell SILVA – Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 168 (6-7), S. 115-123.
- Kellomäki, S., P. Hari, M. Kanninen und P. Ilonen** (1980): Ecophysiological Studies on Young Scots Pine Stands: II. Distribution of Needle Biomass and its Application in Approximation of Light Conditions Inside the Canopy. *Silva Fennica* 14 (3), S 243-257.
- Kimmins, J. P.** (1993): Scientific Foundations for the Simulation of Ecosystem Function and Management in FORCYTE-11. Information Report NOR-X-328, Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry Centre, 88 S.
- Kobayashi, S.** (1981): Simulation Model of the Stand Growth of Japanese Larch. IUFRO Poster Session, 11 Sept. 1981, Kyoto, Japan.
- Kratz, W., H. Lohner, S. Augustin, B. Degen, M. Lorenz, M. Schall, U. Schmieden und B. Schweitzer** (1997): Auswertung der Waldschadensforschungsergebnisse (1982- 1992) zur Aufklärung komplexer Ursache-Wirkungsbeziehungen mit Hilfe systemanalytischer Methoden. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Kürsten, E.** (1983): Luftbild-Folge-Inventuren und Baumkataster als Grundlagen für eine nachhaltige Sicherung innerstädtischer Vegetationsbestände dargestellt am Beispiel der Stadt Düsseldorf. Dissertation am Forstwissenschaftlichen Fachbereich der Universität Göttingen, 169 S.
- Kurth, H.** (1994a): Forsteinrichtung: Nachhaltige Regelung des Waldes. Dt. Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- Kurth, W.** (1994b): Growth Grammar Interpreter GROGRA 2.4: a Software-Tool for the 3-Dimensional Interpretation of Stochastic, Sensitive Growth Grammars in the Context of Plant Modelling; Introduction and Reference Manual. *Berichte des Forschungszentrum Waldökosysteme*, Bd 38, Göttingen.
- Kurth, W.** (1998): Die Simulation der Baumarchitektur mit Wachstumsgrammatiken. Habilitationsschrift an der Georg-August-Universität Göttingen, 324 S; erscheint im Wissenschaftlichen Verlag, Berlin.
- Kurth, W. und Sloboda, B.** (1999a): Tree and Stand Architecture and Growth Described by Formal Grammars – I. Non-Sensitive Trees. *Journal of Forest Science*, 45, 1999 (1), S. 16-30.
- Kurth, W. und Sloboda, B.** (1999b): Tree and Stand Architecture and Growth Described by Formal Grammars – II. Sensitive Trees and Competition. *Journal of Forest Science*, 45, 1999 (2), S. 53-63.
- Lecoustre, R., K. Saito, Y. Kumagai, T. Honjo und Ph. De Reffye** (1997): Simulation d'un

paysage forestier à partir d'un SIG et de la technique de modélisation des plantes. Modélisation et Simulation de l'Architecture des Végétaux (Eds.: J. Bouchon, Ph. de Reffye, D. Barthélémy). Science Update, INRA, Paris, S. 425-434.

**Lembcke, G., E. Knapp und O. Dittmar** (1975): DDR-Kiefern-Ertragstafel 1975. Eberswalde

**Lewandowski, A. und K. von Gadow** (1997): Ein heuristischer Ansatz zur Reproduktion von Waldbeständen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 169 (9), S. 170-174.

**Lindenmayer, A.** (1968): Mathematical Models for Cellular Interaction in Development. Journal of Theoretical Biology, 54, S. 3-22.

**Lindner, M.** (1998): Wirkung von Klimaveränderungen in mitteleuropäischen Wirtschaftswäldern. Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, PIK-Report Nr. 46, 108 S.

**List, R., M. Küppers und F. Schröder** (1994): Madeira – ein Programm zur Simulation des Wachstums (Biomasse und Architektur) von Holzgewächsen. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, 23, 23. Jahrestagung der Gesellschaft für Ökologie, Innsbruck, 6.-9.9.1993, S. 39-48.

**Mandelbrot, B.** (1982): The Fractal Geometry of Nature. W. H. Freeman, New York.

**Matsumura, N.** (1988): Entwicklung und Anwendungsmöglichkeiten eines einzelbaumorientierten Simulationsmodells für Douglasie. Dissertation am Forstwissenschaftlichen Fachbereich der Universität Göttingen. 96 S.

**Matzner, E.** (1990): Die Versuchsbestände im Solling. In: Exkursionsführer Solling. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B Bd. 17, Göttingen, S. 1-4.

**Middelhoff, U. und B. Breckling** (1998): Nutrient Uptake and Growth of an *Alnus glutinosa* Stand: An Individual Based Model on the Interaction of Plant and Soil. In: Individual-based Structural and Functional Models in Ecology. Bayreuther Forum Ökologie, Bd. 52, S. 189-203.

**Monserud, R. A. und H. Sterba** (1995): PROGNAUS ein Einzelbaumsimulator für ungleichaltrige Mischbestände in Österreich. Abschlußbericht zum Forschungsprojekt: Bestimmung der Parameter des Waldwachstumssimulators PROGNOISIS für Österreichische Baumarten.

**Nagel, J.** (1995): BWERT: Programm zur Bestandesbewertung und zur Prognose der Bestandesentwicklung. Deutscher Verband Forstlicher Versuchsanstalten – Sektion Ertragskunde Jahrestagung Joachimstal.

**Nagel, J.** (1997): BWIN: Programm zur Bestandesanalyse und Prognose. Handbuch Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalten Abteilung A. 41 S.

**Niedersächsisches Forstplanungsamt** (1992): Niedersächsisches Programm zur langfristigen ökologischen Waldentwicklung in den Landesforsten. Hrsg: Niedersächsische Landesregierung, Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Abteilung 4.

**Otto, H.-J.** (1994): Waldökologie. Ulmer, Stuttgart.

**Perttunen, J., R. Sievänen, E. Nikinmaa, H. Salminen, H. Saarenmaa und J. Väkevä** (1996): LIGNUM: A Tree Model Based on Simple Structural Units. Annals of Botany, 77, S. 87-98.

**Pfreundt, J.** (1988): Modellierung der räumlichen Verteilung von Strahlung, Photosynthesekapazität und Produktion in einem Fichtenbestand und ihrer Beziehung zur

Bestandesstruktur. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen, Reihe A, Bd. 39, 163 S.

**Pfreundt, J.** und **B. Sloboda** (1996): The Relation of Local Structure to Photosynthetic Capacity in a Spruce Stand: a Model Calculation. *Lesnictví-Forestry*, 42 (4), S. 149-160.

**Pretzsch, H.** (1993): Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen – Versuche mit dem Strukturgenerator STRUGEN. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Bd. 114, Frankfurt a. Main.

**Pretzsch, H., J. Durský** und **P. Biber** (1999a): Kriterienliste für den Einzelbaumsimulator SILVA 2.2. Arbeitspapier am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München. 24 S.

**Pretzsch, H., E. Seifert, T. Seifert, P. Biber, A. Pommerening** und **J. Durský** (1999b): SILVA 2.2 – Benutzerhandbuch. Vorläufige Version vom 27.09.1999. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München. 156 S.

**Prusinkiewicz, P., M. Hammel, J. Hanan** und **R. Mech** (1996): L-systems: from the Theory to Visual Models of Plants. In: MICHALEWICZ, M.T.: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> CSIRO Symposium on Computational Challenges in Life Science, Brisbane

**Reffye, P. de** und **F. Blaise** (1993): Modélisation de l'architecture des Arbres. Applications Forestières et Paysagères. *Revue Forestière Française*, 45, S.128-136.

**Reffye, P. de, F. Blaise** und **Y Guédon F** (1993): Modélisation et Simulation de l'architecture et de la Croissance des Plantes. *Revue du Palais de la Découverte*, 209 (Juni 1993), S. 23-48.

**Reffye, P. de, F. Houllier, F. Blaise, D. Barthélémy, J. Dauzat** und **D. Auclair** (1995): A Model Simulating Above- and Below-ground Architecture with Agroforestry Applications. *Agroforestry Systems*, 30, S. 175-197.

**Reineke, L.H.** (1933): Perfecting a Stand-density Index for Even-aged Forests. *Journal of Agricultural Research*, Washington D.C., Vol. 46, No. 7.

**Saborowski, J.** (1990): Schätzung von Varianzen und Konfidenzintervallen aus mehrstufigen Stichproben: am Beispiel von Luftbildwaldschadensinventuren. Sauerländer, Frankfurt a. M., 135 S.

**Schade, J.** (1980): Ein mehrphasiges Stichprobensystem fuer forstliche Großrauminventuren, gestützt auf Landsat MSS Daten, Luftbilder 1:50 000 und ergänzende terrestrische Messungen. Dissertation an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg. 130 S.

**Schober, R.** (1995): Ertragstabeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. 4. Aufl., Sauerländer Verlag Frankfurt a. M., 166 S.

