

Universität Freiburg

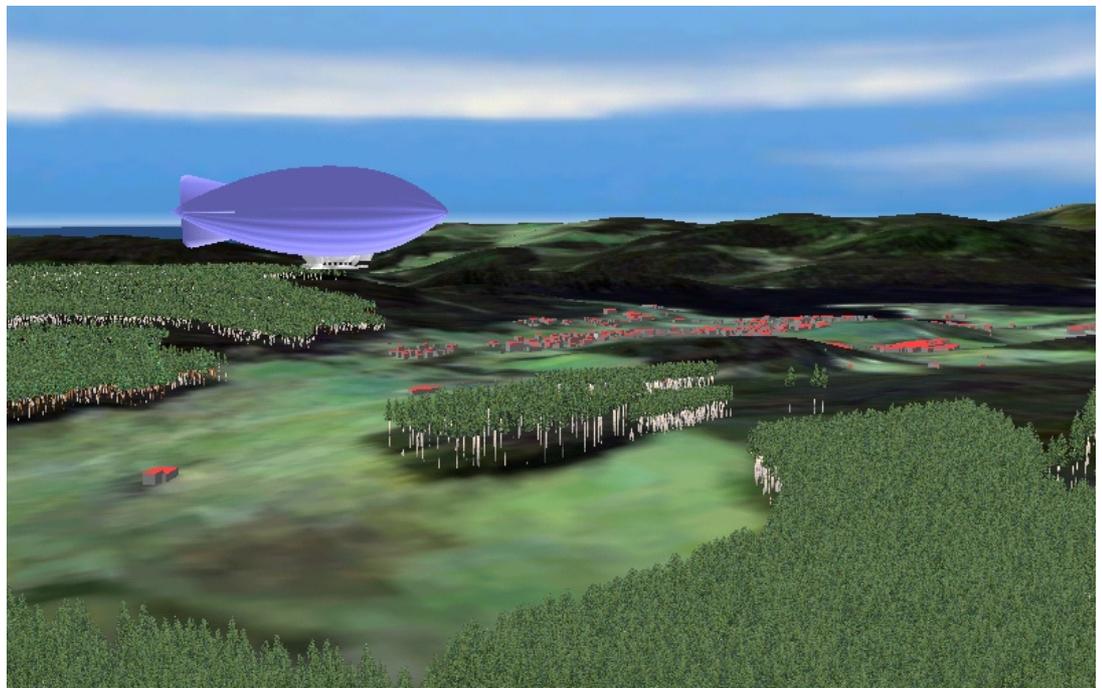
Institut für Forstökonomie

Arbeitsbericht 39-2004

**KOMBINATION VON GIS, SIMULATION UND
3D-VISUALISIERUNG ZUR DARSTELLUNG VON
WALDSTRUKTUREN UND
WALDSTRUKTURENTWICKLUNGEN**

- Instrument für die „erweiterte“ forstliche Planung -

Kai Fischer



Der vorliegende Arbeitsbericht beruht auf der Dissertation des Verfassers, die im Oktober 2003 am Institut für Forstökonomie der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg eingereicht wurde. Die Arbeit wurde durch Prof. Dr. B. Koch (Abteilung Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme) und Prof. Dr. G. Oesten (Abteilung Forstökonomie) betreut und durch das Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg (MLR) finanziell gefördert.

Freiburg i. Brsg.

Februar 2004

„Durch seine Beziehung auf den Menschen gewinnt
das Landschaftsbild erst seine Vollendung.“

Peter Joseph Lenné

Inhalt

| | |
|--|-----|
| Inhaltsverzeichnis..... | I |
| Ausführliches Inhaltsverzeichnis..... | II |
| Abbildungsverzeichnis..... | V |
| Tabellenverzeichnis..... | VII |
| Zusammenfassung..... | IX |
| | |
| 1. Einleitung..... | 1 |
| 2. Ansprüche an ein technisches „kommunikatives“ Visualisierungskonzept für die forstliche Praxis..... | 10 |
| 3. Grundlagenwissen zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen..... | 29 |
| 4. Material und Methodenauswahl..... | 62 |
| 5. Lösungsansätze zur Visualisierung von Waldstrukturen und ihrer Entwicklung..... | 86 |
| 6. Diskussion..... | 133 |
| 7. Literatur..... | 173 |
| 8. Anhang..... | 183 |

Ausführliches Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Inhaltsverzeichnis..... | I |
| Ausführliches Inhaltsverzeichnis..... | II |
| Abbildungsverzeichnis..... | V |
| Tabellenverzeichnis | VII |
| Zusammenfassung..... | IX |
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Ansprüche an ein technisches „kommunikatives“ Visualisierungskonzept für die forstliche Praxis | 10 |
| 2.1 Grundvoraussetzungen für eine Verfahrensentwicklung („Grundanforderungen“) | 14 |
| 2.2 Spezifische Anforderungen an ein kommunikatives Verfahren | 16 |
| 2.2.1 Allgemeine Anforderungen an ein ethisch verantwortliches und effizientes kommunikatives Verfahren („Kommunikation“)..... | 16 |
| 2.2.2 Spezielle Anforderungen an ein computergestütztes Verfahren („Computertechnik“) | 17 |
| 2.2.3 Anforderungen hinsichtlich der zu vermittelnden Inhalte („Inhalt“) | 20 |
| 2.3 Bewertung der Kriterien und Anforderungen in Bezug auf die geplanten Einsatzgebiete („Anwendung“)..... | 24 |
| 3. Grundlagenwissen zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen | 29 |
| 3.1 Existierende Ansätze zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen im forstlichen Bereich | 29 |
| 3.2 Waldstruktur- und Waldwachstumssimulation | 36 |
| 3.3 Techniken zur dreidimensionalen Darstellung von Vegetationsdaten | 40 |
| 3.3.1 Techniken zur flächenbezogenen 3D-Visualisierung von Vegetationsdaten | 40 |
| 3.3.2 Einfache 3D-Objekte zur Darstellung der Vegetation | 42 |
| 3.3.3 Grammatische Systeme zum Erstellen von 3D-Objekten | 43 |
| 3.3.4 Weitere Ansätze zur Erstellung von 3D-Baummodellen..... | 46 |
| 3.3.5 <i>billboards</i> zur Darstellung der Vegetation | 47 |
| 3.3.6 Schichtmodelle | 49 |
| 3.4 Spezialprogramme zur 3D-Landschaftsvisualisierung..... | 50 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4. | Material und Methodenauswahl..... | 62 |
| 4.1 | Referenzgebiet | 62 |
| 4.2 | Datengrundlage | 63 |
| 4.2.1 | Rasterdaten und ihre Aufbereitung | 63 |
| 4.2.2 | Vektordaten und ihr Verwendungszweck | 67 |
| 4.2.3 | Sachdaten und ihr Verwendungszweck | 70 |
| 4.3 | Verwendete Software | 70 |
| 4.3.1 | Geografische Informationssysteme | 70 |
| 4.3.2 | Auswahl der externen (Referenz-)3D-Visualisierungsumgebung..... | 72 |
| 4.3.3 | Waldwachstumssimulator | 73 |
| 4.3.4 | Programmierwerkzeuge | 74 |
| 4.3.5 | Weitere eingesetzte Grafikprogramme..... | 76 |
| 4.4 | Methode der Stratenbildung | 77 |
| 4.5 | Eingesetzte Methoden für die 3D-Visualisierung | 79 |
| 4.5.1 | MultiPatches | 79 |
| 4.5.2 | Extrusion | 79 |
| 4.5.3 | Texturierung (texture mapping) | 80 |
| 4.5.4 | „level of detail“ (LOD) | 82 |
| 4.6 | Auswahl der Vegetationsdarstellungsform..... | 83 |
| 5. | Lösungsansätze zur Visualisierung von Waldstrukturen und ihrer Entwicklung | 86 |
| 5.1 | GIS-SILVA-Interface | 89 |
| 5.2 | 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und ihrer Entwicklung auf der Basis von GIS | 99 |
| 5.2.1 | 3D-Geländedarstellung | 99 |
| 5.2.2 | 3D-Darstellung der Waldstrukturen innerhalb von GIS | 100 |
| 5.2.3 | 3D-Darstellung anthropogener Landschaftsmerkmale | 103 |
| 5.2.4 | Weitere Möglichkeiten zur Aufwertung der visuellen Darstellung im GIS | 108 |
| 5.2.5 | Möglichkeiten der GIS-gestützten 3D-Darstellung von Waldstrukturentwicklungen | 109 |
| 5.2.6 | Präsentationsmöglichkeiten im GIS | 112 |
| 5.2.6.1 | <i>Navigation in der 3D-Szene</i> | 112 |
| 5.2.6.2 | <i>Export nach VRML</i> | 112 |
| 5.2.6.3 | <i>Präsentation in GIS-Kiosksystemen</i> | 113 |
| 5.3 | 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und ihrer Entwicklung in dem externen Referenzsystem Enviro | 117 |
| 5.3.1 | 3D-Geländedarstellung mit Enviro | 118 |
| 5.3.2 | Einzelbaumbezogene 3D-Darstellung der Waldstrukturen mit Enviro .. | 120 |
| 5.3.3 | 3D-Darstellung anthropogener Landschaftsmerkmale mit Enviro | 123 |
| 5.3.4 | Weitere visuelle Aufbereitungsmöglichkeiten in Enviro | 128 |
| 5.3.5 | Möglichkeiten der Darstellung von Waldstrukturentwicklungen mit Enviro | 129 |
| 5.3.6 | Präsentationsmöglichkeiten mit Enviro | 132 |

| | |
|--|-----|
| 6. Diskussion | 133 |
| 6.1 Übergreifende Diskussion des entwickelten Systems - „Systemvergleich“ | 133 |
| 6.2 Diskussion der Datengrundlage | 136 |
| 6.3 Bewertung der GIS-Software ArcGIS als zentraler Bestandteil der entwickelten Lösungsansätze | 138 |
| 6.4 Kritische Stellungnahme zum GIS-SILVA-Interface | 141 |
| 6.5 Diskussion der Ergebnisse zur 3D-Visualisierung | 144 |
| 6.5.1 Vegetationsdarstellungsformen als (ein) Kernproblem der 3D-Visualisierung von großen Landschaftsausschnitten | 144 |
| 6.5.2 Gegenüberstellung der beiden (entwickelten) Lösungsansätze zur GIS-gestützten (3D-)Visualisierung | 146 |
| 6.5.3 Bewertung der Lösungsansätze in Bezug auf die Anwendungsziele der (erweiterten) forstlichen Planung | 152 |
| 6.5.4 Zusammenfassende Bewertung | 158 |
| 6.6 Diskussion zum Einsatz von 3D-Visualisierungs-Verfahren auf der Basis von GIS im Kommunikationsbereich der Forstwirtschaft | 160 |
| 6.7 Ausblick | 168 |
| | |
| 7. Literatur | 173 |
| | |
| Anhang | 183 |
|A.1 Eingesetzte Geräte | 183 |
|A.2 Ermitteln der größten Standortseinheit je Bestand | 184 |
|A.3 Übertragen der BI-Mittelwerte in die FE-Tabelle Bestand | 185 |
|A.4 AVENUE-Skripte | 186 |
|A.5 Übersicht über die SILVA-Steuerdateien | 188 |
|A.6 Beispiel einer Schlüsseldatei für die Waldentwicklungstypen | 194 |
|A.7 Beispiel einer Standortsigeldatei | 194 |
|A.8 Beispiel einer Baumarten-Schlüsseldatei | 196 |
|A.9 VBA-Funktion zum Reimport von SILVA-Baumlisten in das GIS | 197 |
|A.10 VBA-Funktion zum Erzeugen von MultiPatch- <i>X-billboards</i> | 204 |
|A.11 VTP-Dateiformate | 207 |
|A.12 VB-Code für VF-Export | 208 |
|A.13 Enviro Baumarten-Schlüsseldatei (species.xml) | 210 |
|A.14 Anwendungsbeispiel zur RasterClipping-Erweiterung | 211 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abb. 1: Grafische Darstellung der technischen Komponenten einer integrierten GIS-Lösung und der Anbindung eines „externen“ 3D-Referenzsystems | 7 |
| Abb. 2: Darstellungen von ViWa | 30 |
| Abb. 3: Landschaftsansicht erzeugt mit L-VIS (aus PRETZSCH u. SEIFERT 2000) | 31 |
| Abb. 4: Bestandesdarstellungen mit TREEVIEW | 32 |
| Abb. 5: Bestandesaufrisszeichnung von AUFRISS | 32 |
| Abb. 6: Benutzeroberfläche des SVS | 33 |
| Abb. 7: Landschaftsdarstellung mit EnVision | 34 |
| Abb. 8: 3D-Darstellung – Bestände über Mittelhöhe extrudiert; Volumen über Rotton kodiert (je dunkler der Rotton, desto höher das Volumen) | 41 |
| Abb. 9: Geländemodell, links ohne, rechts mit eingerechneten Einzelbaumhöhen | 42 |
| Abb. 10: 3D-Pfahldarstellung der Bestände auf Einzelbauebene | 42 |
| Abb. 11: Darstellung der Vegetation über geometrische Grundformen (Primitive) | 43 |
| Abb. 12: Erzeugen einer Schneeflockenstruktur über Textersetzungsregeln (L-Systeme) | 44 |
| Abb. 13: Prinzip von „echten“ <i>billboards</i> | 47 |
| Abb. 14: Verwendung von gekreuzten Rahmen als Vorbereitung zur realistischen 3D-Darstellung von Bäumen | 48 |
| Abb. 15: Texturdarstellung von 3D-Bäumen auf gekreuzten Rahmen | 48 |
| Abb. 16: Abbildungen aus JAKULIN 2000 | 49 |
| Abb. 17: Vegetationsdarstellung in SiteBuilder 3D | 54 |
| Abb. 18: Landschaftsdarstellungen in K2Vi. Links 3D-Bäume, rechts mit Verwendung von Texturbildern | 55 |
| Abb. 19: Landschaftsbilder erzeugt mit VistaPro. Links großräumige Ansicht, rechts Einzelbäume | 57 |
| Abb. 20: „Weltansicht“ in Enviro; links Totalansicht, rechts gezoomt | 58 |
| Abb. 21: 3D-Landschaftsansicht in Enviro; links ohne, rechts mit 3D-Landschafselementen | 58 |
| Abb. 22: Spielemodus von Blender | 59 |
| Abb. 23: Ausschnitt einer mit Blender erstellten Animation | 60 |
| Abb. 24: Einordnung des Untersuchungsgebietes „Forstamt Schluchsee“ im Landesüberblick (BaWü) | 62 |
| Abb. 25: Erzeugen eines plastisch wirkenden DGM | 64 |
| Abb. 26: „ <i>aspect</i> “ und „ <i>slope</i> “ | 65 |
| Abb. 27: Prinzip der <i>imagefusion</i> | 66 |
| Abb. 28: Extrusion von 2D-Daten zur Darstellung in 3D | 80 |
| Abb. 29: Übertragung eines Texturbildes auf ein 3D-Objekt | 81 |
| Abb. 30: Verschiedene Texturabbildungen; links Einfachdarstellung, Mitte Kachelung, rechts Randwerte der Textur | 82 |
| Abb. 31: AMAP-Bäume in der 3D-GIS-Ansicht | 84 |
| Abb. 32: Modulares Konzept des Lösungsansatzes VisTree3D; Bereiche mit eigener Programmierung sind durch einen roten Blitz gekennzeichnet | 87 |
| Abb. 33: Programmierter Hauptdialog zur Erstellung der SILVA-Steuerdateien | 91 |
| Abb. 34: Programmierter Dialog zur Eingabe benutzerdefinierter SILVA-Parameter | 93 |
| Abb. 35: Dialog zur Bestätigung des Prognosestarts | 95 |
| Abb. 36: <i>boundary</i> eines Bestandes | 97 |

| | |
|--|-----|
| Abb. 37: Verschieben der SILVA Stammfußkoordinaten in den Gauß-Krüger-Koordinatenbereich des Bestands | 98 |
| Abb. 38: Duplizierung der SILVA-Stammfußkoordinaten zum Füllen der Bestandes- <i>boundary</i> | 98 |
| Abb. 39: Verwerfen der Baumstandpunkte, die außerhalb der Bestandesgeometrie liegen | 99 |
| Abb. 40: TIN mit überlagertem Fusionsbild | 100 |
| Abb. 41: Zuweisung von aufbereiteten Bildtexturen zu MultiPatches | 102 |
| Abb. 42: 3D-GIS-Szene mit einer Vegetationsdarstellung auf Einzelbaumebene über <i>X-billboards</i> | 103 |
| Abb. 43: Blockmodell der Stadt Schluchsee erstellt aus ALK-Grunddaten | 105 |
| Abb. 44: Darstellung des TINs vor (links) und nach (rechts) der Einbeziehung der Gebäudegrundrissgeometrien | 105 |
| Abb. 45: TIN mit eingerechneten Gebäudestrukturen (links ohne, daneben mit Oberflächentexturbild). | 106 |
| Abb. 46: 3D-Modell des Riesenbühlturns | 107 |
| Abb. 47: 3D-Modell eines „schwebenden“ Zeppelins in der 3D-GIS-Szene | 108 |
| Abb. 48: Himmel im 3D-GIS | 109 |
| Abb. 49: Nebel und Dunst im 3D-GIS | 109 |
| Abb. 50: Bewegung von 3D-Objekten im 3D-GIS | 109 |
| Abb. 51: Darstellung der Waldwachstumsentwicklung im 3D-GIS | 111 |
| Abb. 52: Dialogfenster zum Anpassen der Menü- und Symbolleisten | 113 |
| Abb. 53: GIS-Funktionalität im 3D-Visualisierungsmodul | 115 |
| Abb. 54: 2D-Orientierung bei 3D-Navigation | 115 |
| Abb. 55: 3D-Darstellung im VisTree-viewer | 116 |
| Abb. 56: Benutzerdialog zum Export der Geodaten-Basis in die VTP-eigene Dateiformate | 118 |
| Abb. 57: Darstellung des Geländes in Enviro. Links mit Standardfarben, rechts mit Geländetexturbild | 120 |
| Abb. 58: Visualisierung der Waldstrukturen in Enviro | 122 |
| Abb. 59: Blick auf die <i>billboards</i> von Enviro aus der „Vogelperspektive“ | 122 |
| Abb. 60: Blockmodell des Ortes Schluchsee in Enviro | 126 |
| Abb. 61: Darstellung des Riesenbühlturns mit Foto-Textur innerhalb von Enviro | 126 |
| Abb. 62: Darstellung eines „fliegenden“ 3D-Modells in Enviro | 127 |
| Abb. 63: 3D-Modell eines Schiffes auf dem Schluchsee, dargestellt mit Enviro | 127 |
| Abb. 64: 3D-Modell einer Brücke über dem Schluchsee, dargestellt mit Enviro | 128 |
| Abb. 65: Enviro 3D-Szene mit aktiviertem Nebel | 129 |
| Abb. 66: Dialog zum Speichern und Laden von Betrachterpositionen in Enviro | 130 |
| Abb. 67: Darstellung der Waldentwicklung in Enviro | 131 |
| Abb. 68: Unrealistische Farbwiedergabe bei kleinen Objekten nach der <i>imagefusion</i> | 137 |
| Abb. 69: Selektion von Einzelbäumen und Abfrage der Bauminformationen im 3D-GIS | 147 |
| Abb. 70: Vergleich der Darstellungsqualität des Geländetexturbildes: links im GIS; rechts in Enviro | 149 |
| Abb. 71: Blick von oben auf die <i>billboard</i> -Bäume im GIS (links) und in Enviro (rechts). | 150 |
| Abb. 72: Berechnung der Flächengröße im Field Calculator | 184 |
| Abb. 73: Attributwahl im Geoprocessing Wizard | 185 |
| Abb. 74: Benutzerdialog der ArcGIS-Erweiterung „Clip Raster with a Rectangle“ | 211 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Tabelle 1: Anforderungen an ein Verfahren auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen..... | 13 |
| Tabelle 2: Spezielle Anforderungen und Kriterien an ein computertechnisches Verfahren, gewichtet nach dem Anwendungszweck (? : eher unbedeutend, ! : wichtig, !! : sehr wichtig)..... | 26 |
| Tabelle 3: Getestete 3D-Visualisierungssoftware | 53 |
| Tabelle 4: Verwendete Rasterdaten..... | 63 |
| Tabelle 5: Übersicht der verwendeten Vektordaten im <i>shapefile</i> -Format | 68 |
| Tabelle 6: Liste der tabellarischen Sachinformationen..... | 70 |
| Tabelle 7: Eingesetzte Geografische Informationssysteme | 71 |
| Tabelle 8: Programmierwerkzeuge | 74 |
| Tabelle 9: Sonstige verwendete Software..... | 76 |
| Tabelle 10: Gegenüberstellung verschiedener Vegetationsdarstellungsformen zur Repräsentation von 250.000 Bäumen | 85 |
| Tabelle 11: Spezielle Anforderungen und Kriterien an ein computertechnisches Verfahren, gewichtet nach den Lösungsansätzen (0: erfüllt dies nicht, ✓: erfüllt dies, ✓✓: erfüllt dies sehr gut) | 153 |
| Tabelle 12: Gegenüberstellung von ArcScene und Enviro in Bezug auf praxisrelevante Bewertungskriterien (? : eher unbedeutend, ! : wichtig, !! : sehr wichtig, 0: erfüllt dies nicht, ✓: erfüllt dies, ✓✓: erfüllt dies sehr gut)..... | 155 |
| Tabelle 13: Verwendete Personal-Computer (PC)..... | 183 |
| Tabelle 14: Weitere eingesetzte Geräte..... | 183 |
| Tabelle 15: Struktur der eindeutigen Identifikationsnummer zum Anbinden an die SDSS-Falldatenbank | 185 |

Zusammenfassung

Das forstbetriebliche Handeln findet zunehmend unter großer Anteilnahme von gesellschaftlichen Anspruchsgruppen (amtlicher Naturschutz, nichtamtlicher Naturschutz, Gemeindevertreter, Holzindustrie usw.) statt. Eine realitätsnahe 3D-Visualisierung von Waldbeständen mit ihrer Struktur sowie Dynamik unter Verfolgung verschiedenster alternativer Waldnutzungskonzepte könnte dabei helfen, die interessierte Öffentlichkeit zu bilden oder in die forstlichen Planungen partizipativ einzubeziehen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zu prüfen, inwieweit die (3D-)Visualisierung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen in ein Geografisches Informationssystem (GIS) integriert werden kann. Dabei sollen die Ansprüche berücksichtigt werden, die sich aus der erweiterten forstlichen Praxis ergeben. Dazu gehören sowohl Anwendungsaspekte der internen forstlichen Planung als auch der eingangs genannten waldbezogenen Umweltbildung und der forstlichen partizipativen Planung. Die 3D-Darstellungen sollen sowohl auf Abteilungs-(Distrikt-)Ebene als auch in Landschaftsausschnitten möglich sein. Das Ergebnis soll nicht den Anspruch erheben, die tatsächliche Waldentwicklung zu prognostizieren, sondern über die Modelldarstellung als Medium zur Kommunikation über Szenarien und Problemfelder zu agieren.

Es wurde ein hochintegrierter GIS-Ansatz erarbeitet, der durch Nutzung und Aufbereitung typischer forstlicher Daten den IST-Zustand der Waldstrukturen erfasst und deren Entwicklung von dieser Datenbasis ausgehend prognostiziert und in einem dreidimensionalen Raum darstellt. Dazu wird an das GIS ArcView 8.3 der Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 gekoppelt. Die hierzu notwendige Schnittstelle erlaubt sowohl die Steuerung von SILVA aus dem GIS heraus als auch die Rückführung der SILVA-Prognoseergebnisse in das GIS.

Die Art der Visualisierung der rückgeführten Prognoseergebnisse richtet sich nach Kriterien, die sich aus den jeweiligen Anwendungszwecken ableiten. Es zeigt sich hierbei, dass mit der GIS-internen Visualisierung zum gegenwärtigen Zeitpunkt (noch) nicht ganz die Bildqualität und Performance externer, auf die 3D-Visualisierung optimierter Programme erreichbar ist. Um diesen Vergleich direkt ziehen zu können, wurde eine Schnittstelle für die GIS-externe Visualisierung in ENVIRO programmiert. Der Vergleich ergab, dass der Hauptunterschied in der Geschwindigkeit der *renderengine* besteht. Die Langsamkeit der GIS-internen Lösung steht allerdings dem Vorteil gegenüber, hier interaktiv die abgebildeten Geo-Daten beeinflussen und analysieren zu können.

Aus ähnlichen Gründen sind die existierenden Lösungsansätze im forstlichen 3D-Visualisierungsbereich auf „GIS-externe“ Module gestützt. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass die GIS-Software in Bezug auf 3D-Visualisierung in den letzten Jahren derartige Fortschritte gemacht hat, dass sie auf die speziellen forstlichen Anforderungen der 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und ihrer Entwicklung angepasst werden kann. Die in Computerkreisen für die nächsten Jahre angekündigte bis zu 60fache Leistungssteigerung von Rechnerprozessoren lässt weiterhin die Vermutung zu, dass auch die jetzigen Performanceprobleme bei hochdetaillierten Baumdarstellungen keine große Rolle mehr spielen werden. Der hier vorgestellte Ansatz ist vielversprechend, da er nicht nur jetzt schon die verschiedenen an ihn gestellten Ansprüche erfüllt, sondern auch an die genannten Entwicklungen angepasst werden kann. Damit könnte in Zukunft die derzeitige Kompromisslösung in puncto Realitätsnähe deutlich ausgebaut werden.