**Schwepe-Kraft, B.** (1998): Monetäre Bewertung von Biotopen und ihre Anwendung bei Eingriffen in Natur und Landschaft. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 314 S.

**Seifert, St.** (1998): Dreidimensionale Visualisierung des Waldwachstums. Diplomarbeit im Fachbereich Informatik der Fachhochschule München, München.

**Sloboda, B.** und **J. Pfreundt** (1989): Tree and Stand Growth – A system Analytical Spatial Model with Consequences for Test Planning for Thinning and Single Tree Development. In: Artificial Intelligence and Growth Models for Forest Management Decisions. Publ. No. FWS-1-89, School of Forestry and Wildlife Resources, Virginia Polytechnical Institute and State University, Blacksburg, S. 119-153.

**Tomppo, E.** (1986): Models and Methods for Analysing Spatial Patterns of Trees. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, Bd. 138, Helsinki (Finnland).

**Ulrich, B.** (1994): Process Hierarchy in Forest Ecosystems – An Integrating Ecosystem Theory. In: HÜTTERMANN, A. und D. GODBOLD (eds.): Effects of Acid Rain on Forest Processes. New York, S. 353-397.

**Wensel, L.C** (1986): CACTOS user's guide : the California Conifer Timber Output Simulator. Agricultural Experiment Station, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Berkeley, 91 S.

**Windhager, M.** (1999): Evaluierung von vier verschiedenen Waldwachstumssimulatoren. Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien, 217 S.

## 9.2 Tabellen

TAB. 3.1:	ÜBERSICHT ÜBER DIE ZEITLICHE UND RÄUMLICHE SKALIERUNG VON PROZESSEN IN WALDÖKOSYSTEMEN (NACH ULRICH, 1994)	20
TAB. 5.1:	GRUNDBAUSTEINE DES VISUALISIERUNGSSYSTEMS AMAP-INTEGRAL (CIRAD, 1996)	52
TAB. 5.2:	ÜBERSICHT ÜBER DIE FÜR VIWA ENTWICKELTEN AML-MAKROS UND IHRE HAUPTAUFGABEN	58
TAB. 6.1:	BESCHATTUNGSPROZENTE DES BESTANDESBOSENS ERMITTELT AUS DEN ABBILDUNGEN 6.9B/D/F UND 6.10B/D/F IM TAGES- UND JAHRESGANG	78
TAB. 10.1:	ÜBERSICHT ÜBER DIE ANZAHL DER ZU VISUALISIERENDEN ELEMENTE, DER DARAUS RESULTIERENDEN POLYGONS SOWIE DER BENÖTIGTEN ZEIT FÜR DAS <i>RENDERING</i> VON BUCHEN UND FICHTEN VERSCHIEDENER ALTERSKLASSEN, EINER MIT GROGRA (KURTH, 1994B, 1998) AUS MEßDATEN REKONSTRUIERTEN FICHTE SOWIE DES MIT AUTOCAD KONSTRUIERTEN TURMES (SIEHE ABBILDUNG 3.12)	126
TAB. 10.2:	ÜBERSICHT ÜBER DIE ANZAHL DER OBJEKTE IN VERSCHIEDENEN SZENEN, DIE DARAUS RESULTIERENDE ANZAHL VON POLYGONS SOWIE DIE FÜR DAS <i>RENDERING</i> BENÖTIGTE ZEIT	127

### **9.3      Abbildungen**

ABB. 2.1:	DIE STRUKTUR DES WALDES LÄßT SICH UNTER VERSCHIEDENEN ASPEKTEN UND MIT VERSCHIEDENEN MAßEN QUANTIFIZIEREN (SIEHE DAZU OTTO, 1994; FÜLDNER, 1995; GADOW, 1999).	3
ABB. 2.2:	ÜBERSICHTSKARTE DES ERLEBNISWALD-AUSSTELLUNGSGELÄNDES IM SOLLING (QUELLE: ERLEBNISWALD, 1999)	6
ABB. 3.1:	EINE MÖGLICHE SCHEMATISCHE GLIEDERUNG DER METHODEN ZUR MODELLIERUNG DES WALDWACHSTUMS	11
ABB. 3.2:	DARSTELLUNG DES LICHTKEGELMODELLS ZUR ERMITTLUNG DER LOKALEN BESCHATTUNGSSITUATION EINES PUNKTES DER KRONENMANTELFLÄCHE (PFREUNDT UND SLOBODA, 1996, NACH PFREUNDT, 1988, SIEHE AUCH KELLOMÄKI ET AL., 1980)	12
ABB. 3.3:	ÜBERSICHT ÜBER DIE HAUPTBESTANDTEILE UND TRANSPORTWEGE DES PROZEßMODELS FORCYTE-11 (AUS KIMMINS, 1993). AUCH EINZELBAUMORIENTIERTE MODELLE MÜSSEN DIESE ELEMENTE UND DEREN BEDEUTUNG FÜR JEDEN EINZELBAUM BERÜCKSICHTIGEN.	14
ABB. 3.4:	BEISPIELE FÜR EINFACHE ZWEIDIMENSIONALE VERZWEIGUNGEN, DIE EIN NICHTSENSITIVES UND EIN SENSITIVES MODELL MIT DEN SELBEN GEOMETRISCHEN REGELN LIEFERN (KURTH, 1994B, 1998 SOWIE KURTH UND SLOBODA, 1999A/B)	15
ABB. 3.5:	„SNAPSHOT“ VON TRAGIC++ MIT DARSTELLUNGEN DES BESTANDES IN FORM VON TABELLEN, KARTEN UND 3D-ANSICHT (QUELLE: BITÖK, 1999)	17
ABB. 3.6A/B:	STAMMFUßKARTEN DER ABTEILUNG 307, FLÄCHE B2 ERZEUGT DURCH DIGITALISIERUNG AUS EINEM LUFTBILD (3.6A, SIEHE AUCH ABBILDUNG 6.4) UND DURCH GENERIERUNG EINER POISSON-VERTEILUNG MIT BEKANNTER STAMMZAHL (3.6B). DIE AUS DER FORSTEINRICHTUNG BEKANNTE STAMMZAHL WIRD BEI DER DIGITALISIERUNG OFFENBAR UNTERSCHÄTZT.	23
ABB. 3.7:	SCHEMATISCHE ÜBERSICHT ÜBER DIE METHODEN DER GENERIERUNG VON EINZELBAUMSTRUKTUREN	24
ABB. 3.8:	BILD EINER WALDLANDSCHAFT MIT REGELMÄßIG (GEPFLANZTE BESTÄNDE) BZW. ZUFÄLLIG (AUS NATURVERJÜNGUNG HERVORGEANGENE BESTÄNDE) VERTEILTEN BAUMPOSITIONEN	26

ABB. 3.9:	BEISPIELFÄLLE FÜR DIE ANALYSE VON STAMMVERTEILUNGEN MIT DEM HOPKINS-TEST (NACH TOMPPÖ, 1986)	27
ABB. 3.10:	DARSTELLUNG VON STILISIERTEN BUCHEN UND FICHTEN AUS ZUSAMMENGESETZTEN KÖRPERN UND DEREN VERWENDUNG BEI DER VISUALISIERUNG EINES FICHTEN-BUCHEN-BESTANDES DURCH TREEVIEW (QUELLE: SEIFERT, 1998)	35
ABB. 3.11A-C:	GRAPHISCHE DARSTELLUNG EINER MIT AMAP (CIRAD, 1996; REFFYE UND BLAISE 1993) ERZEUGTEN 40-JÄHRIGEN FICHTE (ABB. 3.11A RECHTS SOWIE 3.11C) UND EINER MIT GROGRA (KURTH, 1994B, 1998) ERZEUGTEN 120-JÄHRIGEN FICHTE (ABB. 3.11A LINKS SOWIE 3.11B). VISUALISIERUNG IN BEIDEN FÄLLEN MIT AMAP-LANDSCAPE.	37
ABB. 3.12:	DARSTELLUNG DES KLIMATURMES DES ERLEBNISWALDES ALS BEISPIEL FÜR DIE INTEGRATION TECHNISCHER OBJEKTE BEI DER VISUALISIERUNG VON WALDLANDSCHAFTEN	38
ABB. 5.1:	MODULARE STRUKTUR DES VISUALISIERUNGSSYSTEMS VIWA	47
ABB. 5.2:	STRUKTURSHEMA DER SOFTWARE-INTEGRATION IM KONZEPT VIWA	48
ABB. 5.3:	„SNAPSHOT“ VON AMAP-GLANCE. NACH DER WAHL DER BAUMART (PINUS SYLVESTRIS), DES ALTERS (4) UND DER <i>SEED-NUMBER</i> (0) ERFOLGT DIE GENERIERUNG DES LINE-TREE-FILES UND EINE ANSCHLIEßENDE VISUALISIERUNG DES GERENDERTEN BAUMES	53
ABB. 5.4:	GEGENÜBERSTELLUNG PARALLELER UND SEQUENTIELLER GENERIERUNG VON BAUMSTRUKTUREN (GLEICHE FARBEN SYMBOLISIEREN EIN GENERIERUNGSINTERVAL)	53
ABB. 5.5:	FÜR JEDE BAUMHÖHE KANN DAS VIRTUELLE HILFSALTER ERMITTELT WERDEN, DAS ALS EINGANGSPARAMETER IN DIE VISUALISIERUNG EINGEHT	55
ABB. 5.6:	ABFRAGEBILDSCHIRM ZUR BESTIMMUNG DES GEBIETSAUSSCHNITTES. DIE VERSCHIEBUNG DER ECKPUNKTE DER FLÄCHE ERFOLGT MIT DER MAUS.	59
ABB. 5.7:	DARSTELLUNG EINES VOM MAKRO <GEBIET_SILVA> ERZEUGTEN SZENENAUSSCHNITTES, WIE SIE DURCH DAS MAKRO <PLOT.AML> ERFOLGT.	60
ABB. 6.1:	STANDORTSTYPEN ENTSPRECHEND DER STANDORTSERKUNDUNG IM UNTERSUCHUNGSGEBIET	67
ABB. 6.2:	HAUPTBAUMARTEN IM UNTERSUCHUNGSGEBIET NACH DEN ANGABEN DER FORSTEINRICHTUNG	68

- ABB. 6.3: DARSTELLUNG EINES LUFTBILDES DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES ALS PROJEKTION AUF DEM DIGITALEN GELÄNDEMDELL DEM (ABBILDUNG ERSTELLT MIT ARC/INFO, LUFTBILD FARBLICH BEARBEITET) 69
- ABB. 6.4: LUFTBILDANSICHT DER FLÄCHE 307B2 AUS DEM JAHR 1998 (FALSCHFARBEN) 70
- ABB. 6.5: VERKLEINERTE KOPIE DER KRONENPROJEKTIONS- UND STAMMFUßKARTE DES ALTBUCHENSCHIRMES IN DER FLÄCHE 310A2 71
- ABB. 6.6: DARSTELLUNG DES ALTBUCHENSCHIRMES IN DER ABTEILUNG 307 NACH DER KRONENPROJEKTIONS- UND STAMMFUßKARTE 72
- ABB. 6.7A/B: DARSTELLUNG EINER WALDLANDSCHAFT (ERLEBNISWALD-GELÄNDE SCHÖNHAGEN) UNTER DER AKTUELLEN BESTANDESWEISEN BEWIRTSCHAFTUNG (6.7A, OBEN) UND DER POTENTIELL NATÜRLICHEN WALDGESELLSCHAFT (6.7B, UNTEN) 74
- ABB. 6.8: DARSTELLUNG DER ENTWICKLUNG EINES CA. 35-JÄHRIGEN BUCHEN-LÄRCHEN-FICHTEN-MISCHBESTANDES IM LAUFE VON 45 JAHREN BEI MÄßIGER DURCHFORSTUNG IM ABSTAND VON 10 JAHREN UND UNTER BERÜCKSICHTIGUNG NATÜRLICHER MORTALITÄT 76
- ABB. 6.9A-F: SIMULATION VON LICHT UND BESCHATTUNG AM RAND EINES BUCHENSCHIRMES ZU VERSCHIEDENEN TAGESZEITEN (BESTANDESANSICHT UND SCHATTENPROJEKTION): TERMIN: 1. APRIL, 09.00 UHR (6.9A/B), 12.00 UHR (6.9C/D), 17.00 UHR (6.9E/F), 79
- ABB. 6.10A-F: SIMULATION VON LICHT UND BESCHATTUNG AM RAND EINES BUCHENSCHIRMES ZU VERSCHIEDENEN JAHRESZEITEN (BESTANDESANSICHT UND SCHATTENPROJEKTION): TERMINE: 1.APRIL (6.10A/B), 1.MAI (6.10C/D), 1.OKTOBER (6.10E/F), 12.00 UHR (APRIL WINTERZEIT, MAI/OKTOBER SOMMERZEIT) 80
- ABB. 6.11: DARSTELLUNG DER BEGINNENDEN SUKZESSION AM BESTANDESRAND AUF EINER NUR TEILWEISE GEMÄHTEN WIESE DES ERLEBNISWALD-GELÄNDES (GEGENWÄRTIGER ZUSTAND, HINTERGRUND: FOTO, VORDERGRUND: MODELLIERUNG) 81
- ABB. 6.12: DARSTELLUNG DER FORTGESCHRITTENEN SUKZESSION AM BESTANDESRAND AUF EINER NUR TEILWEISE GEMÄHTEN WIESE DES ERLEBNISWALD-GELÄNDES (HYPOTHETISCHER ZUSTAND NACH 10 JAHREN, HINTERGRUND: FOTO, VORDERGRUND: MODELLIERUNG) 82





## 10 Anhang

### 10.1 Arc/Info-AML-Makros

#### <arc.aml>

```

&TERMINAL 9999
&LABEL ABFRAGE
&MESSAGES &POPUP
&TYPE 'Wollen Sie das Gebiet neu bestimmen? (1)'
&TYPE 'Wollen Sie sich das Gebiet auf dem Bildschirm ansehen? (2)'
&TYPE 'Wollen Sie das Ergebnis exportieren? (3)'
&TYPE 'Wollen Sie das Programm beenden? (4)'

&S frage = [response 'Bitte wählen sie 1, 2, 3 oder 4' 4]
&MESSAGES &ON
&IF %frage% = 1 &THEN &GOTO GEBIET
&IF %frage% = 2 &THEN &GOTO PLOT
&IF %frage% = 3 &THEN &GOTO AUSGABE
&IF %frage% = 4 &THEN &GOTO END
&GOTO ABFRAGE

/*****
/* Berechnung der Einzelbaumdaten
*****/
&LABEL GEBIET

w /usr/users/fknauft/expo/arc
&MESSAGES &POPUP
&TYPE 'Wollen Sie sich die Bestandesstruktur von Arc/Info erstellen lassen? (1)'
&TYPE 'Oder bevorzugen Sie die Bestandesstruktur aus Silva? (2)'
&S frage = [response 'Bitte wählen sie 1 oder 2!' 2]
&MESSAGES &ON
&IF %frage% = 1 &THEN &GOTO GEBIET_ARC
&IF %frage% = 2 &THEN &GOTO GEBIET_SILVA
&GOTO GEBIET

&LABEL GEBIET_ARC
/* incl. pflanzung.aml und/oder naturverj.aml
&r gebiet_arc
&GOTO ABFRAGE

&LABEL GEBIET_SILVA
&r gebiet_silva
&GOTO ABFRAGE

/*****
/* Zeichnen des Ergebnisses
*****/
&LABEL PLOT
w /usr/users/fknauft/expo/arc
&r plot
&GOTO ABFRAGE

/*****
/* Ausgabe in makescene-lesbarer Form
*****/
&LABEL AUSGABE
w /usr/users/fknauft/expo/arc
&r ausgabe
&GOTO ABFRAGE

/*****
*****/
&LABEL END

```

**<gebiet\_arc.aml>**

```

/* Diese AML erstellt zufaellige und regelmaessige
/* Baumpositionen aus dem Dichte-Wert (n/ha) der
/* Forsteinrichtungstabelle NEU268T2
/* fuer Teil-Flaechen des Covers FEI5 (FEI5CLIP)
/*****

&S rec_num = 1
/*&S last_rec = 85
&S maxzeile = 2
w /usr/users/fknauft/expo/amapclip/
display 9999 POSITION UL

/*****
/* Ermittlung des Gebietsausschnittes
/*****
kill fei5clip all
arcedit
MAPEXTENT /usr/users/fknauft/expo/dgmlkm/dgmlkm
EDIT scenebnd arc
/*IMAGE /usr/users/fknauft/bilder/luftlkmr2.tif
DRAW
ARCSPLOT arcs /usr/users/fknauft/expo/forst/fei5
COORDINATE MOUSE
SEL ALL
VERTEX DRAW
VERTEX MOVE
q
y
y

display 1040
clean scenebnd scenebnd 5 5 poly
build scenebnd line
clip /usr/users/fknauft/expo/forst/fei5 scenebnd fei5clip poly
clean fei5clip fei5clip 5 5 poly
build fei5clip line

/*****
/* Ermittlung der maximalen Anzahl von Polygons
/*****
ae
edit fei5clip poly
sel all
&S last_rec = [show number selected]
q
y
y

/*****
/* Entleerung des Ausgabe-Covers pointcov
/*****
ae
edit pointcov point
sel all
&IF [show number selected] > 0 &THEN delete
q
y
y

&IF [ITEMINFO pointcov -point num -exists] = .TRUE. &THEN ~
dropitem pointcov.pat pointcov.pat
NUM
Z
END

/*****
/* Zähler von <rec_num + 1> bis <last_rec>