1. Einleitung

„Die positive Ergänzung der beiden Entwicklungslinien Visualisierung und Individuenbasierung besteht nun darin, daß die durch individuenbasierte Visualisierung erzeugten Bestandesbilder vom Menschen viel unmittelbarer erfaßt, interpretiert und beurteilt werden können, als abstraktere Beschreibungsgrößen wie Durchmesserverteilungen oder hektarbezogene Leistungsgrößen. Durch die Modellierung und Visualisierung auf der biologischen Anschauungsebene wird die besondere Fähigkeit des Menschen zur Mustererkennung, für die Modellentwicklung, Modellvalidierung und Modellanwendung nutzbar gemacht werden.“¹

Dass sich die Forstwirtschaft heute in einer krisenhaften Umbruchsituation befindet, die von vielen Fachvertretern als gravierende Legitimationskrise empfunden wird, ist inzwischen zu so etwas wie einem Gemeinplatz geworden. Die vielfältigen, in einem komplexen Wechselspiel stehenden Veränderungen in sozialer, ökonomischer und ökologischer Hinsicht, die den Hintergrund für den forstlichen Krisendiskurs bilden, stellen, darüber sind sich die maßgeblichen Akteure in der Forstwirtschaft einig, besondere Anforderungen an das normative Management von Forstbetrieben. Für den Forstbetrieb sind der Aufbau und die Pflege von Glaubwürdigkeits- und Verständigungspotenzialen zu einer Überlebensfrage geworden. In diesem Zusammenhang spielt der Begriff der „Partizipation“ seit einigen Jahren eine zentrale Rolle: Im Wesentlichen beinhaltet er das umweltpolitische Leitbild einer stärkeren Beteiligung von Bürgern, Bürgerinitiativen und Verbänden an lokalen, regionalen und gesamtstaatlichen Entscheidungen.²

Spätestens mit der Etablierung des Prozesses der Agenda 21 ist die Forderung nach der Beteiligung der Öffentlichkeit im Rahmen der Partizipation auch in Deutschland zu einem Leitprinzip geworden und schlägt sich in nationalen Forstprogrammen nieder. Vorreiter war hier Baden-Württemberg, das bereits 1999 Vertreter der unterschiedlichsten Interessensgruppen, Verbände und Sektoren wichtiger forstpolitischer Handlungsfelder in einem Dialogprozess versammelte, um Erwartungen der Gesellschaft an Wald und Forstwirtschaft bzw. der Waldbesitzer an die Gesellschaft zu formulieren.³

Das Ziel, die Transparenz in Entscheidungs- und v. a. Planungsprozessen zu erhöhen und die *stakeholder*-Orientierung⁴ zu einem zentralen Baustein der Betriebsführung zu machen, kann besonders vor dem Hintergrund eines durch Kontingenz und Zukunftsunsicherheit bei gleichzeitigem Handlungszwang geprägten Grunddilemmas der Forstwirtschaft⁵ als besonders ehrgeizig bezeichnet werden. Insbesondere im Bereich der forstlichen Planung ist das Bemühen um ein Mehr an Transparenz und Partizipation eine anspruchsvolle Aufgabe, für die neue Wege der Kommunikation beschritten werden müssen.

◦ *Problemstellung*

Die Kommunikationstechnologie, die im Zentrum der vorliegenden Arbeit steht, muss hier ihren Beitrag zum kurz skizzierten Leitbild leisten und die Visualisierungstechnik im Besonderen kann hier, so die hinter diesem Text stehende Grundüberzeugung, ein zentrales Instrument zur Trans-

¹ PRETZSCH u. SEIFERT 2000, S. 112

² vgl. WEBER u. SCHNAPPUP 1998; BUCHY u. HOVERMANN 2000

³ vgl. MLR 2000, S. 3

⁴ z.B. OESTEN u. ROEDER 2002

⁵ vgl. v. DETTEN 2001; MANN 1999

parentmachung und damit letztlich zu einer partizipativen Gestaltung forstbetrieblicher Entscheidungsprozesse leisten. Die Begründung dafür hängt eng mit einem zentralen Problem des forstlichen Wirtschaftens zusammen:

Als Kernproblem des forstlichen Management- und Planungshandelns wird hier die große räumliche und zeitliche Reichweite forstlicher Entscheidungen gesehen, deren Dimension, deren Abstraktionsgrad und deren Komplexität den menschlichen Vorstellungshorizont überschreiten.

Hier mag es hilfreich sein, sich beispielhaft die Schwierigkeiten zu vergegenwärtigen, vor denen Forstbetriebe (jedweder Besitzart) stehen, die unter dem Leitbild der „naturnahen Forstwirtschaft“ großflächigen Waldumbau oder Überführungsvorhaben verfolgen. Zur waldbaulichen und ökonomischen Herausforderung kommt hier die wachsende kritische Anteilnahme von gesellschaftlichen Anspruchsgruppen wie dem amtlichen und nichtamtlichen Naturschutz, Gemeindevertretern, der Holzindustrie und der interessierten Öffentlichkeit hinzu.

Ein Problem bei der Planung solcher Umbauvorhaben - insbesondere unter Einbeziehung eines größeren Kreises von Entscheidern bzw. *stakeholdern* - ist die Komplexität der Aspekte naturgemäßen Waldumbaus auf größeren Flächen. Diese führt sowohl in der forstlichen Planung als auch bezüglich des Ziels der Partizipation zu grundsätzlichen Problemen, da große Zeithorizonte beachtet und beplant werden müssen. Je größer die betrachteten Zeiträume sind, desto größer ist die Vielfalt der Implikationen, desto schwieriger wird die Vorhersagbarkeit und - daraus resultierend - desto unmöglicher wird die Vorstellbarkeit der Auswirkungen heutiger Maßnahmen. Vergegenwärtigt man sich zudem, auf welcher großer Fläche forstliche Umbaumaßnahmen vollzogen werden sollen, wird die Komplexität der Planungsaufgabe deutlich, die ohne ein Instrumentarium von Planungshilfen kaum zu bewältigen ist und vor allem nicht im Rahmen partizipatorischer Prozesse (oder im Rahmen der Umweltbildung) kommuniziert werden kann.

Die Faktoren „funktionale Komplexität“, „großer Zeithorizont“ und „großer räumlicher Bezug“ überfordern, so die hier zu Grunde liegende Kernthese, die menschliche Vorstellungskraft systematisch: Zur auch nur annähernden Erfassung derart komplexer Raum-zeitlicher Veränderungen von Waldstrukturen sind daher für verschiedene betriebliche wie überbetriebliche Aufgaben zweckmäßige, Komplexität reduzierende Entscheidungshilfen notwendig.

An dieser Stelle kommt der Gegenstand der vorliegenden Arbeit ins Spiel, die an der Fähigkeit des Menschen ansetzt, komplexe visuelle „Informationen“ interpretieren zu können: Durch die neuen Medien und die Möglichkeit zu ihrer rechnergestützten Bearbeitung und Auswertung von Daten mit Hilfe von Computersimulationen und Messungen bieten sich bislang noch zu selten genutzte Möglichkeiten, auch komplexe Sachverhalte greifbar zu machen.

◦ *Lösungsansätze*

Dass sich eine realitätsnahe Visualisierung als Diskussionsgrundlage und zu einer Akzeptanzerhöhung im Vorfeld einer geplanten Maßnahme gegenüber der Öffentlichkeit sehr gut eignet, konnte in einem Projekt der Abteilung Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme (gefördert durch die RWE Energie Aktiengesellschaft) gezeigt werden.¹ Aus dieser Studie lässt sich ableiten, dass sich ein entsprechend aufbereitetes Modul hervorragend für den Einsatz in der Planung, insbesondere

¹ vgl. HARM ET AL. 1998

für partizipative Planungsansätze sowie für die Umweltbildung eignet. Auch für den Bereich der Umweltbildung finden sich bereits erfolgreich durchgeführte Projekte, die zeigen, dass neue Medien (speziell zur 3D-Landschaftsvisualisierung) sehr gut von der Öffentlichkeit angenommen werden (vgl. z. B. ViWa, der „Virtuelle Wald“, der im Rahmen des Projektes „ErlebnisWald“ auf der Expo2000 der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wurde)¹.

Als Fazit lässt sich formulieren: Gerade um gesellschaftliche Gruppen im Wege der Partizipation wirklich an forstlichen Planungen beteiligen zu können, bedarf es solcher neuer Instrumente, um Planungsabsichten verständlich und glaubwürdig vermittelbar zu gestalten. Eine 3D-Visualisierung von Waldbeständen, Waldstrukturen wie Waldstrukturentwicklungen unter Verfolgung verschiedener alternativer Waldnutzungskonzepte könnte helfen, die interessierte Öffentlichkeit in die Planungen partizipativ einzubeziehen.

Entscheidend ist es im Rahmen einer solchen dynamischen Visualisierung, in der plausible zukünftige Entwicklungen von Wäldern und Waldlandschaften simuliert werden, dass die Prognose ein Höchstmaß an Verlässlichkeit zeigt. Kernstück einer solchen Entscheidungshilfe kann eine Software sein, die nicht nur geografische forstliche Informationen verarbeiten und kartenähnlich darstellen kann, sondern darauf aufbauend sowohl das Verhalten forstlicher Bestände in ihrer zeitlichen Entwicklung simuliert als auch die Option bietet diese Szenarien in realistisch wirkenden 3D-Modellen der einzelnen forstlichen Bestände in Bezug zu der umgebenden Landschaft darzustellen. Hiermit wäre es möglich die zukünftigen Bestände (die zukünftigen Bestandesbilder) aus verschiedenen räumlichen Perspektiven zu betrachten, Alternativen zu vergleichen und dabei die räumliche Ordnung sowohl in Bezug auf umgebende Bestände als auch auf die gesamte umgebende Landschaft mit einzubeziehen.

Teile eines solchen Instrumentariums existieren bereits. Es stehen schon heute eine Reihe von Simulationsmodellen zur Verfügung, die die langfristigen Veränderungen der Waldstrukturen modellhaft vorausberechnen können. Jedoch deutet vieles darauf hin, dass diese Modelle (die Benutzeroberfläche solcher Modelle) aufgrund ihrer Komplexität lediglich für eine Nutzung durch Spezialisten geeignet sind und Entscheidungsträger oder *stakeholder* in Entscheidungssituationen an die Grenzen ihrer Vorstellungskraft gelangen. Dies ist vor allem bei dem forstlichen Laien der Fall, dessen mangelndes Fachwissen alleine schon die Interpretation von textlichen oder grafischen Simulationsergebnissen erschwert, kann aber auch bei Fachleuten auftreten, deren bildliches Vorstellungsvermögen von solchen komplexen Aufgaben in hohem Maße beansprucht wird.

Von daher werden Modelle und Methoden benötigt, die es erlauben, Informationen anwenderfreundlich abzubilden. Durch die neuen Medien und die rechnergestützte Bearbeitung und Auswertung mit Hilfe von Computersimulationen in Kombination mit Visualisierungsprogrammen kann die zentrale Fähigkeit des Menschen, visuelle Informationen zu interpretieren, genutzt werden. Generell erscheinen visuelle Methoden zur Wissens- und Informationsvermittlung besonders geeignet zu sein². Dies lässt sich auch auf die Forstwirtschaft übertragen, besonders sobald Laien einbezogen werden, die durch die Präsentation „fertiger“ Waldbilder dazu befähigt werden, im Zuge der

¹ vgl. KNAUFT 2000; KNAUFT u. SLOBODA 2000

² U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE 1972; LANGE 2001

Partizipation und Umweltbildung an forstlichen Diskussionen teilzunehmen, aber auch für die „Forstprofis“ in der Forstplanung, um Planungsergebnisse zu überprüfen und diese untereinander einfacher kommunizieren zu können.¹

Im forstlichen Umfeld werden bereits Geografische Informationssysteme (GIS) eingesetzt. In einem GIS können komplexe raumbezogene Daten gesammelt, analysiert und aufbereitet werden sowie großräumige Zusammenhänge der Daten bzw. Informationen zueinander hergestellt werden. Allerdings fehlt hier die Integration eines der oben genannten Wachstumssimulatoren. Die Betreuung von Waldwachstumssimulatoren aus einem GIS heraus wurde bereits untersucht, die Rückführung der Ergebnisdaten stellt allerdings nach wie vor ein Problem dar.

Weiterhin gibt es die Möglichkeit räumliche Informationen dreidimensional (3D) am Computerbildschirm darzustellen. Dabei muss die Visualisierung nicht nur auf Bestandesebene erfolgen (wie z. B. die Aufrissdarstellung mancher Waldwachstumssimulatoren), sondern der Bestand kann mit dieser Art Software auch in seinem räumlichen Gefüge - und damit seinen Nachbarschaftsbeziehungen - in seiner forstlichen bzw. landschaftlichen Umgebung betrachtet werden. Es wird allerdings erst seit kurzer Zeit versucht, diese Art Software in die forstliche Planung einzubeziehen.² Hier zeigt sich noch deutlicher Handlungsbedarf.

◦ *Zielsetzung und Rahmenbedingungen*

Zusammenfassend lässt sich sagen: Der Nutzen einer Kopplung von GIS an eine 3D-Visualisierung im Forstfachbereich wird inzwischen vielerorts gesehen – bislang wurde eine 3D-Visualisierung allerdings nur GIS-extern verwirklicht. GIS wurden dabei als Datenbasis genutzt und Schnittstellen zu spezialisierten Visualisierungsprogrammen erstellt. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es hingegen, die genannten Vorteile der „GIS-gestützten 3D-Visualisierung“ konsequent auszuschöpfen und zu realisieren und damit großräumige 3D-Darstellungen von auf Einzelbaum-Ebene simulierten Waldvegetationsentwicklungen im GIS zu ermöglichen.

Im Rahmen einer Förderung durch das Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg (MLR)³ sollte aus den genannten Gründen ein GIS-basiertes Gesamtkonzept zur Simulierung und Darstellung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen erstellt werden, mit dem zusätzlich eine 3D-Darstellung von Bestandesentwicklungen sowohl auf Abteilungs-(Distrikt-)Ebene als auch auf der Ebene von kleinen Landschaftsausschnitten möglich wird.

Dieses Forschungsvorhaben ist dabei eng mit einem Projekt verbunden, das parallel am Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg durchgeführt wurde (Arbeitsgruppe „SDSS“). Bei diesem Projekt, das Teil des BMBF-Verbundprojektes Südschwarzwald⁴ ist, wird die Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungs-Systems zum Waldumbau bzw. zur Waldüberführung angestrebt.⁵

Ausgangspunkt der Arbeit war eine Untersuchung zur Überführung von einschichtigen Fichten-Reinbeständen in stufige Mischbestände mit Dauerwaldcharakter⁶. Dieses Projekt wurde im Rahmen

¹ PRETZSCH u. SEIFERT 2000

² BUCKLEY 1998; POTT 1998; HANEWINKEL 2003

³ Projekt-Nr. 0194E im MLR-Förderprogramm „Forschung und Untersuchung“

⁴ Vom BMBF gefördert im Rahmen des Programms „Zukunftsfähige Forstwirtschaft“.

⁵ Für dieses Projekt sei auf HANEWINKEL 2003 verwiesen.

⁶ HANEWINKEL 1996: Ein Projekt gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt 1995 und 1996, AZ: 04940

des BMBF-Projektes "Zukunftsorientierte Waldwirtschaft" fortgeführt. Dazu wurde der Aufbau eines Entscheidungsunterstützungssystems (Decision Support System - DSS) durch eine Arbeitsgruppe in Angriff genommen. Dieses DSS soll zur Entscheidungsunterstützung bei Waldumbau- und -überführungsmaßnahmen auf Betriebsebene dienen. Für eine erste Abbildung eines Überführungsprozesses hat sich in einer weiterführenden Untersuchung¹ der Einsatz eines distanzabhängigen Einzelbaumsimulators² bewährt.

Vor dem Hintergrund der skizzierten Problemstellung und der Rahmenbedingungen lassen sich mehrere Teilziele formulieren. Die übergeordnete **Zielsetzung** ist es, für forstliche Praktiker eine Anwendungsverbesserung ihrer GIS-Software zu erzielen. Dabei sollen das **Potenzial einer reinen GIS-Applikation** zur Simulation und Visualisierung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen auf großer räumlicher Einheit aufgezeigt und, wo nötig, neue Technologien hinzugezogen bzw. entwickelt werden. Das Lösungskonzept soll dabei für die drei angesprochenen Anwendungsbereiche optimiert werden - für die „interne“ forstliche Planung, den Bereich der Partizipation und für den Einsatz in der Umweltbildung.³ Statt hier drei unterschiedliche Instrumente zu entwickeln, wird eine Gesamtlösung angestrebt, die sich in der forstlichen Praxis mit einem möglichst geringen Aufwand realisieren lässt.

Ausgehend von den Softwarepaketen, die die forstliche Praxis derzeit im Bereich der Geografischen Informationssysteme (GIS) verwendet, ist es das primäre Ziel zu prüfen, ob und auf welche Weise diese Software derart erweitert werden kann, dass sie alle Anforderungen in Bezug auf die Simulation von Waldwachstumsprozessen und die Visualisierung der errechneten Szenarien gerecht wird. Weiterhin soll die Software ein aktives Arbeiten mit Zukunftsszenarien ermöglichen, d. h., die zu Grunde liegenden räumlichen Informationen zu den einzelnen Beständen sollen aus den verschiedenen Visualisierungstechniken heraus manipulierbar sein.

Der skizzierte Zielkatalog erfordert eine (inter-)aktive Integration von Simulationsmodulen und Visualisierungstechniken (vor allem dreidimensionalen) in bestehende GIS-Software. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist zu prüfen, inwieweit eine solche Komplettlösung derzeit umgesetzt werden kann und wo deren Stärken und Schwächen im Gegensatz zu (Software-)Einzellösungen liegen.

Die Zusammenführung verschiedener Einzellösungen wird Differenzen im Bereich der zu verarbeitenden Daten mit sich bringen. Es ist zu erwarten, dass die vorhandenen forstlichen Daten nicht ohne weitere Bearbeitung von vorhandener Simulationssoftware genutzt werden können. Ebenso werden Visualisierungsmodule nicht direkt die Ergebnisdaten von Simulationen verwenden können. Die Schaffung von so genannten Schnittstellen zwischen den einzelnen Softwarepaketen bzw. Modulen der angestrebten integrierten GIS-Lösung wird einen wichtigen Punkt der folgenden Forschungsarbeit darstellen.

¹ HANEWINKEL 1998

² SILVA 2.2 vgl. PRETZSCH ET AL. 1997

³ Alle drei genannten Anwendungsbereiche sind integraler Bestandteil des Forstmanagements (vgl. OESTEN u. ROEDER 2002). Da sich für die Teilaufgaben unterschiedliche Anforderungen an das zu entwickelnde Verfahren ergeben, sollen sie sprachlich voneinander getrennt werden. Grundsätzlich lassen sich zunächst die Bereiche der „Planung“ und „Umweltbildung“ unterscheiden, im Bereich „Planung“ werden aus pragmatischen Überlegungen heraus nochmals die Bereiche „interne Planung“ und „partizipative Planung“ voneinander abgegrenzt. Dabei meint die „interne“ Planung Bereiche ohne eine Beteiligung von weiteren Nutzergruppen, während die „partizipative Planung“ den Bereich bezeichnen soll, in dem forstliche Planung unter einem Einbezug externer Nutzergruppen erfolgt.

Die GIS-Software wird als Ausgangspunkt für die angestrebte Lösung gewählt, da sie derzeit eine gängige und äußerst wichtige Software in der forstlichen Planung darstellt.¹ Vor einigen Jahren wurde hier der Schritt von analogen Karten zur Planungsunterstützung zum digitalen GIS gemacht. Mit GIS können nicht nur Karten digital erstellt werden, die Stärke liegt vor allem in der Verwaltung und Analyse von umfassenden raumbezogenen forstlichen Informationen. Es ist davon auszugehen, dass die Arbeit mit dieser Software in der Forstverwaltung bekannt ist und Fachleute zur Verfügung stehen.

Die Waldstrukturentwicklung soll ausgehend von definierten Ausgangssituationen für die Zukunft prognostiziert werden. Hier ist zu prüfen, welche Simulationsmodule bereits bestehen, wie sich diese für forstliche Zwecke eignen und wie sie sich in GIS-Lösungen integrieren lassen.

Die Visualisierung von vorausberechneten Szenarien soll hauptsächlich in dreidimensionaler (3D) Ansicht ausgebaut werden. Diese sollen die potenzielle zeitliche Entwicklung von Waldstrukturen widerspiegeln. Das Ergebnis kann dabei nicht den Anspruch erheben, die Realität vollständig darzustellen. Das Ziel ist, über die Darstellung von möglichen Szenarien Problemfelder aufzuzeigen und „visuell (be)greifbar“ zu machen. Je nachdem in welchem der drei Anwendungsbereiche (forstliche Planung, Partizipation oder Umweltbildung) die 3D-Visualisierung eingesetzt werden soll, ergeben sich unterschiedlich hohe Ansprüche an die genannte Realitätsnähe, denen im Einzelnen nachgegangen werden muss.

Um die „Qualität“ von GIS-internen 3D-Visualisierungs-Lösungen bewerten zu können, werden externe 3D-Visualisierungsprogramme herangezogen, die auf diese Art der Visualisierung „spezialisiert“ sind. Bieten diese deutliche Vorteile, muss geprüft werden, ob und gegebenenfalls auf welche Weise sie in einen GIS-Ansatz integriert werden können.² Es ist zu erwarten, dass GIS-externe Visualisierungsprogramme nur eingeschränkt integriert werden können. Trifft diese Annahme zu, gilt es zu klären, ob es sinnvoll ist, dennoch für zu definierende Einsatzbereiche auf diese zurückzugreifen.

Zusammenfassend ergibt sich als Gesamtziel somit die Einbettung aller angesprochenen Lösungsansätze in ein bestehendes GIS, einschließlich eines „3D-Referenzsystems“ (Abbildung 1).

Dies ist der zentrale Ansatzpunkt für das Vorhaben mit den Unterzielen,

- auf der Grundlage von typisch forstwirtschaftlichen Daten aus dem bestehenden GIS heraus wirklichkeitsnahe Waldstrukturen- und Waldentwicklungssimulationen berechnen zu können,
- die im GIS gespeicherten bzw. in Simulationen errechneten Geo-Informationen auch in einem 3D-Visualisierungsmodul nutzen zu können,
- im Visualisierungsmodul Änderungen an der Datengrundlage vornehmen zu können, die dann auch direkt im GIS verfügbar sind,
- auf die Standardfunktionalitäten des GIS auch im Visualisierungsmodul zurückgreifen zu können (Analyse-, Verschneidungsfunktionen, ...),

¹ Grundlagen der Geographischen Informationssysteme werden sehr ausführlich bei BILL 1999a, BILL 1999b. Die Arbeit von SPORS 1996 beschreibt den Aufbau und Anwendungsmöglichkeiten eines raumbezogenen Forstlichen Informationssystems. Die zunehmende Bedeutung von GIS in der Forstwirtschaft wird sehr deutlich von KOCH u. SMALTSCHINSKI 1997 und TEUFEL u. KREBS 1996 beschrieben.

² Zur sprachlichen Abgrenzung wird im Folgenden von „GIS-internen“ und „GIS-externen“ 3D-Visualisierungen (oder „externen“ Lösungsansätzen) gesprochen. „Intern“ bezieht sich dabei immer auf Aussagen, die sich konkret auf das verwendete GIS beziehen. „Extern“ meint demgegenüber Inhalte, die nicht im GIS selbst, sondern durch Zuhilfenahme eines weiteren „Nicht-GIS-Programmes“ verwirklicht wurden.

- die Beschränkung auf den isolierten Bestand aufzuheben und Bestände auch in ihren Nachbarschaftsbeziehungen darstellen zu können,
- unterschiedliche Anforderungen für die Bereiche forstliche Planung, Partizipation und Umweltbildung zu definieren,
- die zu erarbeitende Lösung in Bezug auf diese unterschiedlichen Anforderungen zu diskutieren und
- die Qualität der Ergebnisse mit existierenden Ansätzen zu vergleichen.

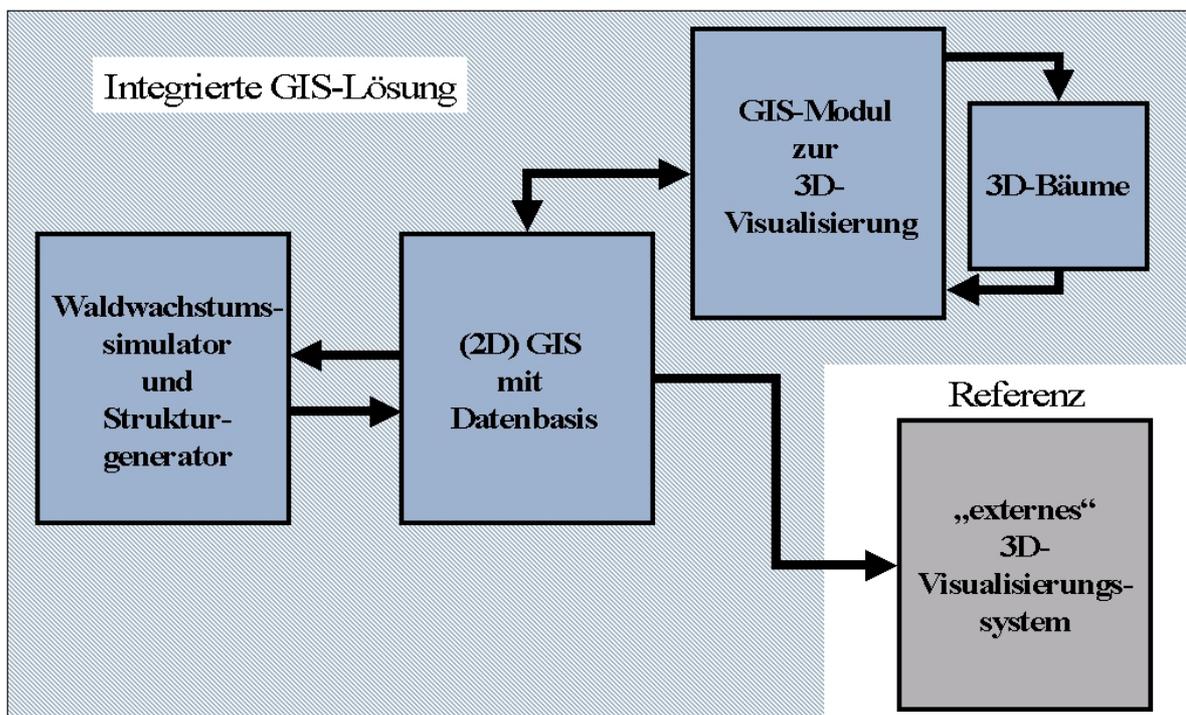


Abb. 1: Grafische Darstellung der technischen Komponenten einer integrierten GIS-Lösung und der Anbindung eines „externen“ 3D-Referenzsystems

◦ Erwartete Vorteile eines hochintegrierten GIS-basierten Verfahrens

Im Gegensatz zu bestehenden Lösungsansätzen würde ein hochintegrierter Ansatz zur GIS-basierenden 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und deren Dynamik das gesamte Potenzial der im GIS integrierten Funktionen auch in der 3D-Ansicht (3D-GIS) zur Verfügung stellen. Der Bedarf für eine stärkere Verknüpfung von GIS und 3D-Visualisierungseinheit ist vor allem auch durch die zukünftig zu erwartenden Aufgaben der Visualisierung begründet. Visualisierungen im Zusammenhang mit Planungsvorhaben und auch im Kommunikationsbereich dürfen nicht auf die Funktion der Präsentation begrenzt sein. Vielmehr sind hier Werkzeuge gefragt, die flexibel genug sind, um auf einer „realen“ Datenbasis Szenarien spontan darstellen zu können und Analysen in der Visualisierungsumgebung (in der 3D-Ansicht) zu ermöglichen. Ein GIS, um Funktionen zur 3D-Visualisierung ergänzt, erscheint hier als das geeignete Werkzeug, das diesen Ansprüchen genügt. Als wesentliche zu erwartende Vorteile sind zu nennen:

1) Die Integration aller notwendigen Module zentral im GIS

Die konsequente Einbindung aller für den Lösungsansatz benötigten Module in eine bestehende (bekannte) GIS-Umgebung ermöglicht die Bedienung aller Komponenten aus einer (gemeinsamen) Oberfläche heraus. Durch Nutzen einer bereits im Forst vorhandenen (eingeführten) GIS-

Software wird der Zugang zu dem „neuen“ Modul erleichtert und der notwendige Schulungsbedarf reduziert. Zusätzlich wird durch das Zurückgreifen auf eine möglicherweise schon bestehende Software-Infrastruktur die grundsätzliche Einführung eines neuen Verfahrens begünstigt.