```

```

/*****
&LABEL ANFANG
&S rec_num = %rec_num% + 1

/*****
/* Entleerung des Hilfs-Covers flaeche
/*****
dropfeatures flaeche poly geometry
build flaeche poly
tables
sel flaeche.pat
alter FLAECHE-ID FLAECHE-ID, 12, , ,
q

/*****
/* Auswahl des Polygon rec_num aus FEI5CLIP
/* und Kopie nach FLAECHE
/*****
arccedit
EDIT fei5clip poly
SEL FEI5CLIP# = %rec_num%
put flaeche
y

/*****
/* Bau der Polygonstruktur
/*****
EDIT flaeche poly
build
additem NUMZ 9 9 I

/*****
/* Erfassung der Flaeche-ID und der Flaeche
/* in Hektar
/*****
sel all
cursor open
&S flaeche_id = %:edit.FLAECHE-ID%
&S ha = %:edit.AREA% / 10000
&type '*****'
&type '* Die Flaeche-ID ist: ' %flaeche_id% ' .'
&type '* Die Flaeche ist ' %ha% 'ha gross.'
&type '*****'
cursor close

/*****
/* Einlesen der Baumarten-Parameter für
/* maximal <maxzeile> Baumarten (Zeilen) je Flaeche
/*****
&S zeile = 0
&LABEL START_S2
&IF %zeile% = %maxzeile% &THEN &GOTO END_S2
&S zeile = %zeile% + 1

edit ../forst/neu268t2 info
sel all
&S flaeche_zeile_id = %flaeche_id% * 100 + %zeile%
resel numz = %flaeche_zeile_id%
&S num_sel_numz = [show number selected]
&IF %num_sel_numz% = 0 &THEN &GOTO START_S2

/*****
/* Ermittlung der Stammzahl und des Baumabstandes
/*****
cursor open
&S n_ha = %:edit.N_HA%
&S bart = %:edit.BART%
&S entsteh = %:edit.ENTSTEH%
&S alter = %:edit.ALTER%
&type '*****'
&type '* Die Stammzahl pro Hektar ist für *'
&type '* die ' %zeile% '. Baumart (' %bart% '): ' %n_ha% ' . *'
&type '* Der Bestand ist ' %alter% ' Jahre alt *'
&type '* und von der Begründungsform ' %entsteh% ' . *'
&type '*****'
cursor close

&IF %n_ha% < 5 &THEN &GOTO START_S2

```

```

&S baum_abst = ( 10000 / %n_ha% ) ** 0.5
&S stamm_anzahl = %ha% * %n_ha%
q
y
y

/*****
/* Wahl zwischen Zufalls- und regelmaessiger
/* Verteilung
/*****
w /usr/users/fknauft/expo/arc
&IF %entsteh% = 1 &THEN &GOTO PFLANZUNG

/*
/*****
/* Positionserstellung für Naturverjuengung
/*****
/*-----

/*****
/* Erstellung des Covers fl_point mit Punkten
/* im lm-Raster
/*****
w /usr/users/fknauft/expo/amapclip
grid
fl_grid = polygrid ( flaeche, #, #, #, 1 )
pntcov = gridpoint ( fl_grid, NUMZ )
q
build pntcov point
clip pntcov flaeche fl_point point
build fl_point point

/*****
/* Ermittlung der Anzahl der zu eliminierenden
/* Punkte im Cover fl_point
/*****
ae
edit fl_point point
sel all
resel fl_point-id > 0
&S num_del_points = ( [show number selected] - %stamm_anzahl% )
q
y
y

/*****
/* Zufalls-Auswahl der überzähligen Punkte
/* und Zuweisung von NUMZ = 0
/*****
ap
reselect fl_point point RANDOM %num_del_points%
calculate fl_point point NUMZ = 0
q

/*****
/* Eliminierung der überzähligen Punkte
/*****
ae
edit fl_point point
sel all
resel NUMZ = 0
delete
q
y
y

&GOTO WERTZUWEISUNG

/*
/*****
/* Positionserstellung für Pflanzungen
/*****
/*-----
&LABEL PFLANZUNG
w /usr/users/fknauft/expo/amapclip
grid
fl_grid = polygrid ( flaeche, #, #, #, %baum_abst% )
pntcov = gridpoint ( fl_grid, NUMZ )

```

```

q
build pntcov point
clip pntcov flaeche fl_point point
build fl_point point

/*****
/* Zuweisung der Baum-Parameter
/*****
&LABEL WERTZUWEISUNG
/*****
/* Bau der Cover-Struktur von fl_point
/*****
dropitem fl_point.pat fl_point.pat NUMZ
additem fl_point.pat fl_point.pat NUMZL 12 12 I
additem fl_point.pat fl_point.pat NUMZ 9 9 I
additem fl_point.pat fl_point.pat BART 3 6 I
additem fl_point.pat fl_point.pat ENTSTEH 2 2 I
additem fl_point.pat fl_point.pat ALTER 3 6 I
build fl_point point

/*****
/* Zuweisung des richtigen Wertes zu NUMZ
/*****
ae
edit fl_point point
sel all
&S num_sel_points = [show number selected]
&IF %num_sel_points% > 0 &THEN
calc NUMZ = %flaeche_zeile_id%
calc BART = %bart%
calc ENTSTEH = %entsteh%
calc ALTER = %alter%
q
y
y

w /usr/users/fknauft/expo/amapclip
/*****
/* Anhaengen von fl_point an pointcov und Löschen
/* unnoetiger Cover
/*****
append p_cov point all
pointcov
fl_point
end
build p_cov point
kill pointcov all
copy p_cov pointcov
build pointcov point
kill p_cov all
kill fl_point all
kill pntcov all
kill fl_grid all

ae
&IF %zeile% < 15 &THEN &GOTO START_S2
&LABEL END_S2
q
y
y

&TYPE '*****'
&TYPE '*
&TYPE '* %rec_num% '*
&TYPE '*
&TYPE '*****'
&IF ^ %rec_num% > %last_rec% &THEN &GOTO ANFANG

/*****
/* Ermittlung von NUM und Z aus NUMZ
/*****
additem pointcov.pat pointcov.pat NUM 9 9 I
additem pointcov.pat pointcov.pat Z 2 2 I

ae
edit pointcov point
sel all

```

```

calc NUMZL = NUMZ
calc NUM = NUMZL / 100
calc Z = NUMZL - NUM * 100

q
y
y

kill ausgabeflaeche all
copy pointcov ausgabeflaeche
w /usr/users/fknauft/expo/arc

```

## <gebiet\_silva.aml>

```

/*****
/* Diese AML erstellt die Baumpositionen aus den
/* entsprechend der Forsteinrichtungstabelle
/* NEU268T2 in Silva berechneten Bezugsflächen
/* fuer Teil-Flaechen des Covers FEI5 (FEI5CLIP)
*****/

&S rec_num = 1

&S maxzeile = 2
w /usr/users/fknauft/expo/amapclip/
display 9999 POSITION UL

/*****
/* Ermittlung des Gebietsausschnittes
*****/
kill fei5clip all
arcedit
MAPEXTENT /usr/users/fknauft/expo/dgmlkm/dgmlkm
EDIT scenebnd arc
/*IMAGE /usr/users/fknauft/bilder/luft1kmr2.tif
DRAW
ARCPLLOT arcs /usr/users/fknauft/expo/forst/fei5
COORDINATE MOUSE
SEL ALL
VERTEX DRAW
VERTEX MOVE
q
y
y

display 1040
clean scenebnd scenebnd 5 5 poly
build scenebnd line
clip /usr/users/fknauft/expo/forst/fei5 scenebnd fei5clip poly
clean fei5clip fei5clip 5 5 poly
build fei5clip line

/*****
/* Abfrage von Periode und Version des Szenarios
*****/
&TERMINAL 9999
&LABEL ABFRAGE
ls /usr/users/fknauft/expo/silvdaten/
&MESSAGES &POPUP
&TYPE 'Bitte bestimmen Sie die Periode und die Version des Szenarios!'
&S periode_akt = [response 'Bitte wählen Sie die Periode: ' ]
&S szenario = [response 'Bitte wählen Sie das Szenario: ' ]
&MESSAGES &ON

/*****
/* Ermittlung der maximalen Anzahl von Polygons
*****/
ae
edit fei5clip poly
sel all
&S last_rec = [show number selected]
q
y
y

```

```

/*****
/* Entleerung des Ausgabe-Covers ausflaeche
/*****
ae

edit ausflaeche point
sel all
&IF [show number selected] > 0 &THEN delete
edit silvaflaeche point
sel all
&IF [show number selected] > 0 &THEN delete

q
y
y

/*****
/* Zähler von <rec_num + 1> bis <last_rec>
/*****
&LABEL ANFANG
&S rec_num = %rec_num% + 1

&TYPE '*****'
&TYPE '*'
&TYPE '*'
&TYPE '*'
&TYPE '*'
&TYPE '*'

/*****
/* Entleerung des Hilfs-Covers flaeche
/*****
dropfeatures flaeche poly geometry
build flaeche poly
tables
sel flaeche.pat
alter FLAECHE-ID FLAECHE-ID, 12, , ,
q

/*****
/* Auswahl des Polygon rec_num aus FEI5CLIP
/* und Kopie nach FLAECHE
/*****
arccedit
EDIT fei5clip poly
SEL FEI5CLIP# = %rec_num%
&S num_sel_rec = [show number selected]

&IF %num_sel_rec% = 0 &THEN
&DO
q
y
y
&GOTO ENDE
&END

cursor open
&S numneu = %:edit.NUMMER%
cursor close
put flaeche
y

/*****
/* Bau der Polygonstruktur
/*****
EDIT flaeche poly
build
additem NUMZ 9 9 I

/*****
/* Erfassung der Flaeche-ID und der Flaeche
/* in Hektar
/*****
sel all
cursor open
&S flaeche_id = %:edit.FLAECHE-ID%

```

```

&S ha = %:edit.AREA% / 10000
&type '*****'
&type '* Die Flaeche-ID ist: ' %flaeche_id% '.'
&type '* Die Flaeche ist ' %ha% 'ha gross.'
&type '*****'
cursor close

&TYPE ' STELLE 1'
&IF ^ [EXISTS
/USR/USERS/FKNAUFT/EXPO/SILVADATEN/%szenario%/ewexpo2000_%flaeche_id%_1_1_1.SLV.COR -FILE]
&THEN
&DO
q
Y
Y
&GOTO ANFANG
&END

&ELSE
&TYPE ' STELLE 2'
&IF ^ [EXISTS
/USR/USERS/FKNAUFT/EXPO/SILVADATEN/%szenario%/ewexpo2000_%flaeche_id%_1_1_1.LST.COR -FILE]
&THEN
&DO
q
Y
Y
&GOTO ANFANG
&END

/*****
/* Ermittlung der Kantenlaenge einer Gridzelle
/*****

&ELSE
&TYPE ' STELLE 3'
&IF ^ [EXISTS /USR/USERS/FKNAUFT/EXPO/SILVADATEN/%szenario%/expo.gre.cor -FILE] &THEN
&DO
&S gridkante = 50
&GOTO EINFUEGEN
&END

&ELSE
&IF [EXISTS gridgrenze.dat -INFO] &THEN
&DO
kill gridgrenze.dat info
Y
&END

create gridgrenze.dat info gridgrenze.templ
q
Y
Y

tables
SEL gridgrenze.DAT
ADD projekt numneu st_typ x-kante y-kante FROM
/USR/USERS/FKNAUFT/EXPO/SILVADATEN/%szenario%/expo.gre.cor
q

ae
edit gridgrenze.dat info
sel all
res numneu = %flaeche_id%
cursor open
&S gridkante = %:edit.X-KANTE%
cursor close

&LABEL EINFUEGEN
/*****
/* Ab hier erfolgt das Einfügen der Silvabaeume
/* in die Teilflaeche
/*****

/*****
/* Ermittlung der Anzahl der notwendigen Silva-Grids
/*****
&DESCRIBE flaeche

```



```

&S flaeche_xmin = %DSC$XMIN%
&S flaeche_xmax = %DSC$XMAX%
&S flaeche_ymin = %DSC$YMIN%
&S flaeche_ymax = %DSC$YMAX%
&S num_silvagrids_x = ( %flaeche_xmax% - %flaeche_xmin% ) / %gridkante%
&S num_silvagrids_y = ( %flaeche_ymax% - %flaeche_ymin% ) / %gridkante%
&S num_silvagrids_x_round = [round %num_silvagrids_x%]
&IF ( %num_silvagrids_x_round% - %num_silvagrids_x% ) < 0 &THEN ~
&S num_silvagrids_x_round = %num_silvagrids_x_round% + 1
&S num_silvagrids_y_round = [round %num_silvagrids_y%]
&IF ( %num_silvagrids_y_round% - %num_silvagrids_y% ) < 0 &THEN ~
&S num_silvagrids_y_round = %num_silvagrids_y_round% + 1

/*****
/* Anlage der Info-Datei der Baum-Daten
/*****
&IF [EXISTS baeume1.dat -INFO] &THEN
&DO
kill baeume1.dat info
Y
&END
&IF [EXISTS baeume2.dat -INFO] &THEN
&DO
kill baeume2.dat info
Y
&END
&IF [EXISTS baeume3.dat -INFO] &THEN
&DO
kill baeume3.dat info
Y
&END
create baeume1.dat info baeume1.templ
create baeume2.dat info baeume2.templ

q
Y
Y

/*****
/* Einlesen der Baum-Daten in die Info-Datei
/*****
tables
SEL BAEUME1.DAT
ADD SILVAGRID-ID FROM
/USR/USERS/FKNAUFT/EXPO/SILVADATEN/%szenario%/ewexpo2000_%flaeche_id%_1_1_1.SLV.COR

SEL BAEUME2.DAT
ADD PERIODE SILVAGRID-ID ART BHD HOEHE KRA KD X-COORD Y-COORD FROM
/USR/USERS/FKNAUFT/EXPO/SILVADATEN/%szenario%/ewexpo2000_%flaeche_id%_1_1_1.LST.COR

sel BAEUME1.DAT
copy BAEUME2.DAT BAEUME3.DAT

sel BAEUME2.DAT
res periode = %periode_akt%
&S num_sel = [show number select]
&TYPE '*****
&TYPE '* Die Anzahl der aktiven Baeume ist: ' %num_sel%
&TYPE '*****

&IF %num_sel% = 0 &THEN
&DO
q
&TYPE 'Die Periode ' %periode_akt% ' ist nicht verfügbar!'
&GOTO ABFRAGE
&END
&ELSE
sel BAEUME3.DAT
res periode ne %periode_akt%
purge
Y
commit
sel BAEUME3.DAT
res x-coord > %gridkante% or y-coord > %gridkante%
purge
Y

```

```

commit
q

joinitem BAEUME1.DAT BAEUME3.DAT BAEUME1.DAT SILVAGRID-ID SILVAGRID-ID

tables
additem baeumel.dat silva-id 6 6 I
sel baeumel.dat
res art = 0
purge
y
commit

sel baeumel.dat
calc x-coord = x-coord + %flaeche_xmin%
calc y-coord = y-coord + %flaeche_ymin%
calc silva-id = silvagrid-id
sel flaeche.pat
kill baeume.bak

copy baeumel.dat baeume.bak
q

&TYPE '*****'
&TYPE '*****'
&TYPE '**
&TYPE '** num_silvagrids_x_round: ' %num_silvagrids_x_round%
&TYPE '** num_silvagrids_y_round: ' %num_silvagrids_y_round%
&TYPE '** Grid-Kanten-Laenge: ' %gridkante%
&TYPE '**
&TYPE '*****'
&TYPE '*****'

&DO j = 1 &TO %num_silvagrids_y_round% &BY 1
&DO i = 1 &TO %num_silvagrids_x_round% &BY 1
/*****
/* Berechnung der Baumkoordinaten in der
/* aktuellen Zelle
/*****

&TYPE '*****'
&TYPE '* X-Wert: ' %i%
&TYPE '* Y-Wert: ' %j%
&TYPE '*****'

rm baumcoord.dat

tables
kill baeumel.dat
copy baeume.bak baeumel.dat
sel baeumel.dat
calc x-coord = x-coord + ( %gridkante% * ( %i% - 1 ) )
unload baumcoord.dat silvagrid-id x-coord y-coord DELIMITED INIT
q
&TYPE 'Alles klar'
&s file_unit = [open baumcoord.dat openstatus -append]
&IF [write %file_unit% 'end'] = 0 &THEN &TYPE 'OK'
&IF [close %file_unit%] = 0 &THEN &TYPE 'OK'
/*****
/* Anlage des Punkt-Covers für die Grid-Zelle
/*****
kill silvagrid all
GENERATE silvagrid
INPUT baumcoord.dat
POINTS
quit

build silvagrid points

joinitem silvagrid.pat baeumel.dat silvagrid.pat silvagrid-id silvagrid-id LINEAR

/*****
/* Anhaengen von silvagrid an silvaflaeche und
/* Loeschen unnoetiger Cover
/*****

append s_fl point all