2) Die zentrale Verfügbarkeit der Geodatenbasis

Aus der 3D-Umgebung ist ein direkter und damit schneller Zugriff auf sämtliche im GIS zur Verfügung stehenden Geodaten möglich. Diese können beliebig visuell angezeigt oder für Analysen herangezogen werden. So lassen sich beispielsweise Bäume oder Baumgruppen aufgrund von Informationen selektieren und bearbeiten, die nicht im Baumthema selbst enthalten sind (z. B.: „Finde 3D-Bestände mit Fichte Alter > 100 Jahre, auf vernässendem Standort, die an westexponiertem Hang stehen“). Unterschiedliche Entwicklungsszenarien (z. B. durch unterschiedliche Durchforstungsvarianten) können parallel vorgehalten und beliebig ein- und ausgeblendet werden, wodurch der Vergleich und die Bewertung vereinfacht werden.

Der Informationsgehalt wird zusätzlich dadurch erhöht, dass auch sämtliche mit den Geometriedaten verknüpften Sachinformationen innerhalb der 3D-Ansicht abgefragt und angezeigt werden können.

Die Ergebnisdaten des 3D-GIS stehen umgekehrt auch direkt für weitere Schritte der Planung und Analyse im GIS (auch außerhalb der 3D-Anzeige) zur Verfügung (direkte Aktualisierung der bearbeiteten Datenbasis).

3) Die Verfügbarkeit der typischen GIS-Funktionen auch in der 3D-Ansicht

Durch die mögliche Integration der Funktionen, die aus dem (Basis-)GIS übernommen werden können, wird auch in der 3D-Umgebung ein hoher Interaktionsgrad gewährleistet. Neben den typischerweise in 3D-Umgebungen gebotenen Navigationsmöglichkeiten böte ein 3D-GIS zusätzliche Funktionen zur Selektion, Verschneidung, Analyse und Manipulation (hinzufügen, entfernen, attributieren, ...) von Daten.

4) Ein hohes Maß an Flexibilität des 3D-GIS

Die Flexibilität besteht vor allem in Bezug auf die Erweiterbarkeit des Systems. Diese wird durch definierte (standardisierte) Schnittstellen gewährleistet. Liegen diese vor, lässt sich das 3D-GIS durch eigene Programmierung oder durch bereits vorhandene freie oder kommerzielle Erweiterungen ergänzen, was es erlauben würde fehlende Funktionen des 3D-GIS zu implementieren und dieses verhältnismäßig schnell an veränderte Ansprüche anzupassen.

◦ *Vorgehen*

Aus den Zielen abgeleitet ergibt sich folgende Vorgehensweise, die sich in der Gliederung dieser Arbeit widergespiegelt.

Den notwendigen Einstieg in die besprochene Problematik stellt die Beleuchtung der bestehenden Ansprüche aus der forstlichen Praxis an ein Visualisierungsmodul zur Darstellung und Kommunikation forstlicher Planungsentscheidungen bzw. Landschaftsentwicklungen dar. Es ist zu klären, wie diese Ansprüche aussehen, um einen Kriterienkatalog zu schaffen, an dem die Arbeit gemessen werden kann (Kapitel 2).

Eine intensive Auseinandersetzung mit dem Stand der Wissenschaft (Kapitel 3) und der derzeitigen Technologie soll aufzeigen, welche Ansätze bisher in dieser Richtung realisiert wurden und welche weiteren Technologien bestehen, die zur Lösung des Problems herangezogen werden können. An den resultierenden Überblick über bisherige Aktivitäten in den zielkonformen Bereichen wird sich

ein Vergleich der in der Literatur und Praxis genutzten Simulationsmodelle und 3D-Visualisierungsmöglichkeiten anschließen, aus dem sich die für diese Arbeit geeignete Methodenauswahl ergibt (Kapitel 4).

Die Forschung wird anhand eines konkreten Untersuchungsgebietes beispielhaft mit realen Daten (Kapitel 4) umgesetzt werden (Kapitel 5). Zunächst soll auf die Integration eines geeigneten Simulationsmoduls in die bestehende GIS-Software eingegangen werden, wobei besonderes Augenmerk auf die Schnittstellen zwischen beiden Systemen gelegt wird, die die Ein- und Rückführung von Daten in das Simulationsmodul, bzw. aus diesem in das GIS ermöglichen. Anschließend werden sowohl GIS-interne als auch -externe 3D-Visualisierungsmöglichkeiten beleuchtet.

Abschließend soll die vorgestellte Umsetzung der Lösungsansätze diskutiert werden (Kapitel 6), sowohl im Hinblick auf den Vergleich der ausgewählten Verfahren, besonders in der 3D-Visualisierung, als auch im Hinblick auf die definierten Anforderungen aus der forstlichen Praxis und ihren Zielerreichungsgrad. Es wird erwartet, dass die Verfahren je nach Einsatzbereich in der eigentlichen forstlichen Planung, in der Partizipation oder in der Umweltbildung unterschiedlich bewertet werden. Dies ist anhand von Nutzungsszenarien zu prüfen. Aufgrund dieser Prüfung der Ergebnisse wird abschließend sowohl ein Ausblick auf die empfohlene Zukunft der Softwarenutzung in der Praxis als auch eventueller Handlungsbedarf für die Forschung aufgezeigt werden.

◦ *Hinweise zum Lesen dieser Arbeit*

„Zitate werden links und rechts eingerückt und sind mit Hochkommata versehen.“

Zusatzinformationen vor allem zu technischen Inhalten sind links eingerückt und mit einem kleineren Schriftgrad versehen. Diese können überlesen werden, geben aber die Möglichkeit, bei Interesse zusätzliche Informationen (meist technischer Art) zu erhalten.

2. Ansprüche an ein technisches „kommunikatives“ Visualisierungskonzept für die forstliche Praxis

„The use of landscape visualizations should be appropriate to the stage of development of project under consideration, to the landscape being shown, to the types of decisions being made, to the audience observing the visualizations, to the setting in which the presentation is being made, and to the experience level of the preparer.“¹

Wer technische Verfahren für die (forstliche) Praxis entwickeln möchte, muss bei der Konzeptionierung und Umsetzung **praxisrelevanten Kriterien und Anforderungen genügen**. Hierbei stellt sich die Aufgabe, einen Kriterien- bzw. Anforderungskatalog zu entwickeln, der sich auf das konkrete, in vorliegender Arbeit zu entwickelnde Verfahren zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen bezieht. Ein solcher Katalog, der für den vorgenannten Bereich spezifisch wäre, ist bisher nicht vorhanden. Hinweise dazu ergeben sich aber aus Arbeiten, in denen sich die Autoren mit anderen praxisrelevanten Instrumenten im Bereich Forst- und Umweltplanung beschäftigen.

Auf einer allgemeinen Ebene hat OESTEN 1986² Kriterien für technologische Verfahren in der „**angewandten Wissenschaft**“ benannt.

Anforderungen, die generell an die Formulierung von Zielsystemen gestellt werden sollten, werden bei OESTEN und ROEDER 2002³ erläutert. Diese gehören also auch in die Planungsphase bei der Entwicklung eines technologischen Verfahrens.

Spezifischer haben OESTEN und WURZ 2002 ähnliche Kriterien für ein Bewertungsverfahren zur **Wildschadensbewertung** angeführt.

Mit Bezug zum Einsatz eines **Simulations- und Visualisierungsprogramms** im Zusammenhang mit dem Problemfeld der langfristigen **Steuerung forstlicher Produktionsprozesse** führt die Arbeit von KRAMER 2000⁴ Kriterien auf.

Kriterien zur Beurteilung von **GIS** als zentralem Hilfsmittel der **forstlichen Betriebsführung** finden sich bei HINRICHS 1994.⁵

WEIDENBACH 1998 setzt sich ausführlich mit den Anforderungen an ein GIS zum Einsatz in der Landschaftsplanung auseinander.

SHEPPARD 2001 diskutiert grundlegende Anforderungen für Richtlinien und Kriterien im Zusammenhang mit **Landschafts-Visualisierungen** zur Unterstützung der **Entscheidungsfindung**.

Anforderungen, die sich aus der **Visualisierung** von Landschaften, insbesondere im Zusammenhang mit **Landschaftsplanung**, ergeben, werden bei DORAU 1998, GEIER ET AL. 2001, LANGE 2001, MUHAR 1996 und SHEPPARD 2001 erörtert.

Kriterien zur **3D-Visualisierung** in Zusammenhang mit **Waldwachstumssimulation** diskutieren SEIFERT 1998, KNAUFT 2000, KNAUFT ET AL. 2001, PRETZSCH u. SEIFERT 1999 sowie PRETZSCH u. SEIFERT 2000.

¹ SHEPPARD 2001, S. 196

² OESTEN 1986, S. 5ff.

³ OESTEN u. ROEDER 2002, S. 95

⁴ KRAMER 2000, S. 42ff.

⁵ HINRICHS 1994, S. 82ff.

LEMM 2002 zeigt Kriterien und Ansprüche an einfache Simulationsmodelle für den Einsatz in der forstlichen Praxis auf.

Die in der Literatur diskutierten Kriterien und Anforderungen betreffen unterschiedliche Abstraktionsebenen. Dabei soll zwischen **inhaltlichen Kriterien** und **technischen Anforderungen** unterschieden werden. Die Vorschläge der genannten Autoren überschneiden sich in den zentralen Punkten und ergänzen sich in Detailbereichen. In Bezug auf das hier zu entwickelnde Verfahren lassen sich die zentralen Kriterien und Gesichtspunkte wie folgt einordnen:

Auf der ersten Abstraktionsebene wird bereits in der Planungsphase geprüft,

- 1) ob und unter welchen Voraussetzungen eine Verfahrensentwicklung **sinnvoll** ist.
- 2) Kommt es danach zu einer Verfahrensentwicklung, sind dabei zu unterscheiden:
 - 2.1) grundsätzliche ethische und effizienzgerichtete Anforderungen an die Entwicklung von **kommunikativen** Verfahren,
 - 2.2) Anforderungen, die sich durch die Verwendung eines **computertechnischen** Verfahrens ergeben (zu trennen nach a) Anforderungen durch Computer-Mensch-Interaktion und b) rein technischen Erfordernissen) und
 - 2.3) **inhaltliche** Anforderungen, die sich aus dem gewünschten spezifischen Informationszweck des Verfahrens ergeben.

Das hier zu entwickelnde Verfahren soll in unterschiedlichen Bereichen (Forstplanung, Umweltbildung und Partizipation) Anwendung finden. Diese erfordern jeweils eine unterschiedlich starke Berücksichtigung der o. g. Kriterien und Anforderungen, welche von daher in einem letzten Schritt

- 3) in Bezug auf die Erfordernisse der **Anspruchsgruppen** bzw. Anwendungsbereiche hin überprüft und gewichtet werden müssen.

Die aufgelisteten Kriterien und Anforderungen sollen in den folgenden Unterkapiteln in Bezug auf das konkret zu entwickelnde Verfahren - die 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen auf Einzelbaumbasis - eingeordnet werden. Die Tabelle 1 ordnet die aus der Literatur gewonnenen Kriterien und Anforderungen den unterschiedlichen Abstraktionsebenen zu und gibt so einen ersten Überblick über die folgenden Abschnitte.

| Abstraktions- ebene | Inhalt | Literatur (stellvertretend) | Kriterien / Anforderungen | Kapitel |
|--|---|---|---|------------|
| Grundvoraussetzungen für die Verfahrensentwicklung | | | | 2.1 |
| 1. Ebene der „Grundanforderungen“ | generelle Voraussetzungen für die Entwicklung eines Verfahrens | KRAMER 2000, S. 15ff.; LEMM 2002; MOOG u. SCHALLER 2002; OESTEN 1986, S. 12ff.; OESTEN u. ROEDER 2002, S. 95ff.; OESTEN u. WURZ 2002; SHEPPARD 2001 | <ul style="list-style-type: none"> • Zweckmäßigkeit • Informativität • Nützlichkeit • Bedarf • Relevanz • Neuheit • Wirtschaftlichkeit (ein günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis) • Zweckadäquanz • Aufwand • Erreichbarkeit/Realisierbarkeit • Effizienz • Effektivität • Praktikabilität (Anwendbarkeit) • Akzeptanz/Durchsetzbarkeit | 2.1 |
| Spezifische Anforderungen an ein kommunikatives Verfahren | | | | 2.2 |
| 2.1 Ebene der „Kommunikation“ | grundsätzliche Kriterien für ein ethisch verantwortliches und effizientes kommunikatives Verfahren | HINRICHS 1994; IMAGING SYSTEMS LABORATORY 2003; LANGE 2001; LEMM 2002; OESTEN 1986, S. 12ff.; OESTEN u. ROEDER 2002, S. 95ff.; OESTEN u. WURZ 2002; SHEPPARD 2001; WEIDENBACH 1998, S. 178ff. | <ul style="list-style-type: none"> • Transparenz/Nachvollziehbarkeit • Vertrauenswürdigkeit • Glaubwürdigkeit • Nachvollziehbarkeit • Überprüfbarkeit • Verständlichkeit • Vollständigkeit • Reliabilität • Aktualität der Methoden • Aktualität der Daten • Objektivität • Validität • Genauigkeit | 2.2.1 |

| | | | | |
|--|---|---|--|------------|
| 2.2 Ebene der „Computertechnik“ | spezifische Anforderungen an ein computergestütztes Verfahren | HINRICHS 1994, S. 82ff.; KNAUFT 2000, S. 84ff.; KRAMER 2000, S. 43f.; LANGE 2001; LEMM 2002; OESTEN 1986, S. 78; PRETZSCH u. SEIFERT 1999; SHEPPARD 2001 | a) Computer-Mensch-Interaktion <ul style="list-style-type: none"> • Benutzerfreundlichkeit • Einfachheit • Verständlichkeit • Kommunizierbarkeit • Robustheit/Stabilität • Verlässlichkeit • Komplexität reduzierend /vermittelnd • gute Präsentationsmöglichkeiten • Realitätsnähe der Darstellung • Interaktionsmöglichkeit i. e. S. b) technische Anforderungen an computertechnische Verfahren <ul style="list-style-type: none"> • Flexibilität (Integrierbarkeit, Ergänzung, ...) • Leistungsfähigkeit • Vielseitigkeit • Standardisierbarkeit • Anknüpfbarkeit an bestehende Standards | 2.2.2 |
| 2.3 Ebene des „Inhalts“ | spezifische inhaltliche Anforderungen aus dem Informationszweck | DORAU 1998; GEIER ET AL. 2001; KNAUFT 2000, S. 43ff.; KNAUFT ET AL. 2001; KRAMER 2000, S. 44ff.; LANGE 2001; LEMM 2002; MUHAR 1996; PRETZSCH u. SEIFERT 1999; PRETZSCH u. SEIFERT 2000; SHEPPARD 2001 | Funktionalität bezogen auf: <ul style="list-style-type: none"> • Datenintegration, -verarbeitung • 3D-Visualisierung • Waldstrukturdarstellung • Darstellung von Waldwachstumsentwicklungen | 2.2.3 |
| Bewertung der Kriterien und Anforderungen in Bezug auf die geplanten Einsatzgebiete | | | | 2.3 |
| 3. Ebene der „Anwendung“ | Bewertung und Gewichtung der Kriterien und Anforderungen je nach Anwendungszweck | | <ul style="list-style-type: none"> • für die Forstplanung • für die waldbezogene Umweltbildung • für die forstliche partizipative Planung | 2.3 |

Tabelle 1: Anforderungen an ein Verfahren auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen

2.1 Grundvoraussetzungen für eine Verfahrensentwicklung („Grundanforderungen“)

Jedes Verfahren muss in Hinblick auf einen spezifischen Einsatzzweck konzipiert werden, den es zu erfüllen hat (**Zweckmäßigkeit**). Das bedeutet, dass das Verfahren selbst bzw. seine Ergebnisse **informativ** und **nützlich** sein müssen sowie zur Orientierung dienen können. Zu allererst muss also das Ziel/der Zweck eines Verfahrens definiert werden. Der Zweck leitet sich aus einem grundsätzlichen Bedarf ab. Eine weitere grundsätzliche Anforderung ist also die Frage, ob überhaupt ein **Bedarf** für das geplante Verfahren vorliegt bzw. ob durch das Verfahren möglicherweise ein noch nicht erkannter Bedarf gedeckt wird. In Kapitel 1. wurde der Bedarf an adäquaten Methoden zur Visualisierung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen aufgezeigt. Eng mit dem Bedarf verknüpft ist das Kriterium der **Relevanz** - ein Bedarf besteht nur für relevante Themenbereiche.

„Ein Prognosemodell muss uns etwas sagen können, was wir ohne es nicht ohnehin schon wissen.“¹

Dass die Thematik der vorliegenden Arbeit relevant ist und auf ein vorhandenes Interesse aus der Praxis verweist, lässt sich bereits aus dem Sachverhalt ableiten, dass immer mehr Forschungsprojekte zu dem Thema geplant bzw. durchgeführt worden sind². Liegt ein Bedarf vor, ist vor einer Verfahrensentwicklung aber noch zu prüfen, ob nicht bereits Verfahren zur Deckung des Bedarfs existieren (Kriterium der **Neuheit** des Verfahrens) - in diesem Fall wäre eine Neuentwicklung unnötig.

Ein weiterer wesentlicher, vor der Konzeptionierungsphase zu prüfender Aspekt ist die **Wirtschaftlichkeit**: im Sinne eines günstigen Kosten-Nutzen-Verhältnisses. Die Wirtschaftlichkeit spielt besonders dann eine herausgehobene Rolle, wenn es um die Einführung eines neuen Verfahrens in der Praxis geht - denn nur wenn ein Verfahren wirtschaftlich ist, ist es auch wahrscheinlich, dass es in der Praxis eingesetzt wird. Um ein wirtschaftliches Verfahren zu entwickeln, gilt es bei der Konzeption des Lösungskonzeptes auch dem **Prinzip der Zweckadäquanz** (gerechtfertigter Aufwand) zu entsprechen. Dieses Prinzip kommt aus der Unternehmensbewertung und besagt, dass gewählte Methoden immer im „Lichte“ des konkreten Zweckes gerechtfertigt werden müssen.³ Auf den Bereich der Visualisierung übertragen bedeutet dies, dass die gewählte Visualisierungsform immer auf den beabsichtigten Visualisierungszweck abgestimmt sein muss („Wer visualisiert für wen mit welchem Ziel?“).⁴ Außerdem muss das Ziel mit einem vertretbaren **Aufwand** tatsächlich erreichbar sein (**Erreichbarkeit/Realisierbarkeit**) - eine hohe **Effizienz** ist gefordert (auch: „ökonomisches Prinzip“⁵).

¹ LEMM 2002, S. 19

² vgl. Kapitel 3.1

³ OESTEN u. WURZ 2002, S. 150

⁴ Im forstlichen Alltag reicht so z. B. ein Tabellenwerk möglicherweise aus. Im Diskurs mit der „Öffentlichkeit“ ist dies mit Sicherheit nicht ausreichend. Dort ist eher eine bildhafte realistische Darstellung notwendig, um ein Ziel zu erreichen bzw. Zusammenhänge verdeutlichen zu können.

⁵ Zum „ökonomischen Prinzip“ vgl. OESTEN u. ROEDER 2002, S. 100.

Dabei gilt: Ein Verfahren sollte so einfach wie möglich und nur so komplex wie nötig sein. Manchmal sind von der Zeit überholte, aber langjährig erprobte Technologien praxisnäher als neue, aber zu komplexe Technologien, die möglicherweise zu unhandlich, teuer und damit nicht anwendbar sind. Die **Effektivität** ist hier mit besonders engem Bezug zur Zielsetzung zu überprüfen. Bei fehlendem Zielbezug ist jedes noch so leistungsstarke oder kostengünstige Instrument ineffektiv.¹ Die Effektivität ist also immer in Bezug auf den Zweck zu bewerten (Prinzip der Zweckadäquanz).²

Im Zusammenhang mit den Ausführungen zur Wirtschaftlichkeit bedeutet die Forderung nach **Praktikabilität** (= **Anwendbarkeit**) vor allen Dingen, dass das Modell einfach und mit angemessenem Aufwand durchführbar/erstellbar sein muss.³

„Ob den bereitgestellten, als relevant erkannten Informationen ein aktives Informationsverhalten gegenüber stehen wird, soll unter dem Stichwort Praktikabilität eines Informationssystems geprüft werden. [...] Dabei muß Praktikabilität als wesentliches Kriterium für die Erreichung einer positiven Einstellungsakzeptanz gegenüber einer IT [Informations-Technologie, Erg. d. V.] verstanden werden.“⁴

Hier wird also als weiteres grundsätzliches Kriterium die **Akzeptanz** gegenüber den gewählten Methoden bzw. Mitteln genannt - im konkreten Fall gegenüber „Computertools“ zur (3D-)Visualisierung. Es hat sich gezeigt, dass Landschaftsplanungen und andere raumkonkrete Planungen mit Landschaftsbezug oft unter erheblichen Akzeptanzproblemen leiden.⁵ Planungsergebnisse werden oft sehr stark von den relevanten Akteuren (z. B. in der Öffentlichkeit) kritisiert. Daraus resultiert, dass die Planungen oft nicht in vollem Umfang realisiert werden - Projekte scheitern an der mangelnden **Durchsetzbarkeit**.⁶

Verfahren müssen so beschaffen sein, dass sie von den beteiligten Akteuren akzeptiert werden können. Dabei ist es in der Regel unabdingbar, die relevanten Akteure in der Planungsphase mit einzubeziehen: Alternativen müssen diskutiert werden und die Planungsszenarien mit unterstützenden Methoden dargestellt werden, um die Akteure mit dem Instrumentarium vertraut zu machen und etwaige Ablehnungsgründe auszuräumen.

Eine Erhöhung der Akzeptanz - in Bezug auf den Benutzer als „Bediener“ bzw. als „Betrachter“ - kann durch die Orientierung an ethischen Kriterien bzw. Kriterien der kommunikativen Verständlichkeit und Wirksamkeit (Kapitel 2.2.1) in der Verfahrensentwicklung⁷ sowie durch eine benutzer-gerechte Gestaltung des Verfahrens (konkret: der Computer-Mensch-Schnittstelle)⁸ erzielt werden.

¹ OESTEN u. ROEDER 2002, S. 100

² Die Zusammenhänge zwischen Wirtschaftlichkeit, Effizienz und Effektivität werden bei OESTEN u. ROEDER 2002, S. 100 erläutert.

³ vgl. MOOG u. SCHALLER 2002

⁴ HINRICHS 1994, S. 89

⁵ Zu den Akzeptanzproblemen in der Landschaftsplanung vgl. z. B. WEIDENBACH 1998, S. 154ff. und 177ff.

⁶ Im Sinne des „sozio-ökonomischen Kriteriums der Legitimität“ vgl. OESTEN u. ROEDER 2002.

⁷ und Erläuterung dieser während der Verfahrensanwendung

⁸ siehe Kapitel 2.2.2

2.2 Spezifische Anforderungen an ein kommunikatives Verfahren

Neben den allgemeinen, noch unspezifizierten Anforderungen, die im vorangegangenen Kapitel besprochen wurden, lassen sich der Literatur spezifische Anforderungen an technische Verfahren entnehmen, die sowohl die Phase der Konzeption als auch die des Einsatzes betreffen: Im Falle der Entwicklung eines 3D-Visualisierungsmoduls im Rahmen eines computergestützten Verfahrens muss eine Modellwelt geschaffen werden, an der plausible zukünftige Entwicklungen von Waldbeständen/Waldlandschaften aufgezeigt werden können.

2.2.1 Allgemeine Anforderungen an ein ethisch verantwortliches und effizientes kommunikatives Verfahren („Kommunikation“)

Hier sind grundlegende Kriterien für jedes kommunikative Verfahren anzuführen, das in der Praxis Einsatz finden soll - somit auch für die vorliegende Arbeit. Zur Ethik des kommunikativen Handelns werden eine Vielzahl von Kriterien diskutiert¹, von denen die zentralen hier genannt werden sollen. Bei der Verfahrenserstellung ist eine hohe **Transparenz** gefordert (welche Daten, von welchen Annahmen wird ausgegangen, ...). Das Verfahren und der dargestellte Inhalt muss **vertrauenswürdig** und **glaubwürdig** sein. Es sollte also **sachlich haltbar** und für alle Beteiligten **nachvollziehbar, überprüfbar** und **verständlich** sein.

„Ein Praktiker ist eher bereit mit einem Problem, das er nicht versteht, zu leben, als es mit einem Modell, in das er kein Vertrauen hat, zu lösen.“²

Um das Vertrauen und somit die Akzeptanz gegenüber neuen Verfahren zu stärken, bieten sich z. B. eine Zertifizierung bzw. Gütesiegel an. Sehr positiv bewährt haben sich aber auch Referenzen aus einer erfolgreichen Anwendung des Verfahrens (Vertrauen durch Bewährtheit: erst wenn sich ein Verfahren mehrfach im Praxisbetrieb als sinnvoll und praktikabel erwiesen hat, wird es allgemein akzeptiert und genießt Vertrauen).

Ein ganz zentraler Punkt bei der Anwendung computergestützter Verfahren ist es, herauszustellen, dass es sich bei den dargestellten Szenarien um Modelle handelt. Es muss zu jedem Zeitpunkt deutlich sein, dass diese Modellwelt nur einen Möglichkeitsraum darstellt und die Realität nur stark abstrahiert und damit unvollständig abbildet. Bei der Modellerstellung ist auch darauf zu achten, dass alle **relevanten Kriterien** vollständig erfasst werden (**Vollständigkeit**). Zudem sollte das Verfahren **eindeutige** und **stabile Ergebnisse** liefern (**Reliabilität**). Weiterhin besteht der Anspruch, dass bei der Verfahrensdurchführung auf **adäquate Methoden** zurückgegriffen wird, die dem **aktuellen Stand der Technik** („technologischer *status quo*“) entsprechen sowie dass das verwendete Datenmaterial möglichst aktuell ist bzw. dem abzubildenden Zeithorizont entspricht (Prinzip der **Aktualität**). Gerade bei Verwendung einer zeitlich variablen Information wie der Waldstrukturentwicklung ist der Zeitpunkt der Verwendung einer Information zu beachten. Die Aktualität einer Information nimmt ab, je größer der Abstand zwischen dem Zeitpunkt der Entstehung und dem Zeitpunkt der Verwendung ist.