```

```

silvaflaeche
silvagrid
end
build s_fl point
kill silvaflaeche all
copy s_fl silvaflaeche
build silvaflaeche point
kill s_fl all
tables
sel silvaflaeche.pat
&S k = [show number select]
&TYPE '+++++'
&TYPE '+ Anzahl der Baeume jetzt: ' %k%
&TYPE '+++++'
q
&END
tables
sel baeume.bak
calc y-coord = y-coord + %gridkante%
q

&END

/*****
/* Ende der Baumerzeugung
*****/

/*****
/* Clip von silvaflaeche mit flaeche
*****/
tables
sel silvaflaeche.pat
&S k = [show number select]
&TYPE '+++++'
&TYPE '+ Anzahl der Baeume jetzt: ' %k%
&TYPE '+++++'
q

kill silvaclip all
clip silvaflaeche flaeche silvaclip POINT
build silvaclip point
tables
sel silvaclip.pat
&S k = [show number select]
&TYPE '+++++'
&TYPE '+ Anzahl der Baeume jetzt: ' %k%
&TYPE '+++++'
q
kill silvaflaeche all
copy silvaclip silvaflaeche
build silvaflaeche point

/*****
/* Anhaengen von silvaflaeche an ausflaeche und
/* Loeschen unnoetiger Cover
*****/
append a_fl point all
ausflaeche
silvaflaeche
end
build a_fl point
kill ausflaeche all
copy a_fl ausflaeche
build ausflaeche point
kill a_fl all

tables
sel ausflaeche.pat
&S k = [show number select]
&TYPE '+++++'
&TYPE '+ Anzahl der Baeume jetzt: ' %k%
&TYPE '+++++'
&TYPE '+ Anhängen an Ausgabeflaeche erfolgt +'
&TYPE '+++++'
q

&TYPE '*****'

```

```

&TYPE '*'
&TYPE '*' ' %rec_num%' '*'
&TYPE '*'
&TYPE '*' '*****'
&IF ^ %rec_num% > %last_rec% &THEN &GOTO ANFANG

&LABEL ENDE
w /usr/users/fknauft/expo/arc

```

### <plot.aml>

```

w /usr/users/fknauft/expo
ap
/*display 1040 2
/*bu307_2.ps
display 9999
mape arcs amapclip/scenebnd
pageunits cm
mapunits meters
pagesize 21 29.5
box 0.5 0.5 20.5 29
/*mapscale 1000
/*mappos 3538450 5730500 LL
image ../bilder/expoluft_r2.tif COMPOSITE 1 2 3
linesym 2
arcs forst/fei5
linesym 3
arcs amapclip/scenebnd
markerscale 5
markersymbol 22
asel amapclip/ausflaeche POINTS
resel amapclip/ausflaeche POINTS art = 3
points amapclip/ausflaeche
markersymbol 21
asel amapclip/ausflaeche POINTS
resel amapclip/ausflaeche POINTS art = 5
points amapclip/ausflaeche
markersymbol 20
asel amapclip/ausflaeche POINTS
resel amapclip/ausflaeche POINTS art = 3 and hoehe >= 20
points amapclip/ausflaeche
markersymbol 19
asel amapclip/ausflaeche POINTS
resel amapclip/ausflaeche POINTS art = 5 and hoehe >= 20
points amapclip/ausflaeche
markersymbol 18
asel amapclip/ausflaeche POINTS
resel amapclip/ausflaeche POINTS art = 1
points amapclip/ausflaeche
markersymbol 17
asel amapclip/ausflaeche POINTS
resel amapclip/ausflaeche POINTS art = 6
points amapclip/ausflaeche

&TERMINAL 9999
&MESSAGES &POPUP
&LABEL ABFRAGE
&S frage = [response 'Wollen Sie das Fenster schließen (J/N)? ' ]
&IF %frage% lk '*J*' &THEN &GOTO END
&GOTO ABFRAGE

&LABEL END
&MESSAGES &ON
q

```

### <ausgabe.aml>

```

/*****
/*****
/**
/** Ausgabe in newmakescene-lesbarer Form

```

```

/**
/*****
/*****

w /usr/users/fknauft/expo/amapclip

tables
kill pointcov_inf

copy ausflaeche.pat pointcov_inf

additem pointcov_inf bartalt 8 12 I
additem pointcov_inf alter 8 12 I
additem pointcov_inf size 8 12 f 6

sel pointcov_inf
calc x-coord = x-coord - 3538000
calc y-coord = -1 * ( y-coord - 5730012.5 )

/*****
/* Ermittlung des virtuellen Hilfsalters sowie der relativen Groesse
/*****

/*****
/* Larix_b *
/*****
sel pointcov_inf
res art = 3
res hoehe < 3.44
calc alter = 5
calc size = hoehe / 344
sel pointcov_inf
res art = 3
res hoehe >= 3.44 and hoehe < 6.91
calc alter = 10
calc size = hoehe / 691
sel pointcov_inf
res art = 3
res hoehe >= 6.91 and hoehe < 10.39
calc alter = 15
calc size = hoehe / 1039
sel pointcov_inf
res art = 3
res hoehe >= 10.30 and hoehe < 13.86
calc alter = 20
calc size = hoehe / 1386
sel pointcov_inf
res art = 3
res hoehe >= 13.86 and hoehe < 16.69
calc alter = 25
calc size = hoehe / 1669
sel pointcov_inf
res art = 3
res hoehe >= 16.69 and hoehe < 18.55
calc alter = 30
calc size = hoehe / 1855
sel pointcov_inf
res art = 3
res hoehe >= 18.55 and hoehe < 19.91
calc alter = 35
calc size = hoehe / 1991
sel pointcov_inf
res art = 3
res hoehe >= 19.91
calc alter = 40
calc size = hoehe / 2121

/*****
/* Picea_b *
/*****
sel pointcov_inf
res art = 1
res hoehe < 2.66
calc alter = 5
calc size = hoehe / 266

```

```
sel pointcov_inf
res art = 1
res hoehe >= 2.66 and hoehe < 5.22
calc alter = 10
calc size = hoehe / 522
sel pointcov_inf
res art = 1
res hoehe >= 5.22 and hoehe < 7.78
calc alter = 15
calc size = hoehe / 778
sel pointcov_inf
res art = 1
res hoehe >= 7.78 and hoehe < 10.35
calc alter = 20
calc size = hoehe / 1035
sel pointcov_inf
res art = 1
res hoehe >= 10.35 and hoehe < 12.91
calc alter = 25
calc size = hoehe / 1291
sel pointcov_inf
res art = 1
res hoehe >= 12.91 and hoehe < 15.47
calc alter = 30
calc size = hoehe / 1547
sel pointcov_inf
res art = 1
res hoehe >= 15.47 and hoehe < 18.03
calc alter = 35
calc size = hoehe / 1803
sel pointcov_inf
res art = 1
res hoehe >= 18.03
calc alter = 40
calc size = hoehe / 2060
```

```
/* Quercus_palustris */
sel pointcov_inf
res art = 6
res hoehe < 13.93
calc alter = 25
calc size = hoehe / 1167
sel pointcov_inf
res art = 6
res hoehe >= 13.93 and hoehe < 15.67
calc alter = 30
calc size = hoehe / 1393
sel pointcov_inf
res art = 6
res hoehe >= 15.67 and hoehe < 16.97
calc alter = 35
calc size = hoehe / 1567
sel pointcov_inf
res art = 6
res hoehe >= 16.97 and hoehe < 17.90
calc alter = 40
calc size = hoehe / 1697
sel pointcov_inf
res art = 6
res hoehe >= 17.90 and hoehe < 18.50
calc alter = 45
calc size = hoehe / 1790
sel pointcov_inf
res art = 6
res hoehe >= 18.50
calc alter = 50
calc size = hoehe / 1850
```

```
/* Fagus_a/b */
sel pointcov_inf
res art = 5
res hoehe < 2.30
```

```

calc alter = 5
calc size = hoehe / 230
sel pointcov_inf
res art = 5
res hoehe >= 2.30 and hoehe < 4.95
calc alter = 10
calc size = hoehe / 495
sel pointcov_inf
res art = 5
res hoehe >= 4.95 and hoehe < 7.53
calc alter = 15
calc size = hoehe / 753
sel pointcov_inf
res art = 5
res hoehe >= 7.53 and hoehe < 10.16
calc alter = 20
calc size = hoehe / 1016
sel pointcov_inf
res art = 5
res hoehe >= 10.16 and hoehe < 12.41
calc alter = 25
calc size = hoehe / 1241
sel pointcov_inf
res art = 5
res hoehe >= 12.41 and hoehe < 14.13
calc alter = 30
calc size = hoehe / 1413
sel pointcov_inf
res art = 5
res hoehe >= 14.13 and hoehe < 15.10
calc alter = 35
calc size = hoehe / 1510
sel pointcov_inf
res art = 5
res hoehe >= 15.10
calc alter = 40
calc size = hoehe / 1564

sel pointcov_inf
calc bartalt = ( art * 1000 ) + alter

&TERMINAL 9999
&MESSAGES &POPUP
/*&S scene = [response 'Name der Ausgabe-Datei ohne Anhang' ]
&MESSAGES &ON

&MESSAGES &POPUP
&S scene = [response 'Achtung! Weitere Abfragen im XTERM-Window!' ]
&MESSAGES &ON
q

/*****
/* Loeschen der alten Eingabe-Dateien für NEWMAKESCENE
/*****
w /usr/users/fknauft/expo/arc
&type '*****'
&type 'Sie sollten jetzt die alten Dateien'
&type '%scene%.prn und ' %scene% '.cfg loeschen!'
&type '(Zurueck mit ctrl-d)'
&type '*****'
&SYSTEM
w /usr/users/fknauft/expo/amapclip

tables
sel pointcov_inf
alter ausflaeche-id ausflaeche-id 8 b #
&type ' '

/*****
/* Erstellung der Baum-Parameter-Datei für NEWMAKESCENE
/*****
unload /usr/users/fknauft/expo/arc/scene.prn ausflaeche-id bartalt x-coord y-coord size
COLUMNAR INIT
kill pointcov_bart
q

frequency pointcov_inf pointcov_bart
bartalt

```

```

alter
end
end

additem pointcov_bart pointcov_bart par_file 30 30 C

/*****
/* Ermittlung des Namens des spezifischen Line-Tree-Files
*****/
ae
edit pointcov_bart info
sel all
res bartalt = 3005
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    larix_b00005
sel all
res bartalt = 3010
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    larix_b00010
sel all
res bartalt = 3015
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    larix_b00015
sel all
res bartalt = 3020
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    larix_b00020
sel all
res bartalt = 3025
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    larix_b00025
sel all
res bartalt = 3030
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    larix_b00030
sel all
res bartalt = 3035
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    larix_b00035
sel all
res bartalt = 3040
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    larix_b00040

sel all
res bartalt = 1005
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    picea_b00005
sel all
res bartalt = 1010
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    picea_b00010
sel all
res bartalt = 1015
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    picea_b00015
sel all
res bartalt = 1020
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    picea_b00020
sel all
res bartalt = 1025
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    picea_b00025
sel all
res bartalt = 1030
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    picea_b00030
sel all
res bartalt = 1035
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    picea_b00035
sel all
res bartalt = 1040
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    picea_b00040

sel all
res bartalt = 6025
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    Quercus_palustris04025
sel all
res bartalt = 6030
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    Quercus_palustris04030
sel all
res bartalt = 6035
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    Quercus_palustris04035
sel all
res bartalt = 6040
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    Quercus_palustris04040
sel all
res bartalt = 6045
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    Quercus_palustris04045
sel all
res bartalt = 6050

```



```

&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    Quercus_palustris04050

sel all
res bartalt = 5005
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    fagus_a00005
sel all
res bartalt = 5010
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    fagus_a00010
sel all
res bartalt = 5015
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    fagus_b00015
sel all
res bartalt = 5020
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    fagus_b00020
sel all
res bartalt = 5025
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    fagus_b00025
sel all
res bartalt = 5030
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    fagus_b00030
sel all
res bartalt = 5035
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    fagus_b00035
sel all
res bartalt = 5040
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    fagus_b00040

sel all
res bartalt >= 211080 and bartalt < 211100
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    fagus_a00020
sel all
res bartalt >= 211100 and bartalt < 211999
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    fagus_a00025
sel all
res bartalt >= 511000 and bartalt < 511040
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    picea_b00020
sel all
res bartalt >= 511040 and bartalt < 511999
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    picea_b00040
sel all
res bartalt >= 811000 and bartalt < 811040
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    larix_a00020
sel all
res bartalt >= 811040 and bartalt < 811999
&IF [show number selected] > 0 &THEN change par_file R    larix_a00040
q
y
Y

/*****
/* Erstellung der Baumarten-Datei (*.cfg) für NEWMAKESCENE
*****/
tables
sel pointcov_bart
unload /usr/users/fknauft/expo/arc/scene.cfg bartalt alter par_file COLUMNAR INIT
q
w /usr/users/fknauft/expo/arc/

/*****
/* Start des Programmes NEWMAKESCENE zur Erstellung der AMAP-Szene
*****/
&SYSTEM /usr/users/fknauft/expo/arc/makescene

```

## 10.2 Source-Code von NEWMAKESZENE

```

#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <ctype.h>
#include <unistd.h>

typedef struct _vect {
float x;
float y;
float z;
} vect;

typedef struct bartliste {
long bart;
long age;
char parameterfile[30];
} Bartliste;

typedef struct _element {
long objectnr;
long age;
long nr;
long lfdnr;
long bart;
char name[300];
struct _vect pos[1];
float size;
} element;

#define MAXLISTE 50
#define CADRE 180
#define TRUE 1
#define FALSE 2

int complete_element(element *elem, struct bartliste
*bliste,
                    long nbbart)
{
    long i;
    elem->objectnr = elem->bart;

    for(i=0; i < nbbart ; i++) {
        if(elem->bart == (bliste + i)->bart) {
            elem->age = (bliste + i)->age;
            strcpy(elem->name, (bliste + i)-
>parameterfile);
            return 1;
        }
        elem->age = (elem->bart) * (-1);
        sprintf(elem->name, "name%d", elem->bart);
        printf(" Baumart nicht in Konfigurationsfile: %d\n",
elem->bart);
        return 0;
    }
}

float randplusminus()
{
    double x;
    x = drand48();
    x = -1 + (2*x);
    return (float) x;
}

void outelement(FILE *ofi, struct _element *elem, float
angle)
{
    fprintf(ofi, "Element\n");
    fprintf(ofi, " Numero %d Fin\n", elem->lfdnr);
    fprintf(ofi, " Global\n");
    fprintf(ofi, " Objet %d\n", elem->objectnr );
    fprintf(ofi, " Nature 1\n" );
    fprintf(ofi, " Detail 4\n" );
    fprintf(ofi, " Visible 1\n" );
    fprintf(ofi, " Lock 0\n" );
    fprintf(ofi, " Terrain 1\n" );
    fprintf(ofi, " Nom %s\n", elem->name );
    fprintf(ofi, " Age %.3f\n", (float) elem->age );
    fprintf(ofi, " Simplif 1\n" );
    fprintf(ofi, " Graine 0\n" );
    fprintf(ofi, " Fin\n");
    fprintf(ofi, " Geometrie\n");
    fprintf(ofi, " Echelle %.4f\n", (float) elem->size );
    fprintf(ofi, " Angle %.3f\n", randplusminus()* angle );
    fprintf(ofi, " Incline 0.0000\n" );
    fprintf(ofi, " Position %.4f %.4f %.4f \n", elem->pos->x,
elem->pos->z, elem->pos->y);
    fprintf(ofi, " Fin\n" );
    return;
}

int check_access(char *inbuf)
{
    if(access(inbuf, R_OK) != 0){
        printf("\nFile: %s", inbuf);
        printf("\nFILE not exist or permission for read denied\n");
        return -1;
    }
    else
        return 0;
}

int get_name_of_scene_haed_file(char *path, char
**name, char *defau)
{
    char *syscommand;
    char inbuf[80];
    int error = 0;
    syscommand = (char *) malloc ((strlen(path) + 4 ) *
sizeof(char));
    sprintf(syscommand, "ls %s", path);

    do {
        system(syscommand);
        printf("\nPlease press return for default file %s.cfh\n",
defau);
        printf("or enter name of cofiguration file (without
extension .cfh):\n");
        gets(inbuf);
        if(inbuf[0] == '\000') {
            *name= (char*)
malloc((strlen(defau)+5)*sizeof(char));
            strcpy(*name, defau);
        }
        else {
            *name= (char*)
malloc((strlen(inbuf)+5)*sizeof(char));

```

```

        strcpy(*name, inbuf);
    }
    error = 0;
    sprintf(inbuf, "%s/%s.cfh", path, *name);
    error += check_access(inbuf);

    if(error) {
        printf("Can not reach choosen file: %s !\n", name);
        printf("Press return for entering an new name or exit
program(ESC-RET)? "); gets(inbuf);
        if(inbuf[0] == 27) error = 1;

        free(*name);
    }
} while(error < 0);

free(syscommand);

if (error)
    return 0;
else
    return 1;
}

int get_name_of_cfgfile_with_default(char *path, char
**name, char *defau)
{
    char *syscommand;
    char inbuf[80];
    int error = 0;
    syscommand = (char *) malloc ((strlen(path) + 4 ) *
sizeof(char));
    sprintf(syscommand, "ls %s", path);

    do {

        system(syscommand);
        printf("\nPlease press return for default file %s.cfg\n",
defau);
        printf("or enter name of cofiguration file (withot
extension .cfg):\n");
        gets(inbuf);
        if(inbuf[0] == '\000') {
            *name= (char*)
malloc((strlen(defau)+5)*sizeof(char));
            strcpy(*name, defau);
        }
        else {
            *name= (char*)
malloc((strlen(inbuf)+5)*sizeof(char));
            strcpy(*name, inbuf);
        }
        error = 0;
        sprintf(inbuf, "%s/%s.cfh", path, *name);
        error += check_access(inbuf);

        if(error) {
            printf("Can not reach choosen file: %s !\n", name);
            printf("Press return for entering an new name or exit
program(ESC-RET)? "); gets(inbuf);
            if(inbuf[0] == 27) error = 1;

            free(*name);
        }
    } while(error < 0);

    free(syscommand);

if (error)
    return 0;
else
    return 1;
}

int get_name_of_datafile(char *path, char **name)
{