¹ z. B. BURKART u. PROBST 1991 und die dort angegebene Literatur

² LEMM 2002, S. 18

Vor einer Einführung in der Praxis sollte ein Verfahren mit **Fachleuten diskutiert** werden, um mögliche Fehler aufzudecken bzw. um das Verfahren publik zu machen. Das Standardverfahren hierzu ist die Veröffentlichung in der einschlägigen Fachpresse. Erst dann kann ein Verfahren zu Zwecken der Kommunikation und der Entscheidungsfindung eingesetzt werden.¹

Bei der Auswahl der Methoden und der Datenbasis ist es entscheidend, dass die „Gütekriterien“ **Objektivität, Reliabilität** (der formale Grad der **Genauigkeit** von Methoden bzw. der Daten) und **Validität** (sind überhaupt die richtigen Methoden/Daten verwendet worden [**Plausibilität** und **Logik** der Modellannahmen/Datenbasis]) berücksichtigt werden.² So fordert z. B. das IMAGING SYSTEMS LABORATORY 2003:

„The aim of researchers and managers should be to ensure that [...] the visualizations are tied to underlying databases, and that the links between visualizations and data are verifiable, reliable, and accurate“.

Die Genauigkeit der erzeugten Ergebnisse hängt entscheidend von der Genauigkeit des Dateninputs (Datenqualität) ab. Diese Gütekriterien sind gerade für einen Einsatz im wissenschaftlichen Bereich anzustreben. In der vorliegenden Arbeit ist die Forderung nach Validität und Reliabilität vor allem an die in der Arbeit eingebundenen Module zur Waldstrukturgenerierung und zur Waldwachstums-simulation zu stellen.

2.2.2 Spezielle Anforderungen an ein computergestütztes Verfahren („Computertechnik“)

Besondere Anforderungen müssen an die Entwicklung bzw. Anwendung eines Verfahrens bei einem Rückgriff auf computergestützte Methoden gestellt werden - und dies in zweierlei Hinsicht:

- a) bezogen auf die besondere Bedeutung der Kommunikation mittels Computer-Mensch-Interaktion und
- b) bezogen auf die computertechnischen Aspekte.

ad a) Kommunikation mittels Computer-Mensch-Interaktion

Eines der zentralen Prinzipien (auch bei der Softwareentwicklung) ist die **Bedienerfreundlichkeit** (Synonym: **Benutzerfreundlichkeit**). Das bedeutet, dass sich das Modul am besten intuitiv bedienen lässt - das Modul ist möglichst „einfach“ zu handhaben (**Einfachheit**). Eine möglichst einfache Handhabung zeichnet sich dadurch aus, dass

- über die Benutzerschnittstelle Informationen abgeschirmt werden, die der Benutzer zur Ergebnisgestaltung nicht benötigt (Komplexitätsreduktion),
- fehlerhafte Eingaben zurückgenommen werden können (*undo*-Funktionen),
- sich die Benutzerschnittstelle in Bezug auf unterschiedliche Benutzergruppen („Bedienergruppen“) anpassen lässt und

¹ Kriterienblock in Anlehnung an OESTEN u. WURZ 2002, S. 150

² vgl. HINRICHS 1994, S. 85f.

- die (wichtigen) darzustellenden Informationen über die Benutzeroberfläche einfach aufzufinden sind.

Die Benutzerfreundlichkeit zeichnet sich des Weiteren durch **Robustheit**, **Verlässlichkeit** und **Schnelligkeit** des Systems aus.

Die Benutzerfreundlichkeit äußert sich zudem in einem **verständlichen** Aufbau und in der **Kommunizierbarkeit** des Dargestellten¹ als notwendige Voraussetzung, um inhaltlichen Missverständnissen entgegen wirken zu können. Hierzu ist eine optimale Wahl und Gestaltung der Darstellungsmittel notwendig. Grafische Darstellungen eignen sich hier z. B. meistens besser als tabellarische - der Mensch kann Bildinformationen besser auswerten und auf wesentliche Informationen komprimieren. Gerade für den Einsatz im Kommunikationsprozess ist es erforderlich, dass umfangreiche Möglichkeiten zur **Präsentation** der Ergebnisse zur Verfügung stehen, um so den Zugang zu den Ergebnissen zu sichern. Dabei sollte eine Präsentation mit unterschiedlichsten Medien (Drucker, Bildschirm, Projektoren, WWW, CD) und in unterschiedlichster Form (Einzelbild, Bildfolgen, (Film-)Animationen, interaktive Präsentation in Form von interaktiven Landschaften) möglich sein.

In Bezug auf den Kommunikationsbereich spielt der **Realitätsgrad** eine besonders große Rolle. Dieser ergibt sich aus der Kombination von einer möglichst hohen **Darstellungsqualität** und einem möglichst **niedrigen Abstraktionsniveau**. Je realistischer die dargestellten Modelle sind, um so besser ist das **Wiedererkennen** und somit in der Regel auch die Akzeptanz (s. o.). Zwischen dem Kriterium „Realitätsgrad“ und der Forderung nach **Komplexität reduzierenden** (besser: **vermittelnden**) Modellen besteht allerdings eine Komplementärbeziehung. Ein „zu viel“ an Informationsmenge ist hier vergleichsweise ähnlich ungünstig wie eine simplifizierende Darstellung. Es gilt daher ein Mittelmaß zwischen Realitätsgrad und Vereinfachung zu finden, um die Anforderungen an die Computer-Hardware auf einem technisch machbaren Maß zu halten. „Sehr realitätsnah“ bedeutet somit fast immer auch „sehr komplex“. Hier besteht das konkrete Problem, dass mit zunehmender Komplexität (und zunehmender Realitätsnähe) der Speicherbedarf und die sonstigen Leistungsanforderungen an das Computersystem steigen. Hier ist ein möglichst günstiges Aufwand-Nutzen-Verhältnis anzustreben. Je höher der Anspruch an die Realitätsnähe ist, desto höher ist die Komplexität, um so höher wird aber auch der Aufwand bei der Modellerstellung sein. Auf der anderen Seite ist ein möglichst hoher Realitätsgrad notwendig, um Fehlentscheidungen aus den Ergebnissen des Verfahrens zu vermeiden. Durch einen hohen Grad an Realitätsnähe lassen sich also Folgekosten minimieren. Das Fazit aus dem dargestellten Konflikt lautet: Ein Verfahren sollte so einfach wie möglich, aber auch so komplex wie nötig sein.

„Auch wenn einfacherer Modelle oft als bessere Lösungen erscheinen, stellen sie häufig eine Fehlerquelle dar, da möglicherweise zu weit gehende Abstraktionen oder Idealisierungen vorgenommen wurden.“²

Ein weiterer Gesichtspunkt ist die **Interaktion i. e. S.** („der Dialog der Software mit dem Benutzer“). Es gibt eine Fülle denkbarer Interaktionen zwischen dem Benutzer und der dargestellten Szene. Einige wesentliche werden bei HERWIG ET AL. 2000 genannt:

„Virtuelle Handlungen sollten in einer abfragenden „Landschaftsmetapher“ durchgeführt werden können. Mithilfe eines Visualisierungstools muss eine suchende, erprobende oder gar spie-

¹ nach OESTEN u. WURZ 2002, S. 150

² LEMM 2002, S. 17

lerische Variation vorgelegter Pläne rasch darstellbar sein. Eine derartige Möglichkeit bildet eine Voraussetzung, um den Akteuren zu vermitteln, wie sich die wesentlichen Aussagen einer Planung auf das Landschaftsbild beziehungsweise den Landschaftszustand auswirken. Die Visualisierung künftiger Landschaftszustände kann dabei im einfachsten Fall aus den Aussagen des Planers beziehungsweise von Text und Planungskarte(n) abgeleitet werden, interessanter erscheint zu diesem Zweck jedoch der Einsatz von Expertensystemen (Fuzzy-basiert), Szenariotechniken und Simulationsmodellen.“¹

Weitere Interaktionsanforderungen diskutieren FUHRMANN ET AL. 2001. Die Autoren führten dazu eine Befragung anhand konkreter Anwendungsbeispiele durch.

„Eine Analyse des Szenarios führt zur Identifizierung verschiedener 3D-Interaktionen wie beispielsweise das Selektieren, Verschieben oder Entfernen von Geoobjekten. Daneben werden auch die Geoobjekte identifiziert, in diesem Szenario zum Beispiel die Windkraftanlagen. Die Auswertung der Szenarien erlaubt die Gruppierung von universellen Interaktionen für die Geovisualisierung. Dabei konnten die folgenden Interaktionsgruppen extrahiert werden:

- Manipulation der Ansichtsparameter (Kameraposition),
- Änderung und Abfrage thematischer Attribute (Hinzufügen und Überarbeiten von Sachdaten, Geographic Brushing),
- Abfrage geometrischer Attribute (Länge, Oberfläche, Schwerpunkt),
- geometrische Manipulationen (Verschieben, Extrudieren, Spiegeln, Radius vergrößern, Anordnen, freihändig zeichnen, Abrunden, Oberfläche glätten),
- strukturelle Manipulationen (Gruppieren, Teilen),
- Änderung visueller Ausprägungen (Farbe, Reflexionsverhalten),
- Fangoperationen (Endpunkt eines Objekts, Mittelpunkt, Lot).“²

Ein weiteres wichtiges, bei den Autoren nicht genanntes Kriterium im Zusammenhang mit der Interaktion ist die **Manipulierbarkeit** der Datenbasis. Das Verwalten, Analysieren, Bearbeiten und Auswechseln von Daten ist eine besonders wichtige Anforderung, wenn im Kommunikationsbereich verschiedene zu diskutierende Varianten (spontan) entwickelt werden sollen.

Einige der in diesem Kapitel besprochenen Anforderungen (z. B. die an die Präsentationsmöglichkeiten) betreffen selbstverständlich auch computertechnische Aspekte i. e. S. und ließen sich von daher auch in dem nachfolgenden Gliederungsabschnitt einordnen.

◦ *ad b) Computertechnologische Aspekte*

Ein computertechnisches Verfahren sollte **leistungsfähig**, **vielseitig** und **flexibel** sein. Der wichtigste computertechnologische Aspekt neben der angemessenen Ausstattung (Zweckadäquanz, s. o.) ist die **Flexibilität** - dies besonders in Bezug auf die Erweiterbarkeit und die Form des notwendigen Inputs. Ein Modell

„[...] ist nie fertig, muss dauernd neue Einsichten verarbeiten und neue Funktionen oder Dienste aufnehmen können. [...] Softwarelösungen müssen sich somit einfach und kostengünstig an ändernde Bedingungen anpassen lassen, d. h., flexibel sein.“³

¹ HERWIG ET AL. 2000, S. 136

² FUHRMANN ET AL. 2001, S. 194

³ LEMM 2002, S. 17f.

In diesem Zusammenhang spielt der Schlüsselbegriff der „**Integration**“ eine besonders große Rolle. Diese lässt sich ganz allgemein mit „Anschlussfähigkeit“ umschreiben und prägt im besonderen Maße die Flexibilität eines computergestützten Verfahrens. Im vorliegenden Zusammenhang sind als Ausprägungen die „Datenintegration“, die „modulare Integration“ und die „Integrationsfähigkeit in bestehende Strukturen“ zu sehen. Diese sollen nachfolgend weiter ausgeführt werden:

Da die Datenerhebung den größten Kostenpunkt in einer Projektdurchführung darstellt, sollte ein gutes computertechnisches Verfahren möglichst alle bereits vorhandenen und verfügbaren Daten nutzen können (**Datenintegration**). Dieser Sachverhalt lässt sich auch als **Ökonomie der Inputbeschaffung** bezeichnen.¹ Der Aufwand für das Beschaffen der Inputgrößen darf nicht größer sein als der daraus resultierende Nutzen.

„Um den Prozess der Datenerfassung möglichst effizient zu gestalten, wird für die Visualisierung der virtuellen Landschaft versucht, Daten zu integrieren, die schon vorhanden sind [...]“²

Um die genannte Datenintegration und den **Austausch** mit anderen Standardapplikationen zu ermöglichen, müssen gegebenenfalls **Schnittstellen** (Import- und Export-Funktionen) programmiert werden - und dies für die wichtigsten Austauschformate im Bild- (IMG, TIFF, GeoTiff, JPG, BMP) und Vektordatenbereich (AutoCad DXF, *shapefile*, ARC/INFO-Coverformat).

Um zusätzliche Kosten einsparen zu können, ist zudem eine **Integration** in die bereits bestehende **EDV-Infrastruktur** (Hardware und besonders Software) anzustreben („**modulare Integration**“).

Das computertechnische Verfahren sollte sich des Weiteren durch **Ergänzbarkeit** (Aktualisierbarkeit) in Hinblick auf neue Informationen auszeichnen. Ein möglichst „offenes“ System garantiert, dass zusätzliche Informationen eingespielt und genutzt werden können und neue Produkte und Versionen im Bereich der Soft- und Hardware ohne großen Aufwand integrierbar sind. Dabei sollte das computertechnische Verfahren eine gewisse **Stabilität** aufweisen: Trotz notwendiger Weiterentwicklungen und Ergänzungen des Systems müssen bereits erfolgte Programmierungen weiterhin nutzbar bleiben.

Für eine großflächige Einführung in einer so großen Organisation wie der Forstverwaltung ist gegebenenfalls auch eine **Standardisierbarkeit** notwendig („**Integrationsfähigkeit in bestehende Strukturen**“). Diese impliziert auch, dass an bereits **bestehende Standards** angeknüpft wird (um die Einführung eines neuen Verfahrens zu erleichtern).

2.2.3 Anforderungen hinsichtlich der zu vermittelnden Inhalte („Inhalt“)

Ausgehend von den speziellen zu vermittelnden Inhalten ergeben sich einige Anforderungen an die Funktionalität der eingesetzten Software und der verwendeten Computer-Hardware.

An das Visualisierungsmodul werden ausgehend von der Fragestellung vier Hauptanforderungen bezüglich der **Funktionalität** gestellt:

¹ LEMM 2002, S. 18

² LANGE 2001, S. 513

- a) Das Modul muss **Daten** integrieren können, die den zu visualisierenden Sachverhalt wiedergeben (konkret: Informationen über Waldstrukturen und deren zeitliche Entwicklung).
- b) Das Modul muss die Funktion besitzen, auf Einzelbaumebene operieren zu können: d. h., wenn keine Einzelbaumdaten vorliegen (dies ist bei der typischerweise gegebenen forstlichen Datenbasis de facto der Fall), muss das Modul diese aus den vorhandenen Daten erzeugen können. Dazu ist ein integrierter oder eingebundener Einzelbaum-**Strukturgenerator** notwendig.
- c) Um Waldstrukturentwicklungen aufzeigen zu können, müssen Algorithmen zur **Wachstums-simulation** implementiert werden oder es ist ein geeigneter Waldwachstumssimulator zu integrieren.
- d) Für die Visualisierung ist eine 3D-Darstellung (genauer: in Bildern mit 3D-Wirkung) anzustreben. Hierzu müssen in dem Modul die vorhandenen Daten für die 3D-Darstellung aufbereitet und spezielle Algorithmen für eine effiziente **3D-Visualisierung** integriert werden können oder die (aufbereiteten) Daten müssen an ein spezialisiertes Visualisierungsmodul übergeben werden können.

◦ *ad a) Datenintegration*

Da die Visualisierung für eine große Organisationseinheit (z. B. Forstamt mit Distrikten) angestrebt wird, muss eine großflächige Darstellung möglich sein. Für die Visualisierung von Waldstrukturen, die über die Bestandesebene hinausgehen, ist somit die Notwendigkeit gegeben, **große Datenmengen** verwalten zu können.

Verschiedene Datenebenen müssen kombinierbar sein, da sich oft erst aus der **Kombination verschiedener Informationsebenen** ein gesuchter bzw. notwendiger (Ausgangs-)Zustand ermitteln lässt. In der vorliegenden Arbeit ist es notwendig, Informationen auf den verschiedensten thematischen Ebenen zusammenzuführen (die sich nur durch den räumlichen Bezug der verschiedenen Ebenen ableiten lassen), um die vorliegenden Flächengeometrien mit allen notwendigen Informationen zu verbinden, die als Ausgangsinformationen für die Generierung von Waldstrukturen und zur Simulation von deren Entwicklung notwendig sind.

Obwohl gerade in den Planungsdisziplinen viel von Information und Partizipation die Rede ist, mangelt es in den gegenwärtigen Planungsverfahren in der Regel an allgemein verständlichen Bildern. Soll eine (3D-)Visualisierung im Bereich der forstlichen Umweltbildung und bei forstlichen partizipativen Planungsansätzen genutzt werden, so sind die Sachverhalte sachlich haltbar, verständlich und glaubwürdig zu veranschaulichen.¹ Beim Einsatz von Visualisierungen in solch einem Kommunikationsprozess ist vor allem darauf zu achten, dass ein hoher **Wiedererkennungsgrad** durch ein niedriges Abstraktionsniveau erreicht wird. Wenn bei der Visualisierung nur Wald dargestellt wird, geschieht die Kommunikation u. U. auf einem zu abstrakten Level. Kann die (Entwicklung der) Vegetation demgegenüber in einem gesamträumlichen Zusammenhang visualisiert werden - werden also auch andere räumliche Objekte wie Straßen, Bauten und markante bekannte Punkte mit dargestellt -, so fühlen sich Betrachter mit der Szene eher vertraut und können sich die dargestellte Entwicklung besser vorstellen. Zur Visualisierung des Objektes Wald sollten hierbei unterschiedliche räumliche Objekte / thematische Ebenen einbezogen werden. Dabei handelt es sich um die eigentliche Vegetationsebene, eine Geländeebene (Relief) und deren „Oberflächendarstellung“ (Farbe,

¹ vgl. Kapitel 2.2.1

Textur durch Luft-/Satellitenbild), andere physisch sichtbare Objekte wie Straßen, Stromleitungsnetz und Bauten (Häuser, Brücken, Aussichtstürme, ...) sowie um nicht sichtbare Objekte wie Grenzen (Verwaltungs-, Besitz-, ...) und Schutzgebiete. Der Vorgang des „Wiedererkennens“ hat etwas mit einer realistischen Darstellung und einer damit verbundenen Mustererkennung zu tun.

Aus den vorgenannten Ausführungen lässt sich die Anforderung einer umfassenden Datenhaltung ableiten. Diese ist fast ausschließlich in einem GIS möglich, weshalb ein solches in der vorliegenden Arbeit als zentraler Teil zur Datenhaltung genutzt werden soll.

◦ *ad b) Operation auf Einzelbaum-Ebene*

„Gegenüber Modellen, die die Bestandesentwicklung auf der Grundlage von Häufigkeitsverteilungen, Mittelwerten oder Summenwerten nachbilden, ist die Beschreibungsebene in Einzelbaummodellen identisch mit der Ebene der biologischen Anschauung. [...] Die positive Ergänzung der beiden Entwicklungslinien „Visualisierung“ und „Individuenbasierung“ besteht nun darin, dass die durch individuenbasierte Visualisierung erzeugten Bestandesbilder vom Menschen viel unmittelbarer erfasst, interpretiert und beurteilt werden können, als abstraktere Beschreibungsgrößen wie Durchmesserverteilungen oder hektarbezogene Leistungsgrößen.“¹

Die Modellierung und Visualisierung auf Einzelbaumebene birgt einen zusätzlichen Informationsgewinn, da bei Abbildung jedes Einzelbaums als individueller Körper (Objekt) dieser in der Visualisierung ausgewählt werden kann und somit die mit ihm verbundenen Informationen in der verknüpften Sachtabelle angezeigt (z. B. die Dimensionen des Baumes) werden können und der Einzelbaum in seinem nachbarschaftlichen Gefüge (Abstände zu seinen Nachbarn, Lage im Raum) analysiert werden kann.

Um diese Einzelbaumstruktur aus der gegebenen Datengrundlage erzeugen zu können, ist die Einbindung eines Strukturgenerators (oder dessen Funktionalität) in das Modul notwendig.

◦ *ad c) Integration von Wachstumssimulatoren*

Um Waldentwicklungsszenarien aufzeigen zu können, muss ein Werkzeug neben den räumlichen Zusammenhängen auch die zeitliche Entwicklung veranschaulichen können. Das bedeutet, dass für die gleiche räumliche Einheit verschiedene zeitliche Entwicklungszustände generierbar und die prognostizierten Zustände speicherbar und aufzeigbar sein müssen.

„Erst mit Hilfe computergestützter Simulationsmodelle wird es möglich, den Faktor Zeit innerhalb der Wachstumsprozesse auszuschalten, um so eine 'zeitlose' Entwicklung und kontinuierliche Steuerung von Waldbeständen zu ermöglichen. Durch die Verwendung eines Simulationsmodells, bei dem das reale System in seinen wesentlichen Elementen und Systemzusammenhängen vereinfacht abgebildet wird [...], ist es möglich, die Handlungen an sich ins Zentrum der Betrachtung zu rücken und zu untersuchen, ob ihre zeitliche Abfolge als zielorientierte Steuerung beschrieben werden kann.“²

Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Funktionen eines Waldwachstumssimulators oder einen solchen selbst in das Modul zu integrieren.

¹ PRETZSCH u. SEIFERT 1999, S. 962

² KRAMER 2000, S. 42

Ein modernes System zur Visualisierung von Waldentwicklungsszenarien muss auch verschiedene Varianten der Planung interaktiv visualisieren können (auch Auswirkungen nicht erwünschter Szenarien).

„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.“¹

◦ *ad d) Integration einer 3D-Visualisierung*

„Soll die traditionell mit eher abstrahierten Darstellungen arbeitende Planung [für „Planungslaien“ wie auch für die „Experten“, Erg. d. V.] visuell besser begreifbar werden, muss sie in und mit der dritten Dimension arbeiten - die reale Welt ist es ebenfalls.“²

Die **3D-Visualisierung** unterstützt Planende dabei, die räumlichen Zusammenhänge besser erfassen zu können. Dabei ist es für sie sehr hilfreich, dass in dieser Visualisierungsform die Bestände aus jedem beliebigen Blickwinkel betrachtet werden können.³

Gerade im Bereich der Umweltbildung und der forstlichen partizipativen Planung ist die Verwendung der dritten Dimension als adäquates Mittel anzusehen, um die komplexen Zusammenhänge der Fragestellung zu veranschaulichen - ist hier doch ein hoher Realitätsgrad in der Darstellung gefordert (vgl. auch „ad a“).

„Die Darstellung von Vegetationsbeständen ist eine wesentliche Komponente bei der realitätsnahen, dreidimensionalen Visualisierung flächenbezogener Landschaftsdaten.“⁴

Aus der Einzelbaum-basierten 3D-Visualisierung ergeben sich allerdings sehr hohe Anforderungen an das **Computersystem (Hardwareausstattung und Software, s. o.)**.

„Damit die Darstellung ganzer Landschaften in ihrer Komplexität zumindest annähernd der Realität nahekommen kann, braucht es eine Fülle von Daten, die für die 3-D-Visualisierung geeignet sind.“⁵

Die Hardware muss **große Datenmengen verwalten** können und für die Darstellung in der dritten Dimension ist vor allen Dingen ein leistungsfähiges Grafiksystem gefordert, das mit einer Software kombiniert wird, die moderne **Algorithmen** zur Rechenzeitverkürzung (LOD, *billboard*, ...) - auch hardwareseitig - unterstützt.

„Die dreidimensionale Visualisierung von realen oder geplanten Landschaften stellt hohe Anforderungen an die Systemarchitektur und insbesondere an die Rechnerleistung. Ein wesentlicher

¹ KNAUFT 2000, S. 43

² LANGE 2001, S. 517

³ vgl. SEIFERT 1998

⁴ MUHAR 1996, S. 224

⁵ LANGE 2001, S. 513

Grund dafür ist sicherlich der Umgang mit der Vegetation: Ein einziger, sehr detailliert modellierter Baum kann mehr Datenvolumen beanspruchen als ein ganzes Bauwerk.“¹

◦ **Fazit**

Die Anforderungen, die in den obigen Abschnitten im Einzelnen diskutiert wurden, sind in der Zusammenschau komplex und vielgestaltig. Derzeit gibt es keine Software, die allen geforderten Funktionen im Hinblick auf die inhaltlichen Anforderungen gerecht werden könnte. Der Aufwand einer Neuprogrammierung solch einer Software wäre jedoch immens. Sinnvoller erscheint es demzufolge, verschiedene Programme zu kombinieren, um die gewünschte Funktionalität zu erhalten. Hieraus entsteht der Anspruch eines **modularen Konzeptes**. Um dieses erreichen zu können, bedarf es der Möglichkeit, **Schnittstellen** zu implementieren, da nur so die Verknüpfung der verschiedenen Bestandteile - Datenbasis, Waldstrukturgenerator, Waldwachstumssimulator und 3D-Visualisierungswerkzeug - ermöglicht wird.

„Insbesondere die Kopplung verschiedener Systeme stellt hohe Ansprüche an die zu implementierenden standardisierten Schnittstellen.“²

Für den **Ad-hoc**-Einsatz muss das System möglichst flexibel sein. Neben der Funktionalität der Software ist gerade das zu Grunde liegende Rechnersystem von entscheidender Bedeutung. Dieses sollte die gestellten Aufgaben mit möglichst kleinem **Rechenaufwand** (Zeitaufwand) durchführen können. Die Auswahl des Systems ist dabei von den Anwendungszielen abhängig. Für die Planung waldbaulicher Maßnahmen i.e.S. aber auch für den Einsatz im öffentlichen Kommunikationsprozess sollten so z. B. auch **Analysemöglichkeiten** für die **Dateninterpretation** sowie eine Gegenüberstellung von verschiedenen **Szenarien** darstellbar sein, um den Einfluss waldbaulichen Handelns zu veranschaulichen. Bei der komplexen Breite der genannten Anforderungen und den resultierenden hohen Anforderungen an das Computersystem ergibt sich die Frage, ob diese durch „marktübliche“ PCs erbracht werden können oder ob es notwendig ist, spezielle teure Computersysteme einzusetzen.

2.3 Bewertung der Kriterien und Anforderungen in Bezug auf die geplanten Einsatzgebiete („Anwendung“)

In den vorangegangenen Kapiteln wurden unterschiedliche Kriterien und Anforderungen an computergestützte Verfahren der 3D-Visualisierung diskutiert. Diese müssen alle für den Praxisbetrieb in einem Mindestmaß erfüllt werden. Die Gewichtung kann aber je nach formuliertem Anwendungszweck unterschiedlich sein. An dieser Stelle wird der Versuch unternommen, die Kriterien bezüglich ihrer Wichtigkeit für die geplanten Einsatzgebiete „Forstplanung“, „waldbezogene Umweltbildung“ und „forstliche partizipative Planung“ zu ordnen. Dabei sollen nur die wichtigsten, für die Verfahrensentwicklung im engeren Sinne zu berücksichtigenden Kriterien und Anforderungen herangezogen werden. Viele der grundlegenden, auf der ersten Abstraktionsebene („Grundanforderungen“) genannten Kriterien (wie Bedarf und Relevanz) sind auf jeden Fall, unabhängig von dem eigentlichen Verfahren, bereits vor einer Verfahrensentwicklung zu berücksichtigen. Eine Aus-

¹ GEIER ET AL. 2001, S. 231

² KNAUFT ET AL. 2001, S. 161

nahme bildet hier die Wirtschaftlichkeit, auf die noch gesondert eingegangen werden muss. Auch die Kriterien der zweiten Abstraktionsebene („Kommunikation“) sind allgemein gültig und haben eher den Charakter allgemeiner „Leitlinien“ oder „-prinzipien“ für den Verfahrensentwickler und moderierenden Anwender des Verfahrens (an denen diese sich „messen“ lassen müssen).¹ Auch hier handelt es sich um allgemein gültige Kriterien, die generell für jedes Verfahren zu berücksichtigen sind. Etwas genauer besprochen werden muss hier allerdings die Forderung nach wissenschaftlicher Exaktheit (Genauigkeit) - dies soll nachfolgend noch geschehen. Zum Vergleich verschiedener Verfahren bzw. als Richtlinien für ein zu entwickelndes Verfahren in Bezug auf den Anwendungsbereich sind die Kriterien und Anforderungen der weiteren Abstraktionsebenen bedeutungsvoll. Aus diesen sollen die jeweils wichtigsten ausgewählt und mit den vorgenannten Kriterien „Wirtschaftlichkeit“ und „Genauigkeit“ in Tabelle 2 aufgelistet und bezüglich der Anwendungsgebiete gewichtet werden.

Wie aus der Tabelle 2 ersichtlich, sind für die „interne“ Forstplanung die technischen Ansprüche sowie die Genauigkeit der Daten und der Ergebnisse von herausgehobener Bedeutung, während im Bereich der waldbezogenen Umweltbildung eher hohe Ansprüche aus Benutzersicht (Bedienerfreundlichkeit und Realitätsnähe) und eine möglichst kostengünstige Lösung an erster Stelle stehen. Die Anforderungen an ein Modul für den partizipativen Bereich sind am größten. Hier treffen die hohen technischen Anforderungen aus der Forstplanung mit den hohen Benutzeranforderungen aus der Umweltbildung zusammen. So erfordert es die **partizipative Planung** im Rahmen der örtlichen Landschaftsplanung laut HERWIG ET AL. 2000,

„[...] dass das Visualisierungswerkzeug möglichst weit den Anforderungen der Nutzer an Informationsgehalt, Darstellung, Detailgenauigkeit, Veränderbarkeit von Szenen und interaktive Beeinflussbarkeit entspricht. Des Weiteren sind die Ansprüche der Anwender an die technische Bedienbarkeit, Steuerbarkeit der Darstellungen, Auswahl beziehungsweise Vielfalt der mögli-

¹ Aus SHEPPARD 2001, S. 196 lässt sich ein „Ehrencodex“ für den Bereich der Landschaftsvisualisierung zitieren, dem auch die Passage entnommen wurde, die dem Kapitel 2. vorangestellt wurde:

„Code of Ethical Conduct

The use of landscape visualizations should be appropriate to the stage of development of project under consideration, to the landscape being shown, to the types of decisions being made, to the audience observing the visualizations, to the setting in which the presentation is being made, and to the experience level of the preparer. In general, preparers and presenters of landscape visualization should:

- Demonstrate an appropriate level of qualifications and experience
- Use appropriate visualization system(s) and media for the purpose
- Choose the appropriate level(s) of realism
- Identify, collect, and document supporting visual data available for or used in the visualization process; conduct an on-site visual analysis to determine important issues and views
- Seek community input on viewpoints and landscape issues to address in the visualizations
- Estimate and disclose the expected degree of error and uncertainty
- Use more than one appropriate presentation mode and means of access for the affected public
- Provide the viewer with a reasonable choice of viewpoints, view directions, view angles, viewing conditions, and timeframes appropriate to the area being visualized.
- Present important non-visual information at the same time as the visual presentation
- Avoid the use or the appearance of “sales“ techniques or special effects
- Avoid seeking a particular response from the audience
- Provide information describing how the visualization process was conducted and key assumptions/decisions taken
- Record responses to visualizations as feedback for future efforts
- Conduct post-construction evaluations to document accuracy of visualizations or changes in project design/construction/use.“

chen Landschaftsstrukturen oder Objekte, Schnittstellen und Dateneingabe, Menüführung etc. zu berücksichtigen.“

| Kriterium | Forstplanung i. e. S. | Umweltbildung | Partizipation |
|----------------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| Wirtschaftlichkeit | ! | !! | ! |
| Genauigkeit (der Daten) | !! | ! | !! |
| Benutzerfreundlichkeit | ! | !! | ! |
| Kommunizierbarkeit | ! | !! | !! |
| Präsentation | ! | !! | !! |
| Realitätsnähe (der Darstellung) | ? | !! | !! |
| Interaktion | !! | ! | !! |
| Manipulierbarkeit der Daten | !! | ? | !! |
| Leistungsfähigkeit (des Systems) | !! | ? | !! |
| Flexibilität | !! | ! | !! |
| Funktionalität | !! | ! | !! |
| Modularität | !! | ? | !! |

Tabelle 2: Spezielle Anforderungen und Kriterien an ein computertechnisches Verfahren, gewichtet nach dem Anwendungszweck (? : eher unbedeutend, ! : wichtig, !! : sehr wichtig)

Nachfolgend sollen die Kriterien und Anforderungen aus Tabelle 2 noch kurz in Bezug auf die verschiedenen Anwendungszwecke diskutiert werden.

Wie bereits zuvor angekündigt, muss von den grundsätzlichen Kriterien der ersten Abstraktionsebene auf jeden Fall die **Wirtschaftlichkeit** in Hinblick auf den Anwendungszweck bzw. die Zielsetzung beleuchtet werden. So werden sowohl in der professionellen forstlichen Praxis als auch in der partizipativen Planung professionelle Werkzeuge gebraucht, die dann auch etwas mehr kosten dürfen („Wenn das Verfahren sein Geld wert ist, dann wird es auch angeschafft!“) und bei denen es sich um einzelne Expertensysteme handelt. Wenn in der forstlichen (Planungs-)Praxis vorhanden, können die gleichen Systeme auch im partizipativen Planungsbereich eingesetzt werden. Auch können die Kosten für ein sehr gutes und genaues Verfahren durch Einsparungen von Fehlentscheidungen kompensiert werden. Im Fall der Umweltbildung ist dies anders, da in diesem Bereich eine starke Verbreitung beabsichtigt ist. Dazu ist aber auch gegebenenfalls eine große Anzahl von Lizenzen notwendig, die in der Summe noch finanziell tragbar sein müssen. Außerdem widerspricht der Einsatz von sehr teuren Systemen in der Umweltbildung auch der ökonomischen Forderung, dass diese dann auch sehr stark ausgelastet sein müssen - dies ist aber im Einsatzgebiet Umweltbildung eher unwahrscheinlich.

Die **Genauigkeit** des Dateninputs (Datenqualität) ist entscheidend für die Qualität der Ergebnisse. Diese spielen in den Planungsbereichen (interne und partizipative) eine sehr große Rolle, sollen doch auf Grundlage der Ergebnisse Entscheidungen getroffen werden, die sich möglicherweise auch finanziell auswirken. Im Bereich der Umweltbildung ist die Genauigkeit per se nicht entscheidend. Hier geht es eher darum, glaubhafte Szenarien aufzuzeigen, die den realen Vorgängen nahe kommen. Dabei ist es

aber z. B. nicht so wichtig, dass ein idealisierter Bestand und dessen Entwicklung räumlich exakt zu lokalisieren wären.

In den Bereichen der Umweltbildung ist es z. B. viel wichtiger, dass die **Benutzerfreundlichkeit** (also die **Einfachheit** der Bedienung) von zentraler Bedeutung ist. Hier trifft der Benutzer im Allgemeinen auf ein System, das er selbstständig bedienen muss. Bei den beiden anderen Anwendungszwecken wird das Modul wohl eher durch einen „Profi“ bedient, der sich auch leichter in ein etwas komplizierteres System einarbeiten kann. Für alle Anwendungsgebiete stellen die mit der Benutzerfreundlichkeit verbundenen Kriterien wie Robustheit, Verlässlichkeit und Schnelligkeit eine unverzichtbare Anforderung dar.

Auch die **Kommunizierbarkeit** des Moduls an sich ist für die Umweltbildung unverzichtbar, da hier der Benutzer wie bereits zuvor erwähnt im Allgemeinen auf „stand-alone“-Systeme trifft, deren Informationsgehalt er selbstständig erfassen können muss. Im Bereich der Forstplanung werden eher Profis miteinander kommunizieren und im Partizipationsbereich können die Ansprüche an die Kommunizierbarkeit etwas reduziert werden, da das Modul im Diskussionsprozess durch einen Profi moderiert wird, der bei Missverständnissen erläuternd eingreifen kann.

Im Bereich der Umweltbildung und der Partizipation sind die Anforderungen an die **Präsentationsformen** sehr wichtig, um einen Zugang zu den Ergebnissen zu ermöglichen. Hier sind neben einer adäquaten Präsentationsart (als Film, als interaktive Modellwelt), in der möglicherweise verschiedenste Medien (Bild und Ton) miteinander verknüpft werden, vor allem auch sehr hohe Ansprüche an das Kriterium der Realitätsnähe zu stellen (s. u.). Im Bereich der Partizipation, aber gerade auch in der internen forstlichen Planung ist es unbedingt erforderlich, dass Möglichkeiten zur quantitativen Beschreibung der Ergebnisse mit in die Präsentation aufgenommen werden können (wie Tabellen und Grafiken). Diese ergänzen das visuelle Landschaftsbild mit Zahlenmaterial, welches für die Entscheidungsfindung äußerst wichtig ist.

Wie bereits im Zusammenhang mit den Präsentationsformen erwähnt, nimmt die **Realitätsnähe** eine herausgehobene Stellung in den „kommunikativen“ Anwendungsbereichen Partizipation und Umweltbildung ein. Die Realitätsnähe wirkt sich entscheidend auf die Akzeptanz der Visualisierung aus, da nichtprofessionelle Nutzer im Allgemeinen aus den abstrakten Waldstrukturdaten kaum konkrete (bildhafte) Vorstellungen ableiten können. Anders beim Forstprofi, dem man ein höheres Vermögen dieser Art unterstellen kann - hier kann auf eine sehr detaillierte Modellierung verzichtet werden.

Die Möglichkeiten zur **Interaktion**, vor allem auch in Bezug auf die **Manipulierbarkeit der Daten** (Verwalten, Analysieren, Ändern und Austauschen bereits vorhandener Datenbasis), spielen in den Planungsbereichen eine sehr große Rolle. Der Grad der Interaktion ist eng mit der gewählten Präsentationsform verbunden (z. B. Film: keine Interaktion möglich; GIS: hohe Interaktion möglich). Auch ist es hier sinnvoll, möglichst *live*-Szenarien zu erstellen, um Handlungsalternativen und neue Vorschläge diskutieren zu können. Im Bereich der Umweltbildung spielt die Interaktion insofern eine Rolle, als interaktive Systeme den Nutzer stärker fesseln und auch der „Lernerfolg“ bei aktiver Beteiligung des Benutzers höher ist als bei statischen Präsentationen. Dies ist mit Sicherheit ein entscheidender Aspekt, wenn im Rahmen der waldbezogenen Umweltbildung Kinder und Jugendliche angesprochen werden sollen.

Aus der benötigten Kombination von Präsentationsform, Realitätsnähe und Interaktionsgrad sowie der zu verwaltenden Datenmenge ergeben sich die Anforderungen an die **Leistungsfähigkeit** des Systems. Hier sind in den Bereichen Forstplanung und Partizipation im Durchschnitt höhere Anforderungen zu stellen als im Bereich der Umweltplanung, in der möglicherweise nur Filmsequenzen abgespielt werden müssen und kein derart komplexes System benötigt wird.

In den Planungsbereichen ist zudem eine hohe **Flexibilität** gefordert. Hier müssen verschiedenste (reale) Daten genutzt werden können, um alle relevanten Faktoren (z. B. Risikofaktoren, Naturschutzfaktoren, waldbauliche Faktoren, ...) bei einer Entscheidungsfindung berücksichtigen zu können. Auch

muss das System bei neuen Anforderungen erweiterbar sein. Das System ist möglichst „offen“ zu halten, um zusätzliche Informationen „einspielen“ zu können. Auch in Bezug auf die **Funktionalität** werden hier höhere Anforderungen gestellt als im Umweltbildungsbereich. Die Kombination aus Einzelbaumgenerator, Waldwachstumssimulator und interaktivem 3D-Visualisierungssystem ist hier notwendig, um im „live“-Einsatz neue Szenarien erzeugen zu können, während im Umweltbildungsbereich auf „vorgefertigte“ veranschaulichende Szenarien zurückgegriffen werden kann. Um das System auch um mögliche zukünftige Anforderungen erweitern zu können, sollte es möglichst **modular** gehalten werden. Hierfür wäre eine **Standardisierung** hilfreich. Diese ist auch notwendig, um ein System in einer so großen Organisation wie der Forstverwaltung einführen zu können. Dabei sollte an bereits bestehende Standards angeknüpft werden.

◦ *Resümee für die vorliegende Arbeit*

In der vorliegenden Arbeit soll ein Lösungskonzept zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen entwickelt werden. Die in diesem Kapitel diskutierten Kriterien sind sowohl für die Verfahrensentwicklung als auch für einen möglichen Praxiseinsatz die Ansprüche an das Verfahren mit den entstehenden Kosten für Hard- und Software abgewogen worden. Eine (zielkonforme) Wirtschaftlichkeit ist unbedingt notwendig, um einen Praxiseinsatz überhaupt zu ermöglichen („Nur wenn ein Verfahren nicht zu teuer ist, ist es realistisch, dass es auch in der Praxis eingeführt und genutzt wird.“). Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit sollen in der vorliegenden Arbeit an erster Stelle kostenlose oder auch bereits in der forstlichen Praxis eingesetzte Software-Lösungen (und optionale Erweiterungen für diese) auf ihre Verwendbarkeit hinsichtlich der Zielsetzung getestet werden.

Des Weiteren sollen idealerweise nur Daten verwendet werden, die in der forstlichen Praxis vorliegen oder möglichst günstig zu beschaffen sind.

Für die interne Planung und auch die partizipative Planung ist ein Expertensystem notwendig. Dieses muss sehr leistungsstark sein und eine hohe Flexibilität aufweisen, wenn *live*-Szenarien erzeugt werden sollen. Hier kommt man möglicherweise nicht um Lizenzen für die verwendete Software herum (GIS-Software als zentraler Bestandteil). Sind Lizenzen für die interne Planung vorhanden, so lassen sich diese auch in der partizipativen Planung nutzen - es brauchen keine zusätzlichen angeschafft zu werden. Für den Bereich der Umweltbildung werden aber mehr laufende Systeme gebraucht als für die Planungsbereiche. Hier ist eine möglichst kostengünstige (Software-)Lösung gefordert.

In der vorliegenden Arbeit sollen bei der Entwicklung des Lösungsansatzes die Kriterien und Anforderungen aus diesem Kapitel „im Auge behalten werden“. Die wichtigsten Kriterien werden bei der Diskussion der Ergebnisse (Kapitel 6.) noch einmal herangezogen.

3. Grundlagenwissen zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen

3.1 Existierende Ansätze zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen im forstlichen Bereich

Es gibt einige Ansätze, die GIS und Waldwachstumssimulation mit 3D-Visualisierung kombinieren, um ähnlich den Zielsetzungen dieser Arbeit „reale“ forstwirtschaftliche Daten in 3D-Darstellungen der Waldstrukturen bzw. der Waldstrukturentwicklung umzusetzen. Die zwei aktuellsten Ansätze aus Deutschland wurden erst in den letzten Jahren entwickelt. Der eine ist ViWa, der „Virtuelle Wald“, von KNAUFT 2000. Der andere ist L-VIS von PRETZSCH und SEIFERT 2000. Beides sind Prototypen, die im Rahmen von Forschungsprojekten entwickelt worden sind. Sie kombinieren Waldwachstumssimulator, Geodatenbasis und 3D-Visualisierungseinheit zu einem System. Der Waldwachstumssimulator bietet dabei die Möglichkeit, auf wirklichkeitsnahe forstwissenschaftliche Daten zurückzugreifen. Hierdurch wird es möglich, auch wirklichkeitsnahe Waldstrukturen und Waldentwicklungen zu simulieren. Durch die Darstellung auf Einzelbaumebene sind auch Strukturen innerhalb von Beständen wie Gruppen und Mischungen darstellbar.

ViWa ist ein modulares System, das ein Geografisches Informationssystem (ARC/INFO) mit einem Waldwachstumssimulator (SILVA 2.2) und einem 3D-Visualisierungssystem (AMAP-Integral)¹ verbindet. Die Darstellung der erzeugten Bestände wirkt durch die Verwendung von AMAP Integral und dessen zur Verfügung gestellten 3D-Baummodellen sehr realistisch. Die hohe Realitätsnähe der Einzelbaumdarstellung wird durch den Detailreichtum der AMAP-Baummodelle erzielt, welcher auf einer botanisch orientierten Modellierung der Baumarchitektur beruht (Abbildung 2, links). Durch die Verwendung detaillierter und realitätsnaher Baummodelle ergibt sich zudem die Möglichkeit, die Beleuchtung im Bestand zu simulieren (Abbildung 2, rechts). Ähnlich dem Ansatz der vorliegenden Arbeit wird GIS (hier ARC/INFO) als Lieferant der Datenbasis herangezogen und an den Waldwachstumssimulator SILVA übergeben, um die Information über Verteilung und Dimension der Einzelbäume zu erhalten. Aufgrund der sehr komplexen Baummodelle ist der Aufbau von großflächigen Waldlandschaftssimulationen bei der momentanen Rechenleistung von Computern äußerst zeitaufwändig und somit für den interaktiven Einsatz, z. B. in partizipativen Planungsansätzen laut KNAUFT u. SLOBODA 2000², nur in Bezug auf „kleine Baumgruppen“ einsetzbar. Mit ViWa können Präsentationen in Form von Einzelbildern, Bildfolgen und Filmanimationen erstellt werden. Eine Echtzeit-Navigation durch den Bestand, z. B. in Form eines interaktiven Waldspaziergangs, ist aber nicht möglich.

¹ vgl. auch Kapitel 3.4 „AMAP Integral“

² KNAUFT u. SLOBODA 2000, S. 299

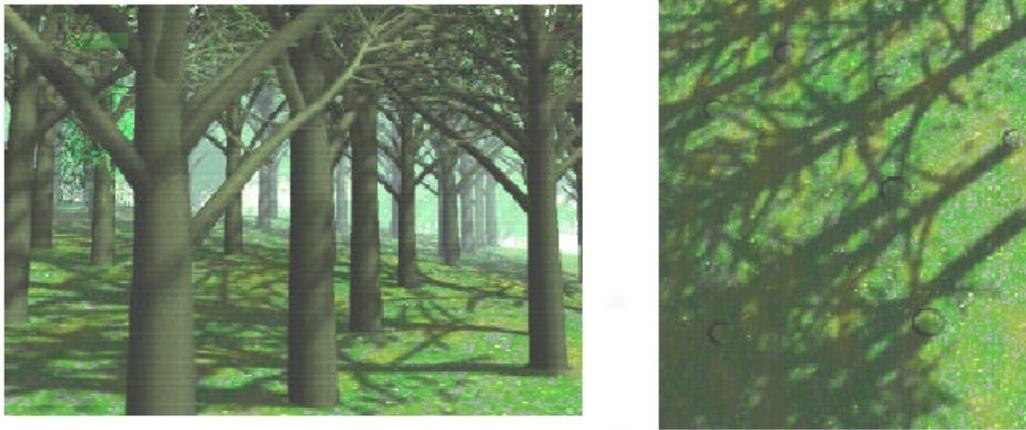


Abb. 2: Darstellungen von ViWa

Links Blick in einen mit ViWa generierten Bestand, daneben der Schattenwurf der hochwertigen 3D-Baummodelle in ViWa (aus KNAUFT u. SLOBODA 2000, Ausschnitt aus Abb. 5 S. 303).

Mit **L-VIS** lassen sich sehr große Landschaftsausschnitte visualisieren (Abbildung 3). Ein weiterer Vorteil ist die enge Verzahnung mit dem Waldwachstumssimulator **SILVA**. Beide Programme stammen aus derselben Forschungsgruppe¹, weshalb bei der Entwicklung von **L-VIS** optimal auf die Bedingungen und Anforderungen von **SILVA** eingegangen werden konnte. **L-VIS** ist ein geschlossenes System (ohne standardisierte Schnittstellen nach außen), das nur über Anpassung des Quellcodes zu erweitern ist. Die Informationen aus der Bestandskarte werden in **L-VIS** mit Musterbeständen gefüllt, die hauptsächlich über Artenzusammensetzung, Altersphase und Struktur definiert sind. Letztere werden aus der Geodaten-Basis (ARC/INFO) bzw. einer Datenbank mit (Bundeswald-) Inventurdaten abgeleitet. Die Literatur gibt kaum Aufschluss über die integrierten Interaktionsmöglichkeiten von **L-VIS**. Über die Interaktivität von **L-VIS** sagt SEIFERT 2000:

„Allerdings ist eine Begehung des virtuellen Bestandes in Echtzeit aufgrund der großen Datenmengen nicht mehr möglich. Nur während eines Vorschaumodus kann man sich über die Landschaft bewegen. Dabei werden die Bäume aus Geschwindigkeitsgründen nur als Linien gezeichnet.“²

Die Darstellung der Bäume läuft nur über primitive Formen, die mit einer Baumtextur belegt werden. Es kann die Konkurrenz zwischen den Bäumen eingeschätzt werden, die erreichte Realitätsnähe im Landschaftsbild ist jedoch gering.

¹ **SILVA** und **L-VIS** wurden am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München entwickelt. Nähere Informationen zu den Projekten dieser Gruppe finden sich online unter der URL <<http://www.wwk.forst.tu-muenchen.de/info/vis>> (Stand 16.09.2003).

² SEIFERT 2000, S. 47

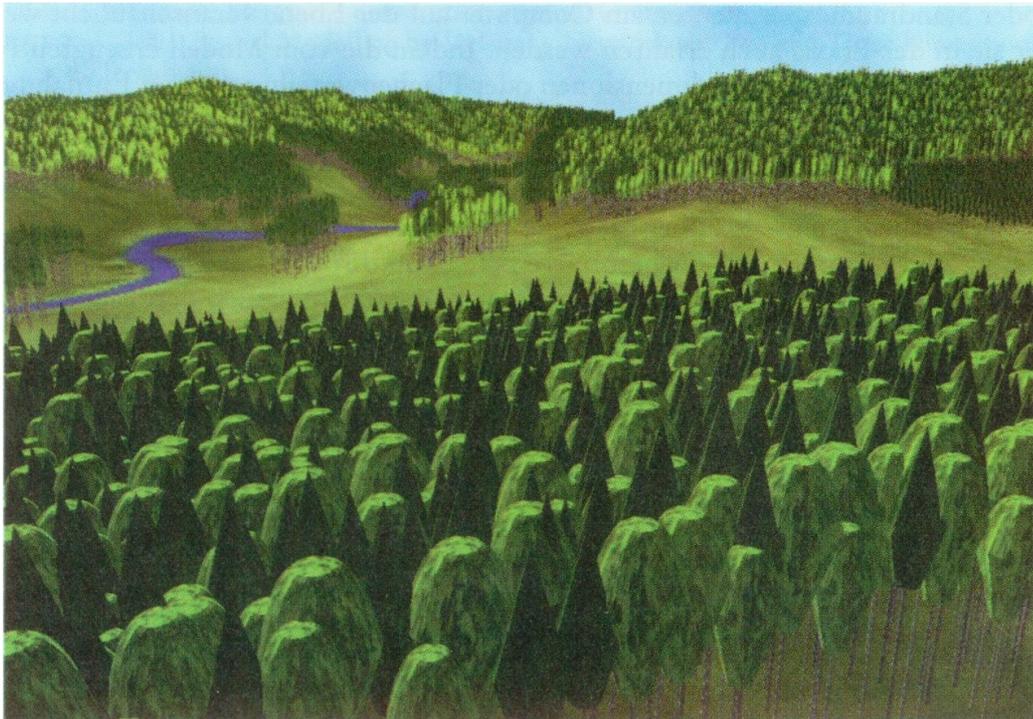


Abb. 3: Landschaftsansicht erzeugt mit L-VIS (aus PRETZSCH u. SEIFERT 2000)

Sowohl bei ViWa als auch bei L-VIS ergibt sich für den forstlichen Anwender das Problem, dass die Systeme als Extra-Softwarepaket behandelt und über deren jeweilige Oberfläche bedient werden müssen. Die Literatur lässt nicht den Schluss zu, dass die Systeme aus einem GIS heraus zentral und damit „versteckt“ angesteuert werden können. Forstliche Anwender müssen sich von daher in bis zu drei Softwarepakete einarbeiten.

Neben den beiden zuvor genannten Ansätzen zur Visualisierung von (Wald-)Landschaften existieren noch einige weitere Ansätze für dieses Einsatzgebiet. Grundsätzlich lässt sich die gesamte Gruppe der forstlichen Visualisierungssysteme zur Waldentwicklung aufspalten in Systeme, die ganze Waldlandschaften bestandesübergreifend darstellen können und solche, die sich auf die Darstellung von kleinen bis größeren Bestandesausschnitten beschränken. Hierbei gibt es zum Teil Überschneidungen, eine Zuordnung zu einer der beiden Gruppen wird nach erkennbaren Schwerpunkten vorgenommen.

◦ *Systeme zur 3D-Darstellung von Bestandesausschnitten*

Ähnlich ViWa ist **TREEVIEW** ein sehr gutes Beispiel für diese Gruppe. Es nutzt im Vergleich zu ersterem jedoch nur einfache geometrische Körper zur Darstellung von Einzelbäumen. Diese werden auch nicht in realistische Bestandesgeometrien eingebunden, sondern stellen ähnlich AUFRISS dem integrierten Visualisierungsmodul von SILVA (s. u.) nur einen rechtwinkligen Bestandesausschnitt dar (Abbildung 4, links). Es handelt sich hierbei um ein Modul, welches die Interaktion innerhalb eines Bestandes ermöglicht. Bauminformationen können abgefragt, virtuelle Durchforstungen durchgeführt und Zukunftsbäume markiert werden (Abbildung 4, rechts). Die Eingangsinformationen stammen aus SILVA, das im gleichen Haus entwickelt wurde. Die „Durchforstungsergebnisse“ lassen sich wiederum an SILVA übergeben, um weitere Prognoseläufe zu starten.