```

```

    char *syscommand;
    char inbuf[80];
    int error = 0;
    syscommand = (char *) malloc ((strlen(path) + 4 ) *
sizeof(char));
    sprintf(syscommand, "ls %s", path);

    do {

        system(syscommand);
        printf("\nPlease enter name of data file (without
extension .prn):");
        gets(inbuf);
        *name= (char*) malloc((strlen(inbuf)+5)*sizeof(char));
        strcpy(*name, inbuf);
        error = 0;
        sprintf(inbuf, "%s/%s.prn", path, *name);
        error += check_access(inbuf);

        if(error) {
            printf("Can not reach choosen file!\n");
            printf("Press return for entering an new name or exit
program(ESC-RET)? "); gets(inbuf);
            if(inbuf[0] == 27) error = 1;

            free(*name);
        }
    } while(error < 0);

    free(syscommand);

if (error)
    return 0;
else
    return 1;
}

int openfile(char *selection, char *path, char *name, char
*erw, FILE **datf , char *what)
{
    int error = 0;
    char nof[32];

    FILE *source;
    char *sourcename;

    if (strcmp(selection, "no") == 0)
    {
        sprintf(nof, "/");
    }

    else if (strcmp(selection, "") == 0)
    {
        sprintf(nof, "/");
    }
    else
    {
        sprintf(nof, "/");
    }

    sourcename = (char *) malloc(( strlen(name) +
strlen(path) + strlen(nof) + strlen(erw) + 1 ) * sizeof (char));
    sprintf(sourcename, "%s%s%s%s", path , nof, name,
erw);

    if ((source = fopen(sourcename, what)) == NULL)
    {
        char err_mess[128];
        fprintf(stderr, "OPEN_FILE(): error opening the %s
file", selection);
        fflush(stderr);
        error = 1;
    }
    free(sourcename);
    *datf = source;

    if(error)

```

```

return 0;
else
return 1;
}

int readline(FILE *fi , int len , char *inbuf)
{
    if( fgets (inbuf, len, fi) ) {
        return 1;
    }
    else
        return 0;
}

int read_element_from_file(FILE *ifi, element *elem)
{
    char inbuf[800];
    char test[50];
    long nr;

    while(readline(ifi, 800, inbuf))
    {
        sscanf(inbuf,"%s", &test);

        if(sscanf(test,"%d", &nr) == 1) {
            /*
            printf("%s = true %d\n", test, nr); */
            sscanf(inbuf, "%d %d %f %f
%f", &elem->nr, &elem->bart , &elem->pos->x, &elem-
>pos->y, &elem->size);

            return 1;
        }
        /*          printf("%s =
false\n", test); */
    }
    return 0;
}

int read_baumart_configurations_file(FILE *cfi, struct
bartliste *bliste)
{
    char inbuf[800];
    long i;

    for (i=0; (readline(cfi, 800, inbuf) && i < MAXLISTE) ;
i++)
    {
        sscanf(inbuf,"%d %d %s" ,
            &(bliste[i].bart),
            &(bliste[i].age),
            bliste[i].parameterfile );

        printf("Baumart registriert: %d %d
%s\n",
            ((bliste) + i)->bart,
            ((bliste) + i)->age,
            ((bliste) + i)->parameterfile
        );
    }
}

}

return i;
}

int make_head_of_scene(FILE *sfi, FILE *ofi)
{
    char inbuf[800];

    while(readline(sfi, 800, inbuf)) {
        fprintf(ofi,"%s", inbuf);
    }
    return 1;
}

void ask_for_variation( float *angle)
{
    int ang;
    char inbuf[200];

    printf("Bitte geben Sie den maximalen Variationswinkel
an (0-180°):[%d]",
        CADRE);
    fflush(stdout);
    gets(inbuf);

    if(sscanf(inbuf,"%d", &ang) == 1) {
        if(ang > 180 ) {
            ang = 180;
            printf("Input out of range. Set to %d\n", ang);
        }
        else if( ang < 0) {
            ang = 0;
            printf("Input out of range. Set to %d\n", ang);
        }
        else {
            *angle = (float) ang;
            printf("Max Angle set by user:%.3f\n ", *angle);
        }
    }
    else {
        *angle = (float) CADRE;
        printf("Max Angle not given. Set default. Set
default:%.3f\n", *angle);
    }
}

int main()
{
    FILE *ifi, *ofi, *cfi, *sfi;

    int i;
    struct _element elem[1];
    struct bartliste *bliste;
    char *filename;
    char *bartfilename;
    char *basescenename;
    char path[20];
    long nbbart;
    int ok =0;
    float angle = 0.0;

    bliste = (struct bartliste*) malloc(MAXLISTE *
sizeof(struct bartliste));
    memset(bliste, 0, MAXLISTE * sizeof(struct bartliste));

    strcpy(path, ".");
    ok = get_name_of_datafile(path, &filename);
    if (ok) ok = get_name_of_cfgfile_with_default(path,

```

```

&bartfilename, filename);
    if (ok) ok = get_name_of_scene_haed_file(path,
&basescenenname, "scene");

    if (ok) ok = openfile("no", path, filename, ".prn", &ifi,
"r");
    if (ok) ok = openfile("no", path, bartfilename, ".cfg",
&cfi, "r");
    if (ok) ok = openfile("no", path, filename, ".sce", &ofi,
"w");
    if (ok) ok = openfile("no", path, basescenenname, ".cfh",
&sfi, "r");

    if(ok) {

        printf("Lese Baumartenliste von File: %s.cfg\n",
bartfilename);
        nbbart = read_baumart_configurations_file(cfi,
bliste);

        printf("Kopf der Scene aus File %s.cfh
erstellt.\n",
            basescenenname);
        make_head_of_scene(sfi, ofi);

        ask_for_variation(&angle);

```

```

        printf("Lese Daten aus File %s.prn & schreibe
Scene in File %s.sce\n",
            filename, filename);
        for(i=14; read_element_from_file(ifi, elem); i++) {
            elem->lfdnr = i;
            complete_element(elem, bliste, nbbart);
            outelement(ofi, elem, angle);
        }
        printf("    Anzahl    der    geschriebenen
Baueme:%d\n", i -14);

        fclose(ifi);
        fclose(ofi);
        fclose(cfi);
        fclose(sfi);
        return 1;
    }
    return 0;
}

```

### 10.3 Visualisierungs-Daten-Tabellen

**Tab. 10.1:** Übersicht über die Anzahl der zu visualisierenden Elemente, der daraus resultierenden Polygons sowie der benötigten Zeit für das *rendering* von Buchen und Fichten verschiedener Altersklassen, einer mit GROGRA (KURTH, 1994b, 1998) aus Meßdaten rekonstruierten Fichte sowie des mit AUTOCAD konstruierten Turmes (siehe Abbildung 3.12)

Name	Virtuelles Hilfsalter	Höhe (m)	Anzahl Trieb- elemente	Anzahl Blatt- elemente	Anzahl Polygons	<i>Rendering time</i> (1/100 s)
Fagus sylvatica	5	2,3	267	52	1393	5
Fagus sylvatica	10	4,95	2523	369	9108	27
Fagus sylvatica	20	10,31	44970	6495	154221	476
Picea abies	3	1,62	51	49	3163	7
Picea abies	10	5,21	5132	1305	98721	206
Picea abies	20	10,33	7456	1693	131365	268
Picea abies (GROGRA)		32,36			5112240	15500
Turm (AUTOCAD)					38458	192

**Tab. 10.2:** Übersicht über die Anzahl der Objekte in verschiedenen Szenen, die daraus resultierende Anzahl von Polygons sowie die für das *rendering* benötigte Zeit

Name der Szene	Abbildung	Anzahl der Objekte in der Szene	Anzahl Polygons	<i>Rendering time</i> (min:s)
<wiese2.sce>	6.12	410	2436240	3:18
<sollbudat_328.sce>	6.6	47	1195458	0:49
<306b00.sce>	6.8	193	32305524	15:32