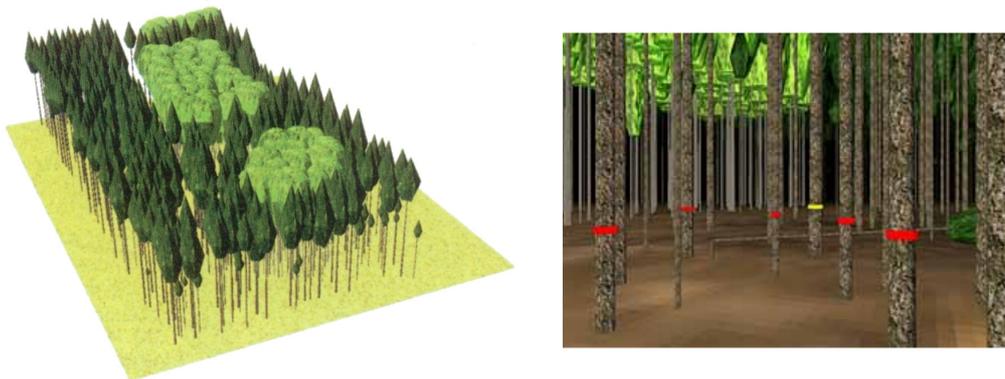


Abb. 4: Bestandesdarstellungen mit TREEVIEW

Links Gesamtansicht eines Bestandes, daneben Blick in den Bestand mit Kennzeichnung von einzelnen Bäumen als ausscheidend (rot) bzw. als Zukunftsbaum (gelb) (aus PRETZSCH u. SEIFERT 2000).

SILVA selbst bringt ein einfaches Visualisierungsmodul (**AUFRISS**¹) mit. Dieses zeigt aus einem festgelegten Blickwinkel einen schematisierten Bestandesausschnitt als Aufrisszeichnung und nimmt dabei keinen Bezug auf tatsächliche Bestandesgeometrien (Abbildung 5).

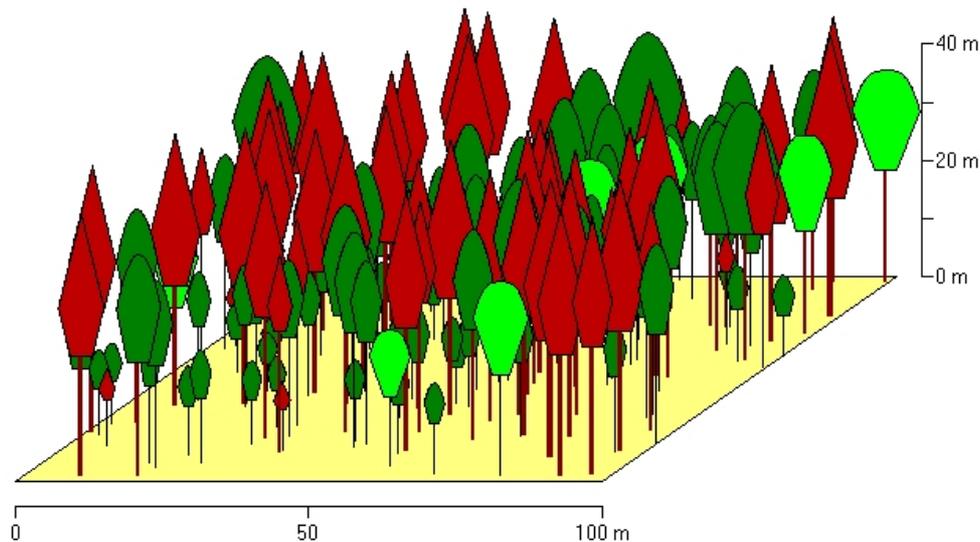


Abb. 5: Bestandesaufrisszeichnung von AUFRISS, dem in SILVA integrierten Visualisierungsmodul

SVS² (Stand Visualisation System) ist ein US-amerikanisches System, das ähnlich TREEVIEW Bestände visualisiert und Ansichten aus beliebigen Blickwinkeln ermöglicht. Das System ist mit einem Waldwachstumssimulator gekoppelt, sodass die Bestandesentwicklung aufgezeigt werden kann. Hierzu sind auch Benutzereingriffe in den virtuellen Bestand möglich - Durchforstungen können auf der Grundlage einer Liste von Durchforstungsregeln automatisch oder manuell durch ein virtuelles Fällen einzelner Bäume durchgeführt werden. Die gefällten Bäume verbleiben sichtbar liegend im Bestand (Abbildung 6). Die Bäume werden sehr detailliert bis auf die Ebene einzelner Äste dargestellt, die Ausdehnung des 3D-Bestands ist aber auf kleine Bestandesausschnitte beschränkt.

¹ PRETZSCH 1992a

² SVS ist ein Projekt des „USDA Forest Service“, Pacific Northwest Research Station; vgl. MCGAUGHEY 1997.

Dabei werden keine realistischen Geländeinformationen verarbeitet, sodass die Darstellung auf ebene Flächen begrenzt bleibt.

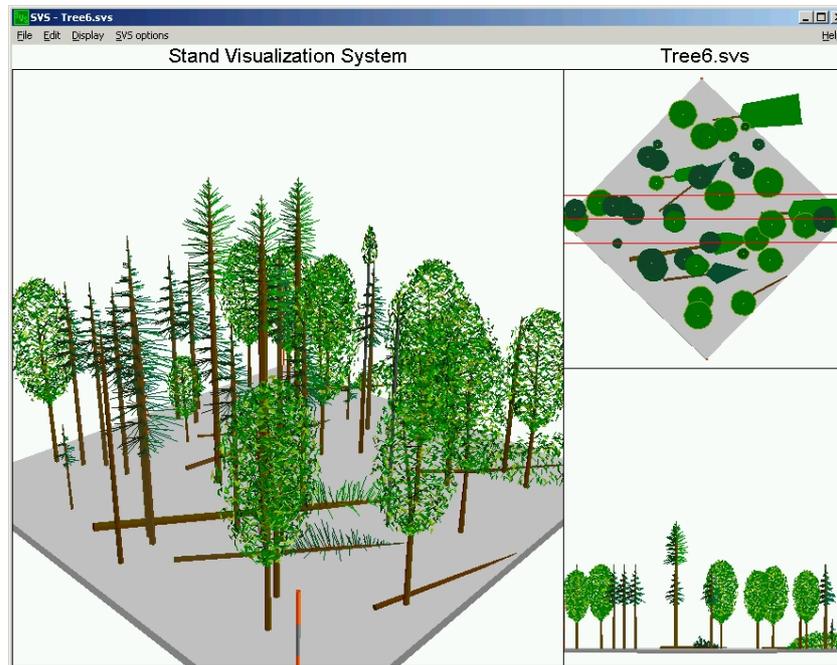


Abb. 6: Benutzeroberfläche des SVS

◦ Systeme zur 3D-Darstellung von Waldlandschaften

Wie L-VIS stellt auch **SmartForest II**¹ ganze Waldlandschaften dar. SmartForest ist als 3D-Wald-ökosystemsimulator konzipiert und beinhaltet Werkzeuge zur Modellierung und Visualisierung von Waldbeständen. In diesem Programm sind zwei unterschiedliche Anzeigemodi implementiert. Der erste ist der so genannte Management-Modus, in dem die Waldlandschaft nur mit sehr einfachen Baumobjekten dargestellt werden (ähnlich denen von AUFRISS, s. o.). Diese Ressourcen schonende Darstellungsform erlaubt es aber auch, große Landschaftsausschnitte zu visualisieren, und sich in Echtzeit (*realtime*) durch die 3D-Szene zu bewegen. Das Programm läuft auch auf älteren Systemen (ab Pentium II-Prozessoren) ausreichend schnell. Der zweite Anzeigemodus wird als Landschaftsmodus bezeichnet. Dieser könnte auch als Präsentationsmodus bezeichnet werden, da in diesem die Landschaft durch die Verwendung von Fototexturen für Bäume (*billboards*) und Gelände annähernd fotorealistisch dargestellt wird (ähnlich EnVision, s. u.). Hier ist die Navigation allerdings aufgrund des weitaus höheren Ressourcenbedarfs nicht mehr in Echtzeit möglich. Eine Manipulation der Szeneninhalte, wie das interaktive Eingreifen in den Bestand (Durchforstung), sind nicht möglich.² SmartForest wurde für den Einsatz auf Workstations (IBM AIX-Plattform) konzipiert, es existiert aber auch eine Demonstrationsversion für den Einsatz auf Windows-Systemen.

Ähnliche Funktionen zur Darstellung bietet das Programm **EnVision** (Environmental Visualization System)³. Auch hier lassen sich sehr große Landschaftsausschnitte darstellen, dabei ist aber gegenüber den vorgenannten Systemen eine flexiblere Beeinflussung der Darstellungen möglich. Es gibt

¹ ORLAND 1997

² vgl. SEIFERT 1998, S. 14

³ EnVision ist genau wie SVS ein Projekt des „USDA Forest Service“, Pacific Northwest Research Station; vgl. online unter der URL <<http://www.fs.fed.us/pnw/envision>> (16.09.2003).

eine Reihe von Möglichkeiten, die Vegetation darzustellen (Primitive, unterschiedlich detaillierte Texturen, *billboards*, *X-billboards*), und es können sehr realistische Abbildung erzeugt werden (vgl. Abbildung 7). EnVision bietet aber weder die Möglichkeit Landschaftsentwicklungen dynamisch darzustellen, noch kann man in Echtzeit durch die 3D-Szenen navigieren oder dort andere Interaktionen wie Durchforstungen vornehmen. Die darzustellenden Inhalte müssen zuvor mit anderen Programmen generiert, aufbereitet und in einem geeigneten Format abgespeichert werden. So kann EnVision z. B. auf Geodaten (ARC/INFO und ArcView) oder auch auf mit SVS erzeugte Baumlisten zurückgreifen.

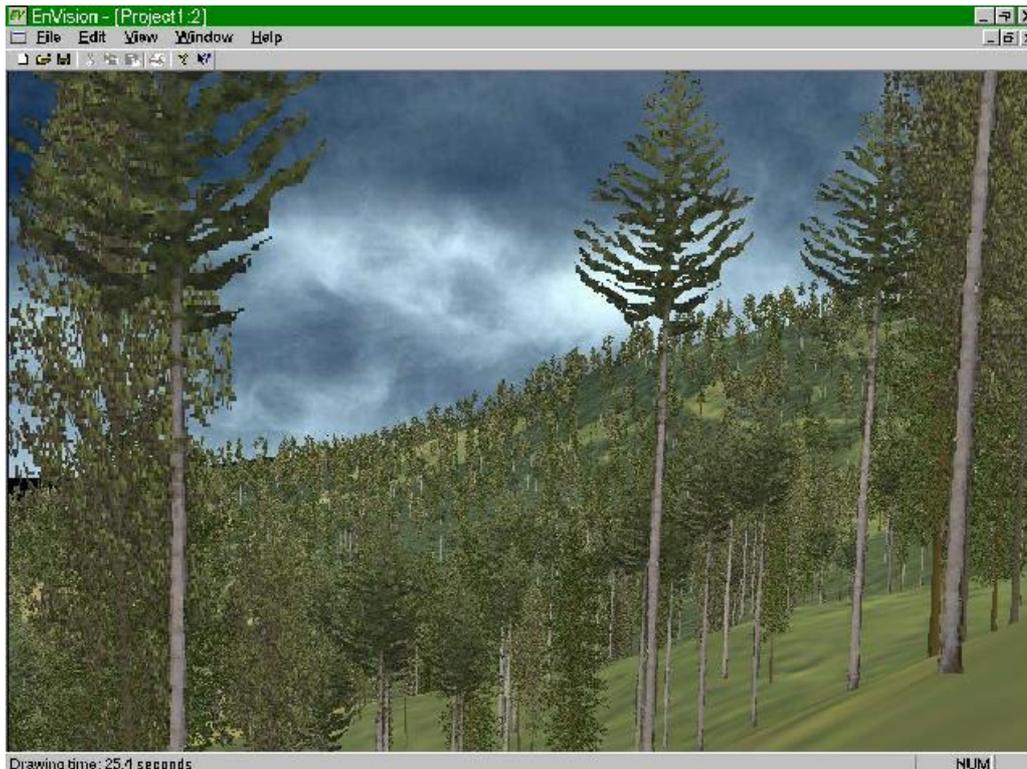


Abb. 7: Landschaftsdarstellung mit EnVision

Über ein reines Visualisierungsprogramm hinaus geht **LMS** (Landscape Management System), ein System, das an der Universität Washington entwickelt wurde.¹ LMS ist eigentlich eine Sammlung teilweise bereits genannter Programme, die unter einer gemeinsamen Benutzeroberfläche vereint werden. Das Programmpaket beinhaltet einen Waldwachstumssimulator (FVS), das Modul SVS (s. o.) für die Ansicht und Bearbeitung auf Bestandesebene sowie das Programm EnVision für die Landschaftsvisualisierung und regelt den Datenfluss zwischen diesen Teilprogrammen. Auch wenn LMS verschiedene Programme sinnvoll zusammenführt, bleiben doch die zuvor schon mit den Einzelkomponenten besprochen grundsätzlichen Vorteile und Nachteile erhalten: Durchforstungen bleiben auf die Bestandesansicht begrenzt und eine Echtzeit-Navigation ist auch hier nicht möglich, da das eingebundene 3D-System EnVision dieses nicht bietet. Immerhin kann man den zu behandelnden Bestand parallel in einem weiteren Fenster mit der 3D-Komponente in seinem räumlichen Gefüge darstellen und somit räumlich einordnen.

¹ vgl. MCCARTER ET AL. 1998

Das System **MONSU**¹ stammt aus Finnland. Es ist integraler Bestandteil eines Forstplanungsprogramms ähnlich LMS, wodurch unterschiedliche Planungsmaßnahmen sehr gut simuliert werden können. In MONSU können die Bäume auf drei unterschiedlichen Detailebenen angezeigt werden. Diese gehen von primitiven Baumdarstellungen für große Landschaftsausschnitte (ähnlich TREE-VIEW, s. o.) bis hin zu detaillierten Darstellungen für den Nahbereich (ähnlich EnVision, s. o.). Es lassen sich auch verschiedene Bodenvegetationstypen darstellen. Ansonsten lassen sich keine weiteren typischen Landschaftselemente (Häuser, Straßen, ...) mit in die 3D-Szene integrieren. Als Datengrundlage für die Vegetationsdarstellung dienen Forstinventurdaten. Zur Aufbereitung der 3D-Szenen können zusätzlich Satellitendaten eingebunden werden. Zur Präsentation lassen sich Filme entlang eines festgelegten Pfades generieren. Eine Bewegung durch den Bestand in Echtzeit ist aufgrund des Rechenaufwandes nicht möglich.

Die engste Verknüpfung mit einem GIS bietet das System „**Virtual Forest**“². Dieses kann direkt aus ARC/INFO heraus angesteuert werden. Die GIS-Daten werden dabei in Echtzeit in das benötigte Format konvertiert. Die Einzelbauminformationen werden aus Bestandesattributen generiert und können mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden angezeigt werden. Hierbei reicht die Auswahl von einfachen Linienobjekten (für die schnelle Navigation) über Texturbilder (*billboards*) bis hin zu geometrischen 3D-Objekten. Der Blickwinkel kann interaktiv geändert werden. Auch können mehrere Themen in einer Zeitreihe angeordnet werden, um so z. B. Handlungsalternativen aufzuzeigen. Zudem beinhaltet Virtual Forest einfache Waldwachstumsalgorithmen. Das Programm scheint aber nicht weiter entwickelt zu werden, es finden sich jedenfalls keine Informationen neueren Datums zu diesem Projekt.

Keines der hier vorgestellten Systeme und auch sonst kein dem Autor bekanntes System bietet die Fülle an Funktionen, die man von einer reinen GIS-Lösung erwarten könnte. So sind z. B. die in den bekannten Systemen integrierten Interaktionsmöglichkeiten auf einfache Abfragen von Bauminformationen oder die Kennzeichnung von Bäumen (als ausscheidend bzw. als Zukunfts-Baum für weitere Prognoseläufe) beschränkt. Viele der vorgenannten Systeme nutzen GIS lediglich als Werkzeug zur Datenhaltung und -verarbeitung. Die entsprechend aufbereitete Geodatenbasis wird dann in ein externes Visualisierungsprogramm überführt, wobei gegenüber einer GIS-internen Lösung mit folgenden Nachteilen zu rechnen ist:

- eine zusätzliche Software angeschafft, installiert, administriert und geschult werden muss,
- kein Zugriff auf die GIS-Funktionalität aus der externen Anwendung heraus möglich ist,
- häufig kein direkter Zugriff auf die Geodaten aus der externen Anwendung heraus besteht, da das System häufig ein eigenes Dateiformat verwendet und daraus resultierend
- bei Änderung der Geodatenbasis das entsprechende Thema immer aufs Neue exportiert werden muss.

Wenn es demgegenüber gelingt, ein System zur 3D-Wald-Landschaftsvisualisierung auf der Basis eines GIS zu realisieren (3D-GIS), dann stehen auch alle Vorteile und Funktionen des verwendeten (Basis-)GIS in der 3D-Umgebung zur Verfügung. Diese wurden bereits in der Einleitung (Kapitel 1.) unter dem Punkt „*Erwartete Vorteile eines hochintegrierten GIS-basierten Verfahrens*“ benannt.

¹ PUKKALA 1998; PUKKALA ET AL. 1998

² BUCKLEY, ET AL., 1998; BUCKLEY u. BERRY, 1997

3.2 Waldstruktur- und Waldwachstumssimulation

Für die forstliche Planung ist es unumgänglich, Prognosen über die Entwicklung der Waldbestände machen zu können.

Holz ist ein erneuerbarer Rohstoff, dessen Nutzung über die Jahrhunderte stetig zugenommen hat. Für die Forstwirtschaft, für die die Bereitstellung dieses Rohstoffes eine der Hauptaufgaben ist, war es von daher unumgänglich, Methoden zu entwickeln, um über die zukünftige Verfügbarkeit dieses Rohstoffes (Vorratsentwicklung) möglichst genaue Aussagen machen zu können.

Historisch wurde hier auf Ertragstafeln zurückgegriffen,¹ die auch heute noch in vielerlei Hinsicht eine große Bedeutung für die forstliche Praxis haben. So schreibt PRODAN²:

„Es ist unzweifelhaft, daß die Aufstellung der Ertragstafeln die bisher gewaltigste, positive Arbeitsleistung der Forstwissenschaft war. Diese Tatsache wird auch nicht durch die Erkenntnis geschmälert, daß die Ertragstafeln in Zukunft weitgehend nur noch zu Vergleichszwecken dienen wird.“

In der deutschen Forstwirtschaft sind sie - seit der Entwicklung der ersten Ertragstafel 1787³ bis zu den auf ASSMANN und FRANZ 1963 beruhenden EDV-gestützten Ertragstafeln, die in den Folgejahren noch von anderen Autoren verfeinert wurden - bis heute ein integraler Bestandteil der forstlichen Praxis.⁴ Die ältesten der heute noch verwendeten Ertragstafeln sind bereits schon fast einhundert Jahre alt (wie z. B. die Buchenertragstafel von GEHRHARD 1908 in Bayern, die Ertragstafel für Birke von SCHWAPPACH von 1903/29 in Baden-Württemberg oder auch die Ertragstafel für mäßige Durchforstung bei Fichte von WIEDEMANN aus dem Jahr 1936, die in vielen Bundesländern nach wie vor verwendet wird). Die „neueren“ Tafeln sind bereits rund zwanzig Jahre alt (z. B. die Ertragstafel für Douglasie von KENK u. HRADETZKY 1984/92).⁵

Kritik an den Ertragstafeln ist aber inzwischen wiederholt geäußert worden.⁶ Kernpunkt dieser Kritik ist eine mangelnde Übertragbarkeit der Voraussetzungen zum Zeitpunkt der Tafelerstellung und den sich wandelnden Bedingungen zu ihrer Anwendung in der heutigen Zeit. Dem teilweise hohen Alter der Tafeln und den Voraussetzungen, unter denen sie entwickelt wurden, stehen grundsätzlich neue Bedingungen und Anforderungen gegenüber, auf die sich die Tafelwerte nur noch schwer übertragen lassen - weder auf die gleichaltrigen Reinbestände, für die sie entwickelt wurden, geschweige denn auf die neu entwickelten waldbaulichen Konzepte hin zu ungleichaltrigen Mischbeständen und die dafür notwendigen Durchforstungsarten. Für die schlechte Übertragbarkeit lassen sich vor allem vier Gründe nennen:

¹ Einen sehr umfassenden Überblick über die Entwicklung der Ertragstafeln findet sich bei PRETSCH 2002, S. 303ff. und PRETZSCH 2001, S. 93ff.

² PRODAN 1965, S. 605

³ PAULSEN 1795

⁴ Sie finden sich so z. B. nach wie vor in der aktuellen Forsteinrichtungsdienstanweisung (FED 2000) des Landes BaWü.

⁵ Die genannten Ertragstafeln von SCHWAPPACH, WIEDEMANN und KENK/HRADETZKY finden sich in LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG 1993, S. 12.

⁶ vgl. RÖHLE 1995; SPIECKER ET AL. 1996

- 1) Der Wandel der Standortbedingungen und generell der Wuchsbedingungen (dynamische Veränderung der Standorte durch Eutrophierung, Versauerung, usw.).¹
- 2) Die Entwicklung und Einführung neuer waldbaulicher Konzepte.²
- 3) Der vermehrte Umbau von Altersklassenwäldern in ungleichaltrige Mischwälder.³
- 4) Der höhere Informationsbedarf der modernen Forstwirtschaft, der über die reine Holzmassenschätzung hinaus geht.⁴

Die Ertragstafeln sind ursprünglich als Grundlage für die Entwicklungsvoraussage für gleichaltrige Reinbestände entwickelt worden, die mit bestimmten waldbaulichen Konzepten behandelt werden sollten. Vor dem Hintergrund der beiden ersten der o. g. Ausführungen (Punkte „1“) und „2“) muss man davon ausgehen, dass sich die Voraussetzungen derart verändert haben, dass die Tafeln auch bei noch vorliegenden gleichaltrigen Reinbeständen kaum noch zur Vorhersage genutzt werden können.

Die beiden letzten Punkte erfordern grundsätzlich neue Ansätze zur Waldwachstumsprognose. Neue flexible Verfahren sind gefordert. Bei stark strukturierten Mischwäldern, die heute vermehrt angestrebt werden, können Ertragstafeln kaum noch sinnvolle Erkenntnisse liefern. Spätestens hier ist es notwendig, auf Einzelbaum-orientierte Wachstumsmodelle zurückzugreifen, die auch Aussagen über das Wachstum (den Zuwachs) des Einzelbaumes machen können. Die ursprünglichen Ertragstafeln decken auch den differenzierten Informationsbedarf der heutigen forstlichen Praxis nicht mehr ab. Das aktuelle Interesse geht über die Informationen zu den bestandesbezogenen Holzmasseleistungen hinaus, hin zu Informationen über Stammzahlfrequenzen, um so z. B. Aussagen über die zu erwartenden Sorten- und Wertleistungen machen zu können. Des Weiteren wird die Berechnung erntekostenfreier Erlöse für die zu simulierenden Bestände benötigt. Die Einzelbaum-basierte Prognose ist auch einer der entscheidenden Anforderungen, wenn es um die Schaffung von Grundlagen zur realitätsnahen Waldstrukturentwicklung für den Bereich der forstlichen partizipativen Planung bzw. der waldbezogenen Umweltbildung geht.

Von der Forstwirtschaft werden neue Methoden zur Waldwachstumssimulation gefordert, die flexibler zu handhaben und die leichter auf die jeweiligen (neuen) Gegebenheiten anpassbar sind.

Auf Grundlage dieser Anforderungen entstanden in den letzten dreißig Jahren Forschungsansätze zur Entwicklung von Computersystemen, die eine Modellierung des Waldwachstums auf Einzelbaumebene ermöglichen (Einzelbaumsimulatoren). Diese lösen den Bestand in seine Individuen auf und schreiben die Entwicklung der Morphologie jedes individuellen Baumes fort. Diese zunächst im anglo-amerikanischen Raum entwickelten Computersysteme⁵ wurden seit Anfang der 80er Jahre auch im deutschsprachigen Raum erforscht. Die ersten einzelbaumbasierten Ansätze entstanden in Deutschland durch SCHNEIDER und KREYSA 1981 und in Österreich durch STERBA 1983.

Die Einzelbaumsimulatoren lassen sich in distanz-(positions-/abstands-)abhängige und -unabhängige Modelle unterteilen. Bei den distanzabhängigen Modellen wird die Entwicklung jedes einzelnen Baumes in Abhängigkeit von dem Einfluss seines Nachbarn (Konkurrenz um Licht, Wasser

¹ vgl. hierzu KARJALAINEN ET AL. 1998; PRETZSCH ET AL. 2000; SPIECKER ET AL. 1996

² vgl. BURSCHEL u. HUSS 1997

³ vgl. HANEWINKEL 1998

⁴ vgl. HASENAUER 1994; PRETZSCH 1992

⁵ 1963 entstand das erste Einzelbaummodell, das durch NEWNHAM 1964 für Douglasien-Reinbestände entwickelt wurde. Das erste Modell für ungleichaltrige Rein- und Mischbestände beruht auf EK u. MONSERUD 1974. Vgl. auch PRETZSCH 2001, S. 138f.

und/oder Nährstoffe) prognostiziert¹. Hier sind Baum-zu-Baum-Abstand und Kronengrößen die entscheidenden Parameter. Im Gegensatz zum distanzunabhängigen Ansatz wird die genaue Position jedes Einzelbaumes auch bei der Prognose berücksichtigt, wodurch er sich besser für die Veranschaulichung von Entwicklungsszenarien eignet, da der (prognostizierte) Einzelbaum während jedes simulierten Entwicklungsschrittes an seinem Standpunkt „fixiert“ bleibt und über diesen definiert ist.

Aktuell sind im deutschsprachigen Raum vor allem vier Einzelbaumsimulatoren zur Unterstützung forstlicher Planungsaufgaben von größerer Bedeutung.

In Österreich existieren zwei unabhängig voneinander entwickelte Modelle, die beide bereits sehr gut erforscht sind. Das von HASENAUER 1994 entwickelte Modell MOSES gehört zu der Gruppe der distanzabhängigen Einzelbaumsimulatoren, während es sich bei PROGNAUS² um ein distanzunabhängiges Modell handelt.

Auch in Deutschland finden sich derzeit zwei Waldwachstumssimulatoren, die für forstliche Planungsaufgaben herangezogen werden können. Grundsätzlich eignen sich beide Modelle, um „im Rahmen eines strategisch ausgerichteten Planungsverfahrens Simulationen durchzuführen“³ - die Wahl hängt von den zu prognostizierenden standörtlichen Bedingungen und dem verfolgten Ziel der Prognose ab. Beide Simulatoren beinhalten den Strukturgenerator STRUGEN⁴.

Von NAGEL 1996 stammt der distanzunabhängige Einzelbaumsimulator BWIN, der vor allem für norddeutsche Verhältnisse parametrisiert ist. Zentraler Ansatz dieses Simulators ist die möglichst genaue Schätzung der Bestandesentwicklung auf Mittelwertsebene, die über die Einbeziehung der Einzelbauminformationen erzielt werden soll. Dem Prinzip der Distanzunabhängigkeit entsprechend werden dabei nur bestandestypische Konkurrenzfaktoren berücksichtigt - die Position des individuellen Baumes wird bei der Simulation nicht berücksichtigt. Für die großflächige Bestandessimulation eignet er sich sehr gut, während sich die Entwicklung auf Einzelbaumebene, bei der die individuelle Baumentwicklung aufgezeigt werden soll, eher schlecht darstellen bzw. nachvollziehen lässt.

Hierfür eignet sich der seit 1988 in München entwickelte distanzabhängige Einzelbaumsimulator SILVA 2.2⁵. Durch den distanzabhängigen Ansatz können mit SILVA sehr gut Baumartenmischungen, Baumverteilung und differenzierte Behandlungsstrategien abgebildet werden. Das Wachstum und der Zuwachs jedes Einzelbaums wird dabei unter der Berücksichtigung spezifischer einzelbaumbezogener und „dreidimensional ermittelter Konkurrenzmaße“⁶ sowie seines Zustandes simuliert. Somit kann der Einzelbaum in seiner simulierten individuellen Entwicklung „beobachtet“ werden. SILVA ist besonders gut auf die Verhältnisse im süddeutschen Raum angepasst. Neben den Einzelbaum-basierten Ergebnissen können von SILVA noch bestandesspezifische (baumartenbezogene) Prognosen der ökonomischen und ökologischen Folgen der durchgeführten Behandlungsvariante erzeugt werden. Zur Darstellung der Waldstrukturen stellt SILVA Kronenkarten oder eine einfache dreidimensionale Darstellung (mit schematisierten Baummodellen) zur Verfügung.

¹ vgl. PRETZSCH ET AL. 1999

² MONSERUD u. STERBA 1995; STERBA ET AL. 1995

³ HANEWINKEL 2001, S. 207

⁴ PRETZSCH 1993

⁵ PRETZSCH 1992b; PRETZSCH und KAHN 1996; KAHN und PRETZSCH 1998

⁶ KNAUFT 2000, S. 51

Ab Version 2.2 beinhaltet SILVA eine Betriebsschleife, über die es möglich wird, das Programm automatisiert extern anzusteuern (im Folgenden als *batch*-Modus bezeichnet). Hierzu müssen einige Eingabedateien (Steuerdateien) erzeugt werden.

Viele der zur Prognose notwendigen forstlichen Daten existieren bereits in digitaler Form. Ergebnisse der periodischen Forsteinrichtung und von Inventuren (z. B. Bundeswaldinventur [BWI], Betriebsinventur [BI] von BaWü) eignen sich als Ausgangsdaten für die Waldwachstumssimulation. In den Forstverwaltungen werden die Daten in Geografischen Informationssystemen (GIS) verwaltet und zur Verfügung gestellt. Es ist von daher nahe liegend, das GIS mit dem Waldwachstumssimulator zu koppeln, um so automatisiert die Prognose zu starten und die Ergebnisse möglichst wieder in das GIS zurückzuführen, um die Prognoseergebnisse wiederum zentral für weitere Verarbeitungszwecke zur Verfügung zu stellen. GIS eignet sich hervorragend als Ausgangsbasis für die Waldwachstumsprognose, da dort alle Informationen abgefragt und verwaltet werden können, die als Input für die Prognose benötigt werden.¹

Für das Anwendungsgebiet der (einzelbaumbasierten) Waldwachstumssimulation besteht nach wie vor ein großer Forschungsbedarf. So zeigte der Vergleich der vier zuvor genannten Einzelbaumsimulatoren (SILVA, BWIN, MOSES und PROGNAUS) durch WINDHAGER 1999, dass diese unter gleichen Bedingungen zu unterschiedlichen (im Detail sogar widersprüchlichen) Ergebnissen kommen. Neben einer rein wissenschaftlichen Weiterentwicklung bedarf es allerdings möglichst einer Validierung und damit Verbesserung durch den Einsatz in der Praxis.

Auch Ansätze wie der Ökosystemsimulator TRAGIC++² zeigen, dass das Interesse an einer Weiterentwicklung einzelbaumbasierter Wachstumsmodelle sehr groß ist - auch über die vor allem produktionsbezogenen Fragestellungen der Forstwirtschaft (die bei BWIN und SILVA abgebildet werden sollen) hinaus. Mit TRAGIC++ soll vor allem eine Modellierung mittel- bis langfristiger ökologischer Entwicklungsprozesse erzielt werden. Hierbei wird versucht, sehr detailliert einzelbaumbezogene, wachstumsrelevante Faktoren einzubeziehen und die Konkurrenz um die Faktoren Licht, Nährstoffe und Wasser abzubilden, die über den Konkurrenzdruck sowohl im Wurzel- als auch im Kronenbereich bestimmt werden.

Auch in TRAGIC++ ist eine einfache Visualisierungseinheit zur schematisierten Darstellung der prognostizierten Bestände integriert. Zusätzlich gibt es einen in Java programmierten Client, der ähnliche Funktionen beinhaltet, wie die in TRAGIC++ integrierte Visualisierungseinheit - mit dem Zusatz, hier über das Internet die benötigten Daten aus einer zentralen Datenbank abrufen zu können und ein durchgeführtes Variantenstudium in diese zurückzuführen.

¹ vgl. exemplarisch SMALTSCHINSKI 1998; POTT 1998

² HAUHS ET AL. 1995

3.3 Techniken zur dreidimensionalen Darstellung von Vegetationsdaten

In den verschiedenen Softwaresystemen zur 3D-Visualisierung werden unterschiedliche Techniken zur Visualisierung der Vegetation eingesetzt. Im Folgenden sollen nun diejenigen Techniken aufgezeigt werden, die zur Darstellung der Vegetation bei der Visualisierung von Wald-Landschaften herangezogen werden können.

Die folgenden Beschreibungen der Techniken werden zwar auf die Darstellung von Vegetation ausgerichtet, die meisten Techniken eignen sich aber auch zur Darstellung anderer 3D-Objekte wie Häuser (und andere Bauwerke), Fahrzeuge oder auch Lebewesen. Einige der vorzustellenden Techniken lassen sich aber nur dann auf die vorgenannten Objektgruppen übertragen, wenn es sich bei diesen um annähernd rotationssymmetrische Objekte handelt (Heißluftballon, Mensch, Turm, ...).

Es sollen nur die Techniken berücksichtigt werden, die sich in ein interaktives 3D-Landschaftsmodell einbinden lassen - Verfahren in denen Fotografien oder Videoaufnahmen als Ausgangsbasis genutzt und manipuliert werden (Fotomontage z. B. durch Kombination von Foto und Computermodellen) sollen nicht weiter berücksichtigt werden.¹

Die relevanten Techniken lassen sich grundsätzlich in solche mit Flächen- und solche mit Einzelbaum-Bezug unterteilen. Innerhalb dieser beiden Gruppen lässt sich eine weitere Einteilung vornehmen, wobei sich die einzelnen Techniken durch die Komplexität der erzeugten Vegetationsdarstellungen und den damit verbundenen Vor- und Nachteilen unterscheiden. Dabei gilt die pauschalisierte Aussage, dass je komplexer die Objekte zur 3D-Darstellung sind, desto geringer ist im Allgemeinen der darstellbare Landschaftsraum. Allerdings wird die natürliche Vegetation häufig erst durch ein Mindestmaß an Komplexität realitätsnah repräsentiert.²

3.3.1 Techniken zur flächenbezogenen 3D-Visualisierung von Vegetationsdaten

Eine der einfachsten Formen zur Vegetationsdarstellung ist die flächenbezogene Visualisierung. Bei dieser wird im Allgemeinen auf eine Berücksichtigung und Darstellung von Einzelbauminformationen verzichtet und statt dessen die Vegetation über Mittelwerte (am gängigsten ist die mittlere Bestandeshöhe) repräsentiert. Diese mit dieser simplifizierten Darstellungsform erstellten 3D-Objekte werden auch als Blockmodelle bezeichnet, bei denen das Gelände um die jeweils mittlere Bestandeshöhe angehoben (*extrudiert*) wird. Die Blockmodelle werden häufig mit einer Farbkodierung oder aber mit einem Oberflächentexturbild kombiniert. Über die Farbkodierung kann eine zusätzliche flächenbezogene Größe, wie Alter oder Baumart wiedergegeben werden (Abbildung 8). Bei der Überlagerung mit einem Texturbild soll meist die natürliche Oberfläche des Blockmodells, hier konkret der Vegetation (vgl. Abbildung 9), wiedergegeben werden³. Texturbilder können sowohl Satellitenbilder als auch Luftbilder sein. Besonders geeignet für eine fotografieähnliche Darstellung erscheinen hochauflösende Farbluftbilder, hochauflösende Satellitendaten oder auch eine

¹ vgl. LANGE 1999, S. 32ff.

² Diese Problematik ist auch im Zusammenhang mit den Ansprüchen an ein technisches kommunikatives Verfahren in Kapitel 2.2.2 angesprochen worden.

³ vgl. GRAF ET AL. 1994, PIRCHL ET AL. 1997

Kombination von Satellitendaten und Luftbildern in Form einer Bild-Fusion (*imagefusion*).¹ Das Verfahren der Bild-Fusion wird im Methodenteil noch näher besprochen.

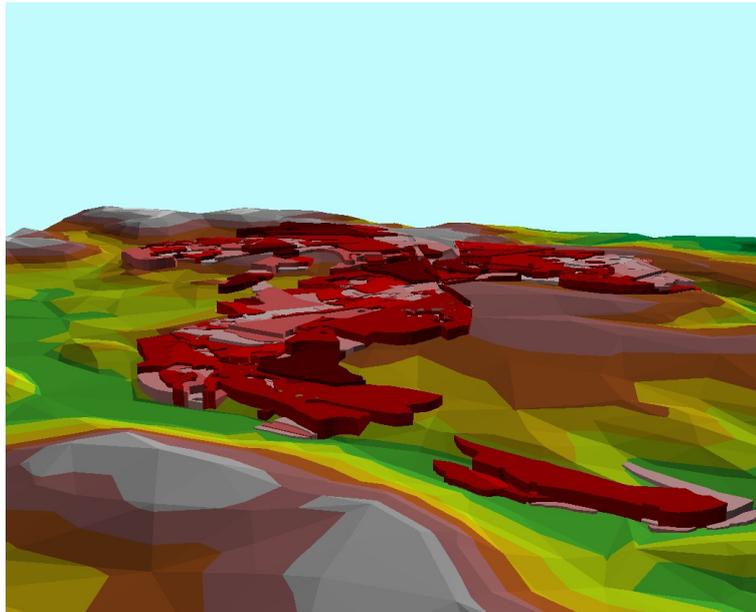


Abb. 8: 3D-Darstellung – Bestände über Mittelhöhe extrudiert; Volumen über Rotton kodiert (je dunkler der Rotton, desto höher das Volumen)

Die Darstellung von Einzelbauminformationen als Flächenmodell ist als Übergang zwischen flächen- und einzelbaumbezogener Vegetationsdarstellung anzusehen. Das gängigste Beispiel für diese Darstellungsform ist die Integration aller individuell für die Einzelbäume vorliegenden Höhenwerte in ein bestehendes Geländemodell (vgl. Abbildung 9). Hierdurch lässt sich die Vegetationsoberfläche nachbilden - eine einzelbaumbezogene Manipulation ist allerdings auch hier nicht möglich.

Durch die Überlagerung mit einem hoch aufgelösten Satellitenbild, einem Luftbild oder einem Fusionsbild (Abbildung 9, rechts) kann das entsprechend manipulierte Geländemodell wiederum optisch aufgewertet werden. Diese Darstellung eignet sich zur Betrachtung der dargestellten Landschaftseinheit bzw. zur Einbindung des zu betrachtenden Bestandes in den umgebenden Wald bzw. die umgebende Landschaft.

¹ vgl. POHL 1996

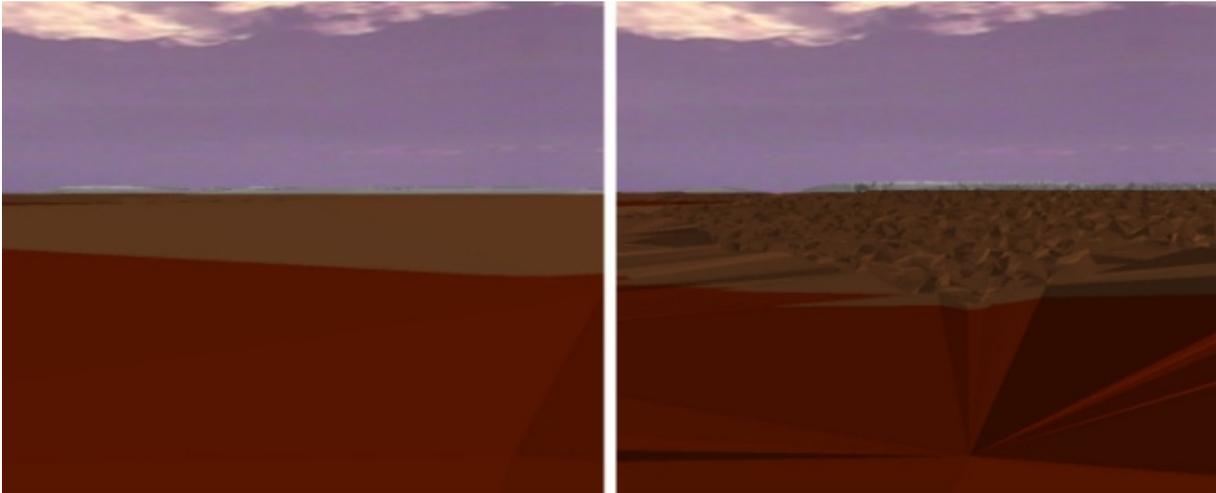


Abb. 9: Geländemodell, links ohne, rechts mit eingerechneten Einzelbaumhöhen

3.3.2 Einfache 3D-Objekte zur Darstellung der Vegetation

Die einfachste Form der einzelbaumbasierten Vegetationsdarstellung basiert auf der Verwendung von geometrischen Grundformen. Hierzu zählen sowohl einfache Pfahlobjekte (aufrecht stehende Linien oder Zylinder; Abbildung 10) als auch aus unterschiedlichen Grundformen (im Folgendem als „Primitive“ bezeichnet) zusammengesetzte 3D-Objekte (Abbildung 11). Nadelbäume werden durch Dreiecke, Laubbäume durch Kreise symbolisiert, die auf einer Linie, dem Stamm, sitzen¹. Diese Darstellungsform wird auch bei vielen heutigen Visualisierungsansätzen noch verwendet. Die so genannten Styroporkörper sind zwar detaillierter aber in ihrer Grundform immer noch aus Primitiven zusammengesetzt².

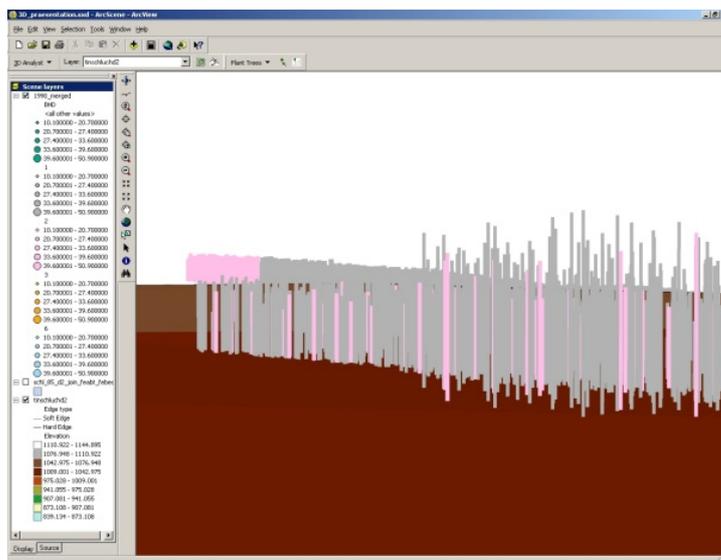


Abb. 10: 3D-Pfahldarstellung der Bestände auf Einzelbaumebene

¹ vgl. MYKLESTAD u. WAGAR 1977; NIKKERSON 1979

² vgl. DANAHY und WRIGHT 1988; SEIFERT 2000



Abb. 11: Darstellung der Vegetation über geometrische Grundformen (Primitive)

3.3.3 Grammatische Systeme zum Erstellen von 3D-Objekten

Sehr detaillierte und realitätsnahe 3D-Pflanzenmodelle lassen sich mit verschiedenen Spezialprogrammen zur mathematisch gestützten Pflanzenmodellierung generieren. Besonders gut auf Baumarten abgestimmt sind einige kommerzielle Programme. Dazu gehört REALnat¹, OnyxTree Professional² und XFrog³. Des Weiteren gibt es freie Software zum Erzeugen von 3D-Objekten. Ein Beispiel dazu ist LParser⁴, das eines der ältesten „public domain“ Programme für L-Systeme ist, sowie wissenschaftliche Programme wie GROGRA⁵. Alle der hier genannten Programme basieren auf der Theorie der Lindenmayer-Systeme (L-Systeme) und sind um spezielle Parameter erweiterte Formen bzw. Abwandlungen davon⁶.

Lindenmayer-Systeme (L-Systeme):

L-Systeme wurden in den späten 60er Jahren von dem Biologen Aristid Lindenmayer entwickelt. Sie werden zumeist auf Zellen, Blütenpflanzen und Gehölze angewandt. Dabei wird davon ausgegangen, dass bestimmte Strukturen dieser Organismen sich immer wiederholen. Ein klassisches Beispiel hierfür ist die regelmäßige Verzweigungsstruktur von Gehölzen, die durch die regelmäßige Anordnung der Nodien vorgegeben ist.

L-Systeme sind Textersetzungssysteme auf der Grundlage formaler Grammatiken. Textersetzungssystem bedeutet, dass komplexe Objekte dadurch modelliert werden, dass einfache Teilobjekte durch komplexere Strukturen sukzessive ersetzt werden.

¹ vormalig AMAP; von BIONATICS 2003

² von ONYX COMPUTING 2003

³ von GREENWORKS ORGANIC-SOFTWARE 2003

⁴ LAPRÉ 2003

⁵ KURTH 1999

⁶ LINDENMAYER 1968; KURTH 1999; PRUSINKIEWICZ u. LINDENMAYER 1990

Man geht dabei von einem Startwert (Axiom) aus, der über verschiedenen Ersetzungsregeln sukzessive ersetzt wird. Dieser Sachverhalt lässt sich am einfachsten durch ein grafisches Beispiel, dem Aufbau einer Schneeflocke (vgl. Abbildung 12), illustrieren¹:

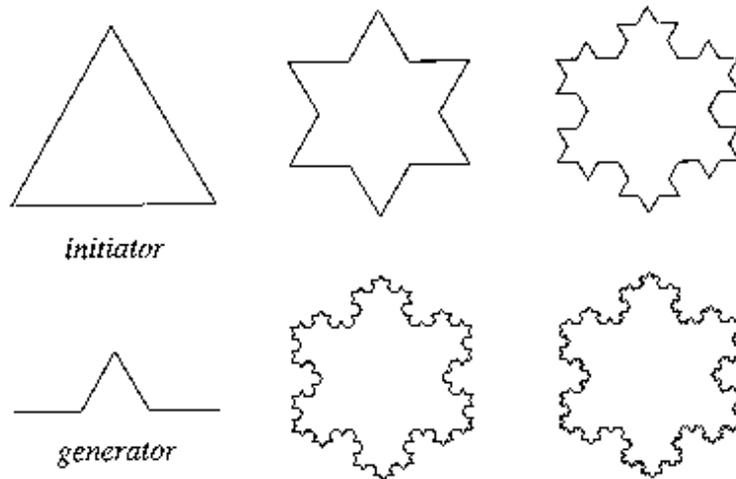


Abb. 12: Erzeugen einer Schneeflockenstruktur über Textersetzungsregeln (L-Systeme)

Als Axiom nehmen wir ein gleichseitiges Dreieck (Abbildung 12, links oben) und als einfache Ersetzungsregel formulieren wir, dass jede Kante durch eine Form entsprechend Abbildung 12 (links unten) ersetzt werden soll. Wird die Ersetzungsregel nun sukzessive angewandt, so erhalten wir eine immer komplexere Schneeflockenstruktur (vgl. Abbildung 12).

In der Computergrafik werden L-Systeme zumeist mittels „Turtlegrafik“ dargestellt. Darunter kann man sich eine Schildkröte vorstellen, die sich entsprechend den „Anweisungen“ im Ergebnis des Ersetzungsvorganges durch den Raum bewegt. Dabei bedeutet F das Zeichnen einer geraden Linie mit vorgegebener Länge, ein „+“ eine Drehung um den vordefinierten Winkel δ nach rechts und „-“ eine Drehung um δ nach links. Angewendet auf unsere Schneeflocke ergibt sich:

$\delta = 60^\circ$ vordefinierter Winkel von 60°

$n = 4$ Anzahl der Ersetzungswiederholungen (Rekursionen)

$\omega:$ A Axiom (Startwert)

p1: A \rightarrow F++F++F Ersetzungsregel 1. Es ergibt sich das Dreieck aus Abbildung 12

p2: F \rightarrow F-F++F-F Ersetzungsregel 2. Entspricht der Form in Abbildung 12

Im ersten Schritt wird nun der Startwert A durch die Produktion p1 ersetzt. Es ergibt sich das gleichseitige Dreieck aus Abbildung 12 und der Textausdruck:

F++F++F

Anschließend wird die Produktion p2 4x nacheinander angewendet, wobei bei jedem Ersetzungsschritt jedes F gleichzeitig (= parallel) ersetzt wird.

Nach dem ersten Ersetzungsschritt durch p2 ergibt sich

F-F++F-F++ F-F++F-F++ F-F++F-F

nach dem zweiten:

¹ Das nachfolgende Beispiel entstammt dem Werk von PRUSINKIEWICZ u. LINDENMAYER 1990.

Ausführlich wird das Prinzip der L-Systeme bei einem der Pioniere in diesem Bereich, dem Informatiker Przemyslaw PRUSINKIEWICZ 1990 abgehandelt. Dieser arbeitete eng mit Aristid Lindenmayer zusammen und ist heute einer der bedeutendsten Wissenschaftler auf dem Gebiet der Pflanzenmodellierung und leitet das „Biological Modeling and Visualization department“ der Universität Calgary.

Neben der vorgestellten zweidimensionalen Darstellung eignen sich L-Systeme auch dazu dreidimensionale Organismen abzubilden. Hierzu werden zusätzliche Regeln und Anweisungen für die „Schildkrötenlauf“ dahingehend ergänzt, dass diese sich auch in der Höhe und somit im ganzen 3D-Raum bewegen kann.

Dieses Verfahren wird auch bei den meisten zuvor schon genannten Systemen zur 3D-Pflanzenmodellierung genutzt. Hier haben sich zusätzliche Ansätze (Algorithmen) zur möglichst botanisch orientierten Pflanzenmodellierung entwickelt. Ziel dieser Ansätze ist eine möglichst genaue Berücksichtigung der Morphologie einzelner Pflanzenabschnitte, für die gesonderte Regeln aufgestellt werden. So beruht die Pflanzenarchitektur bei der Software REALnat auf einem Verzweigungsmodell, das aus der Übersetzung von statistisch ermittelten Pflanzeigenschaften entstanden ist.

L-Systeme eignen sich auch dazu das Wachstum der Pflanzen oder auch den Einfluss der Umwelt auf eine Pflanze zu simulieren¹. Um dies zu erreichen und die Abbildungsqualität von Baummorphologien noch zu erhöhen wurden und werden L-Systeme immer weiter entwickelt und dabei um zusätzliche Parameter erweitert. Ein sehr interessanter Ansatz hierfür sind stochastische, sensitive L-Systeme, die auch in jüngster Zeit intensiv weiter entwickelt werden².

3.3.4 Weitere Ansätze zur Erstellung von 3D-Baummodellen

Eine weitere Möglichkeit 3D-Vegetationsobjekte „herzustellen“ besteht in der Digitalisierung der Objekte aus Fotos heraus z. B. mit den Programmen PhotoModeler (Lite)³ oder mit FLORADIG⁴.

Auch lassen sich 3D-Baummodelle mit gängiger Konstruktionssoftware (z. B. AutoCAD und Microstation) erstellen. Dies ist aber sehr aufwändig und verlangt vom Ersteller eine sehr gute Kenntnis im Bereich der Dendrologie, speziell in der Morphologie der Gehölze.

◦ *3D-Objekte aus 3D-Scans*

Ein relativ neues Verfahren zum Erzeugen von künstlichen 3D-Pflanzen ist das Einscannen von Realpflanzen mit Spezial-3D-Scannern. Dieses Verfahren bietet sich allerdings nur für Objekte bis zu einer Größe von 3 Metern an. Größere Objekte können von den derzeitigen 3D-Laserscanningssystemen nicht verarbeitet werden.⁵

¹ vgl. MĚCH und PRUSINKIEWICZ 1996

² vgl. KURTH 1999

³ von EOS SYSTEMS 2003

⁴ vom CENTRE FOR PLANT ARCHITECTURE INFORMATICS (CPAI) 2003

⁵ Für nähere Informationen vergleiche CENTRE FOR PLANT ARCHITECTURE INFORMATICS (CPAI) 2003.

3.3.5 *billboards* zur Darstellung der Vegetation

Eine weitere realistisch wirkende Alternative zu den komplexen 3D-Bäumen stellt die Verwendung von Texturtechniken dar. Dabei werden auf einfache geometrische Körper (Primitiven) Fotos der gewünschten Objekte gelegt. Zur Darstellung speziell von Bäumen werden von vielen Programmen so genannte *billboards* verwendet. Dabei handelt es sich um selbstdrehende, senkrecht zur Erdoberfläche stehende, rechteckige Rahmen (Träger der Grundgeometrie), auf die das Foto des gewünschten Objektes gelegt wird (Abbildung 13). Selbstdrehend bedeutet dabei, dass sich der Rahmen immer mit der vollen Breite auf die Position des Beobachters ausrichtet, dieser also immer das Bild in seiner kompletten Ausdehnung sieht. Annähernd rotations-symmetrischen Objekte können auf diese Weise mit sehr wenig Rechenzeit in sehr guter Qualität dargestellt werden. Mit dieser Technik wird die „Illusion“ eines 3D-Körpers hervorrufen. Diese Art der Darstellung ist viel realistischer als die einfache Punktdarstellung aber viel Ressourcen schonender als „echte“ 3D-Modelle.

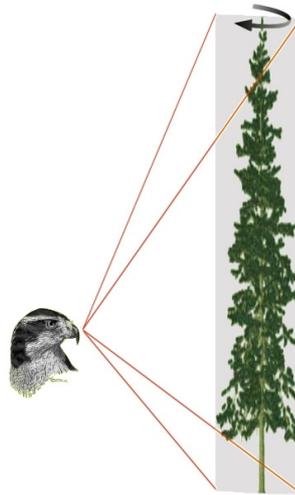


Abb. 13: Prinzip von „echten“ *billboards*

Technisch gesehen besteht ein *billboard* aus einem rechtwinkligen Rahmen dessen vier Eckpunkte festgelegt sind und einer Textur (Foto) des darzustellenden Objektes (z. B. Baum). Wie bei einem Bilderrahmen wird nun die Textur auf den Rahmen „gespannt“ und somit im Raum fixiert. Dabei unterscheidet man „echte“ und „unechte“ *billboards*. Bei den „echten“ *billboards* wird nur ein Rahmen erzeugt und dieser richtet sich automatisch auf den Betrachter (die Kamera) aus. Man bezeichnet sie als selbstdrehend. „Echte“ *billboards* erfordern beim Darstellungsprogramm eine bestimmte Funktionalität in der *renderengine*¹ und nicht alle Programme die 3D Objekte darstellen können, können auch mit diesen selbstdrehenden *billboards* umgehen. Bei diesen kann man sich eines Tricks bedienen, um trotzdem eine annähernde *billboard*-Funktionalität zu erzielen. Es werden „unechte“ *billboards* oder auch „Mehrflächenoption“ eingesetzt. Bei diesen werden mehr als ein Rahmen erzeugt (meist 2 dann heißen sie *X-billboards*) und in ihrer Längsachse gekreuzt (vgl. Abbildung 14). Dies bietet sich als Alternative an, wenn die *billboard*-Technik in Programmen nicht realisierbar ist.

¹ Zur Erläuterung des Begriffes *renderengine* vgl. Fußnote auf S. 50.

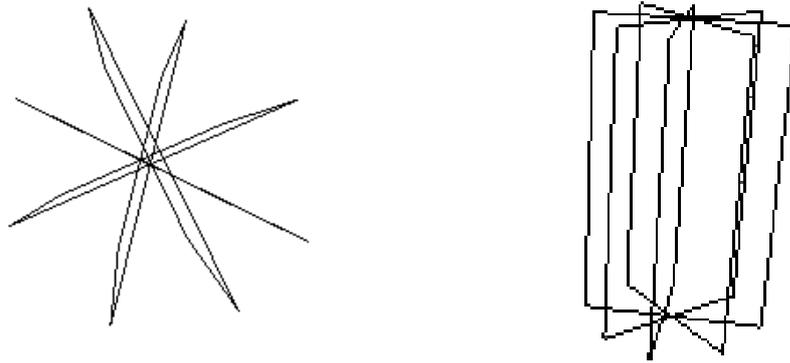


Abb. 14: Verwendung von gekreuzten Rahmen als Vorbereitung zur realistischen 3D-Darstellung von Bäumen; links: Ansicht von oben, rechts: Ansicht aus Beobachtersicht

Allen Texturtechniken ist gemein, dass eine Hintergrundtransparenz bei den Objektfotos verwendet wird. Nur dadurch wird eine realistische Darstellung erreicht (vgl. Abbildung 15).



Abb. 15: Texturdarstellung von 3D-Bäumen auf gekreuzten Rahmen; links ohne, rechts mit Hintergrundtransparenz

Vorteile von *billboards*:

Es wird eine sehr realistische und effektive Darstellung bei sehr geringem Ressourcenbedarf erzielt. Außerdem sind die Texturen für *billboards* einfach und kostengünstig herzustellen. Eine Möglichkeit stellt das Abfotografieren mit einer Digitalkamera dar die heute schon sehr weit verbreitet sind.

Nachteile von *billboards*:

Der Nachteil von *billboards* zur Visualisierung von Vegetation besteht jedoch darin, dass die „Illusion“ nur dann funktioniert, wenn der Beobachter sich in Augenhöhe interaktiv durch das Areal bewegt. Sobald sich der Beobachter/die Kamera in einer gewissen Höhe über dem Gelände bewegt und annähernd senkrecht auf das Gelände schaut, erkennt er die Flächenhaftigkeit des Objektmodells. Beim Blick senkrecht von oben auf die *billboard*, erkennt man das es sich um Rahmen handelt - man sieht einen Strich, oder das Kreuz/den Stern, aus dem das *billboard* gebildet ist. Im schlimmsten Fall richten sich die echten *billboards* auch in der Draufsicht auf den Betrachter aus. Die Folge - das Objekt liegt scheinbar umgestürzt am Boden.

Wie zuvor beschrieben wird bei der *billboard*-Technik eine Textur des darzustellenden Objektes auf den/die Rahmen projiziert. Als Quelle für die Textur kommen Bildbibliotheken (meist kommerziell) wie z. B. ONYX Tree Professional¹, Baummodellierungsprogramme die einen Export in einem Standardgrafikformat ermöglichen (wie REALnat und XFrog) oder eigene eingescannte Fotografien infrage. Auf jeden Fall muss das Bild speziell aufbereitet werden, um in den verschiedenen Visualisierungsprogrammen als Textur verwendet werden zu können.²

3.3.6 Schichtmodelle

Als Weiterentwicklung der *billboards* ist die Schichtmodell-Technik („*slicing and blending*“) anzusehen, wie sie bei JAKULIN 2000 beschrieben wird. Bei dieser Technik werden „Schnittbilder“ des darzustellenden Objektes hergestellt und im Raum angeordnet. Zur Erzeugung der Schnitte wird das darzustellende 3D-Objekt in „Scheiben“ geschnitten und diese Scheiben werden dann als Bild erfasst (Abbildung 16). Zur Nachbildung des 3D-Objektes werden diese Rahmen dann im Raum aufgestellt und die Schnitte so angeordnet, wie sie im Original-3D-Model vorgekommen sind.

Leider wird dieses Verfahren noch von keinem der herkömmlichen Visualisierungsprogramme beherrscht. Das Verfahren ließe sich aber in einer eigenen OpenGL-Programmierung leicht nutzen.

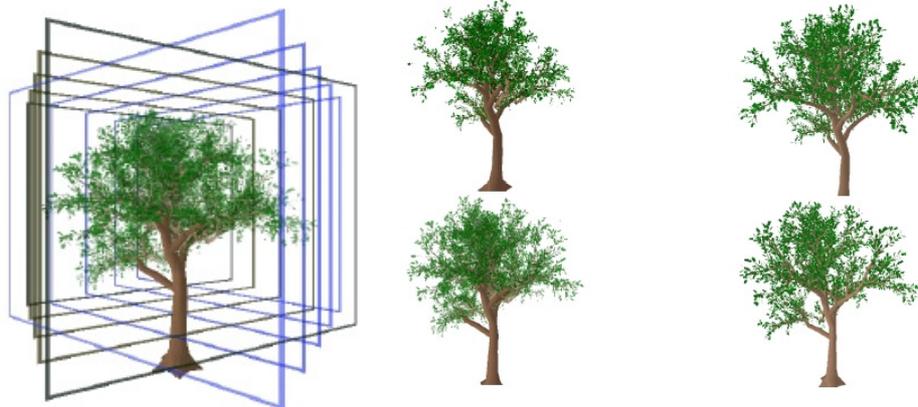


Abb. 16: Prinzip der Schichtenmodelle (aus JAKULIN 2000)

Vorteile:

Mit diesem Verfahren lässt sich ein 3D-Modell sehr gut und sehr realistisch nachbilden. Und dies bei einer kaum höheren Speichernutzung wie bei der *billboard*-Technik. Auch von oben betrachtet wirken die Schichtenmodelle gut, wenn man das Standardverfahren durch horizontale „Schnitte“ erweitert.

¹ ONYX COMPUTING 2003

² Wie aus den unterschiedlichen Quellen Texturen für den Einsatz mit *billboards* erzeugt werden können, ist im Anhang erläutert.

Nachteile:

Es ist schwierig Schnitte von Realobjekten anzufertigen, da diese sich nicht so einfach in die zu fotografierenden Schnitte zerlegen lässt. Ein Realbaum zum Beispiel müsste zersägt werden, um die notwendigen Schnitte aufnehmen zu können. Die Anwendung begrenzt sich von daher auf die Umwandlung von Computermodellen (CAD-Modellen) in ein Schichtenmodell. Dies gelingt aber sehr einfach und die Ressourceneinsparung ist sehr hoch.

Es gibt derzeit keine direkte Unterstützung für diese Technik in den bekannten 3D-Visualisierungsprogrammen. Es wäre von daher eine eigene Implementierung dieser notwendig.

3.4 Spezialprogramme zur 3D-Landschaftsvisualisierung

Zur Erreichung der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit wird ein Softwaresystem benötigt, mit dem eine dreidimensionale Darstellung von Landschaftsausschnitten möglich wird. Der Hauptanspruch an diese Software ist die (möglichst) realistische Darstellung von Landschaftsausschnitten. Als wesentliche landschaftsbeschreibende Elemente müssen das Gelände (idealerweise mit Geländetexturbild), die Vegetation (vor allem die Waldvegetation) sowie anthropogene Landschaftselemente (wie Gebäude und Straßen) mit dieser Software darstellbar sein.

Auf dem Markt gibt es mittlerweile eine sehr große Auswahl an Programmen, die mehr oder weniger gut für die genannte Aufgabenstellung geeignet wären. So gibt es einfach strukturierte Programme, mit denen „nur“ digitale Geländemodelle (DGM) dargestellt werden können (so genannte „Terrain Viewer“) bis hin zu hochkomplexen Systemen, mit denen detaillierte fotorealistische Landschaften erzeugt werden können, in denen der Benutzer sich frei in der erstellten Szene bewegen kann (sogenannte „fotorealistische Landschafts-renderer¹ mit *realtime*²-Funktionalität“). Die Vielfalt der Programme ist sehr groß und es nicht einfach den Überblick über den Markt zu behalten. Auch gibt es nicht das „ultimative“ Programm, das alle denkbaren Nutzeransprüche erfüllen würde. Auch werden immer neue und leistungsfähigere Programme entwickelt, die auch immer neue Funktionen enthalten. Für eine spezielle Aufgabenstellung ist somit meist eine genaue Marktstudie notwendig, um das für die jeweilige Zielsetzung optimale Programm zu finden.

Unterstützend kann hier auf einige Gegenüberstellungen der aktuell verfügbaren Geländevisualisierungsprogramme zurückgegriffen werden, die sich im Internet finden. Hier fallen vor allem zwei Adressen aus der Menge auf: zum einen die Übersicht des „U.S. Army Topographic Engineering Centers“³, die mehr als 400 Beschreibungen kommerzieller Programme enthält und zum anderen die

¹ Ein *renderer* bezeichnet ein Programm mit der Funktionalität des *renders* (oder auch ein Programm mit *renderengine*). *rendern* ist ein im Computerbereich verwendeter Begriff, der von dem englischen Begriff *rendering* abgeleitet ist. Direkt übersetzt bedeutet *rendering* „Übersetzung“ oder „Wiedergabe“. Auf den Computerbereich übertragen bedeutet er die Erstellung eines Bildes am Computer. Die *render*-Geschwindigkeit gibt dabei an, wie viele Bilder der Computer pro Zeiteinheit berechnen kann. Die *renderengine* ist der Bestandteil des Programms, dass für die Erzeugung der Bilder verantwortlich ist.

² *realtime*, auf Deutsch „Echtzeit“; von einer *realtime*-Darstellung spricht man, wenn es dem Betrachter möglich ist, in einer 3D-Szene zu navigieren, wobei der wechselnde Szeneninhalte möglichst schnell (optimalerweise 25 Mal pro Sekunde) wieder aufgebaut werden sollte.

³ Die Seite des „U.S. Army Topographic Engineering Center“ findet sich online unter der URL http://www.tec.army.mil/TD/tvd/survey/survey_toc.html (01.09.2003).

des „Virtual Terrain Projects“¹, die eine sehr detaillierte Beschreibung der bedeutendsten aktuell verfügbaren Programme, mehrfach unterteilt nach verschiedenen Gruppen (kommerziell, nichtkommerziell, GIS-, CAD-, Spielesoftware, Software aus den Bereichen Militär, Forschung und Kunst) enthält.

Die Softwareprogramme lassen sich dabei nach ihrem konkreten Anwendungsgebiet, dem primären Visualisierungszweck (Analyse, Exploration, Synthese, Präsentation)², dem Realitätsgrad der Darstellung und der zur Darstellung nutzbaren Daten (Geometrie-Art u. a.) in „Software-Familien“ einteilen. FUHRMANN ET AL. definieren dabei sieben Gruppen. Die für die vorliegende Arbeit interessantesten Software-Familien sind dabei schwarz und die nicht so wichtigen ausgegraut:

- **Integrierte 3D-GIS/Visualisierungssysteme:** Allgemeine GIS mit 3D-Funktionalität sowohl im Visualisierungsbereich als auch bezüglich der angebotenen Analyse-Funktionen.
- **„Terrain Viewer“:** Systeme, die primär zur Betrachtung von Geodaten - insbesondere der Erdoberfläche - eingesetzt werden (hauptsächlich Navigationsaufgaben).
- **Systeme zur Geländemodellierung („terrain modeller“):** Die Funktionalität dieser Systeme fokussiert den Aufbau, die Veränderung und die Analyse von Geländeoberflächen („digitaler Geländemodelle“).
- **Fotorealistische Landschafts-renderer:** Diese Produkte dienen zur Generierung fotorealistisch wirkender 3D-Landschaften (oft keine Echtzeit-Fähigkeit und keine Möglichkeit der direkten 3D-Interaktion).
- **Systeme zur geologischen 3D-Modellierung und -Visualisierung:** Systeme, die für geologische und geophysikalische Anwendungen die 3D-Darstellung und -Modellierung von Objekten unterhalb der Erdoberfläche ermöglichen.
- **Multidisziplinäre ViSC-Werkzeuge:** Systeme, welche die 3D-Darstellung und insbesondere die explorative Analyse von Daten aus den verschiedensten Anwendungsbereichen (auch außerhalb der Geowissenschaften) ermöglichen.
- **CAD-Systeme:** Allgemeine CAD-Systeme. Für die meisten CAD-Systeme sind zahlreiche Produkterweiterungen verfügbar, z. B. „terrain modeller“ oder Anwendungen für stadtplanerische Aufgaben. Weist ein System derartige Erweiterungen auf, kann die Zuordnung zu einer anderen Familie sinnvoll sein.

Es muss bemerkt werden, dass sich weitere Software-Familien identifizieren lassen und nicht jede Software eindeutig in die vorgeschlagene Einteilung einfügt werden konnte. Dies widerspricht dem Zweck der vorgenommenen Kategorisierung jedoch nicht.³

Die Bemerkungen am Ende der Softwarekategorisierung aufgreifend, erscheint es auch für die vorliegende Arbeit sinnvoll diese Liste zu erweitern. Sie soll um zwei zusätzliche Software-Familien ergänzt werden, die sich nach dem Verständnis des Autors der vorliegenden Arbeit ergeben:

Spielentwicklungsumgebungen: Systeme zum Erzeugen von Spielen, die sich durch hohe Interaktion auszeichnen (anfassen, Türen öffnen, ...). Bei den erstellten 3D-Szenarien handelt es sich dabei im Allgemeinen um „geschlossene“ Systeme, in denen sich der Akteur spielerisch frei bewegen, aber den Szenariinhalt nicht mehr verändern kann. Problematisch ist hier oft der Zugang zum Dateiformat (binär, kein externes Schreiben der Materialien; keine Attributfunktionalität in der Engi-

¹ Einen Zugriff auf die Übersicht, unterteilt nach den verschiedenen Gruppen, findet sich in der Rubrik „Other Terrain Software“ online unter der URL <<http://www.vterrain.org>> (01.09.2003).

² vgl. MACEACHREN u. KRAAK 1997

³ FUHRMANN ET AL. 2001, S. 193f.

ne, um Materialien leicht zuweisen zu können; Verlust der „realen“ Koordinaten, da die *gameengine* in der Regel mit eigenem Koordinatensystem arbeitet).

Interaktive GIS-gestützte 3D-Visualisierungssysteme: Dabei handelt es sich um Programme, die auf Visualisierung spezialisiert sind und sich in GIS integrieren lassen oder aber um selbstständige Programme, die direkt auf GIS-Daten zurückgreifen können. Diese Systeme zeichnen sich durch **Echtzeit-Fähigkeit** und die Möglichkeit der **direkten 3D-Interaktion** aus.

Für die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit eignen sich besonders Programme aus den Gruppen:

- Integrierte 3D-GIS/Visualisierungssysteme
- Interaktive GIS-gestützte 3D-Visualisierungssysteme
- Fotorealistische Landschafts-*renderer*
- Spieleentwicklungsumgebungen
- CAD-Systeme

Die aus diesen Programmgruppen getesteten Visualisierungsumgebungen sind in Tabelle 3 aufgeführt. In dieser ist über die Spalte „Kategorie“ auch die Zuordnung zu einer der vorgenannten Programmgruppen ersichtlich. An dieser Stelle sollen aus jeder Gruppe ein bis zwei Vertreter vorgestellt werden und die Stärken und Schwächen in der 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen aufgezeigt werden. Wichtigste Prüfkriterien sind die Realitätsnähe der erzeugten 3D-Szenen sowie die Eignung zur Kombination mit einem GIS. Die Auswahl der getesteten Programme begründet sich auch mit der Verfügbarkeit. Das bedeutet, dass Programme getestet wurden, die entweder an der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften vorlagen, oder als „Demo-Version“ oder als Freeware zu beziehen waren.

Die in der Arbeit verwendeten „Vertreter“ aus der Gruppe der **integrierten 3D-GIS/Visualisierungssysteme** werden bei den GIS-Programmen in Kapitel 4.3.1 besprochen. Dabei handelt es sich um die optionalen GIS-Module zur 3D-Visualisierung - 3D-Analyst und ArcScene. Die Verwendung dieser Erweiterungen in der vorliegenden Arbeit ist obligatorisch - werden sie doch für den reinen GIS-Lösungsansatz, der in der vorliegenden Arbeit getestet und bewertet werden soll, benötigt.

| Programm | Hersteller | Kosten | Kategorie | Anmerkungen |
|--|--|--------------------|---|---|
| SiteBuilder 3D V. 1.1 (Demo) | MultiGen Paradigm www.sitebuilder3d.com | US\$ 1995 | GIS-gestützte 3D-Visualisierungssysteme | |
| K2Vi Pro V. 2.3 (Demo) | K2Vi (Key to Virtual insight) www.k2vi.com | ca. US\$ 9000 | GIS-gestützte 3D-Visualisierungssysteme | |
| World Construction Set 5.03 (WCS) | 3D Nature | € 1430 | fotorealistische Landschafts-renderer | direkte Unterstützung von Geodaten |
| AMAP Integral | Cirad | € 9900 | fotorealistische Landschafts-renderer | Das Programm wird unter dem Namen Orchestra nun von der Firma Bionatics vertrieben. |
| VistaPro 4.01 | RomTech, Inc. | US\$ 35 | fotorealistische Landschafts-renderer | |
| Enviro V. vom 21.08.2003 | vterrain www.vterrain.org | <i>open source</i> | fotorealistische Landschafts-renderer (mit Echtzeit-Fähigkeit und direkter 3D-Interaktion) | Bestandteil des „Virtual Terrain Projects“ (VTP) |
| Blender V. 2.12 | Blender Foundation (ehemals Not a Number) | <i>open source</i> | Spieleentwicklungsumgebungen und fotorealistische Landschafts-renderer | |
| Microstation J V. 7.01 | Bentley Systems Inc. | 6200 € | CAD-Systeme | beinhaltet das GIS-Modul GeoGraphics |

Tabelle 3: Getestete 3D-Visualisierungssoftware

Die getesteten Programme sollen hier mit einer Kurzreferenz, mit Bewertung über Eignung, Vorteilen und Nachteilen, vorgestellt werden:

◦ **SiteBuilder 3D**

Dieses Programm bindet sich nach der Installation in die bestehende Installation von ArcView 3.x ein. Von dort kann die Geodatenbasis für die Visualisierung in SiteBuilder3D aufbereitet werden. Dazu werden bei der Installation von Sitebuilder zusätzliche Menü-Einträge in ArcView 3.x vorgenommen. Für die Darstellung der GIS-Datenbasis muss dieses in das Format von SiteBuilder 3D umgewandelt werden, welches das **OpenFlight**-Format¹ zur Darstellung der 3D-Objekte nutzt. 3D-Objekte werden so in der 3D-Szene mit hervorragender Qualität dargestellt. Die Verwendung eines „eigenen“ Formats zur Darstellung der GIS-Datenbasis hat allerdings einen gravierenden Nachteil - ändert sich die Geometrie der Datenbasis, so muss diese erneut in das SiteBuilder-Format konvertiert werden.

Hervorragend gelöst ist auch die Integration in ArcView 3.x. Ist die 3D-Szene erst erzeugt, können die beiden Programme über eine Schnittstelle kommunizieren. Zwischen der 2D-Szene von ArcView und der 3D-Szene von SiteBuilder 3D wird ein „live-Link“ aufgebaut. So können die in der 3D-Szene dar-

¹ Auch das OpenFlight-Format ist vom Hersteller von SiteBuilder 3D entwickelt worden.

zustellenden Themen im GIS an- und ausgeschaltet werden und die Position in der 3D-Szene wird auch im 2D-View von ArcView dargestellt (über Sichtwinkel, der den Blickwinkel repräsentiert).

Auch zur Darstellung auf Einzelbaumebene nutzt SiteBuilder 3D dreidimensionale Modelle im OpenFlight-Format zur Repräsentation der Vegetation. Hier kann man zwischen „komplexen“ aufwändig modellierten 3D-Modellen und über *billboards*¹ repräsentierte Baummodelle wählen. Da das OpenFlight-Format relativ speicherintensiv ist, ergibt sich das Problem, dass nur wenige Einzelobjekte in der 3D-Szene dargestellt werden können. Bei der Verwendung der „einfacheren“ Modelle, die *billboards* entsprechen, lassen sich in einer 3D-Szene nur etwa 10000 Einzelbäume darstellen. Greift man hier auf den „Trick“ zurück, Bestände über die Kombination von Einzel- und Blockmodellen darzustellen (zentral Blockmodell mit Randbäumen als OpenFlight-Modelle wie in Abbildung 17 zu sehen), so lassen sich weiträumige Landschaften visualisieren.

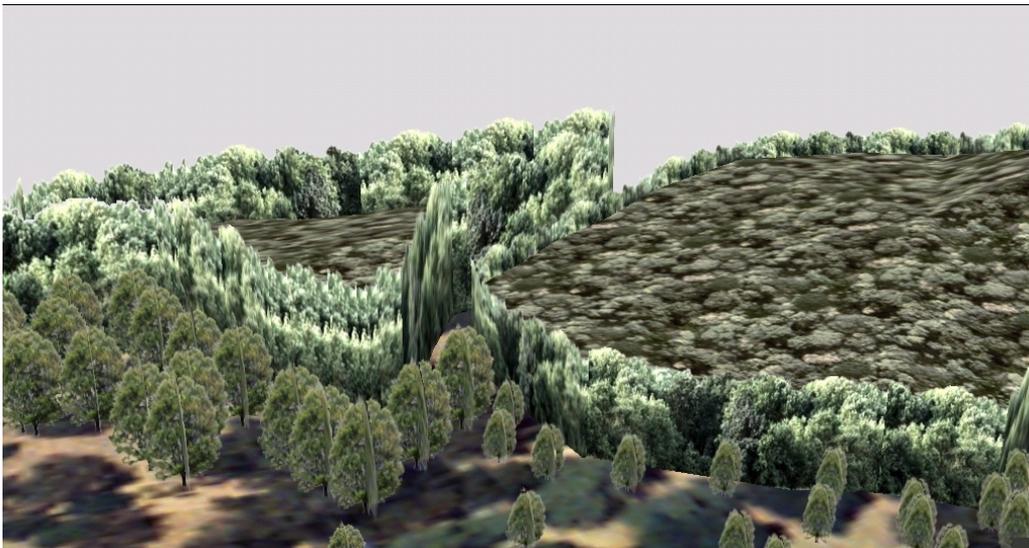


Abb. 17: Vegetationsdarstellung in SiteBuilder 3D

SiteBuilder 3D bietet zudem eine sehr gute Unterstützung für die Navigation in der 3D-Szene. Hier lassen sich verschiedene „Fortbewegungsarten“ auswählen (Flugzeug, Spaziergänger, Ufo) deren typisches Bewegungsverhalten dann während der Navigation simuliert wird (Flugzeug fliegt schnell vorwärts, Spaziergänger läuft an Boden, Ufo schwebt). Die erstellten 3D-Szenen können komplett in das OpenFlight-Format exportiert werden, das dann mit freien Betrachtungsprogrammen (*viewer*) verteilt werden kann.

◦ **K2Vi**

Dieses Programm zeichnet seine sehr gute Unterstützung für die ESRI-Geodaten-Formate aus. Hier ist sogar eine Schnittstelle zu der Geodatenbank ArcSDE implementiert, was es ermöglicht, auch auf Datensätze, die in dieser Datenbank gespeichert sind, zuzugreifen und diese zu visualisieren. In K2Vi sind GIS-Grundfunktionen integriert, sodass Änderungen (Manipulationen) an der Szene und der Geodaten in der 3D-Ansicht möglich sind. (Geodaten können wie im GIS in 3D-Szenen manipuliert und gespeichert werden; Einzelobjekte können über Abfragemodul gesucht und angezeigt werden; Beleuchtungsanalyse ist für die dargestellten 3D-Objekte möglich; Darstellung der Geodaten über Klassifikation möglich).

Die Darstellungsqualität kann erhöht werden, indem den Geodaten (z. B. Punkt-*shapefile*) CAD-Modelle (3DS, DXF, NFF, BFF, OBJ) zur Visualisierung zugeordnet werden. So können auch die

¹ Hier werden *X-billboards* nachgebildet - diese sind in Kapitel 3.3.5 beschrieben.

Waldstrukturen auf Einzelbaumebene aus den Geodaten aufgebaut und dargestellt werden (Abbildung 18 links). Hierbei ergeben sich allerdings ähnliche Probleme wie in ArcScene bei Verwendung von 3D-Bäumen - lange Ladezeit, träge bis unmögliche Navigation.

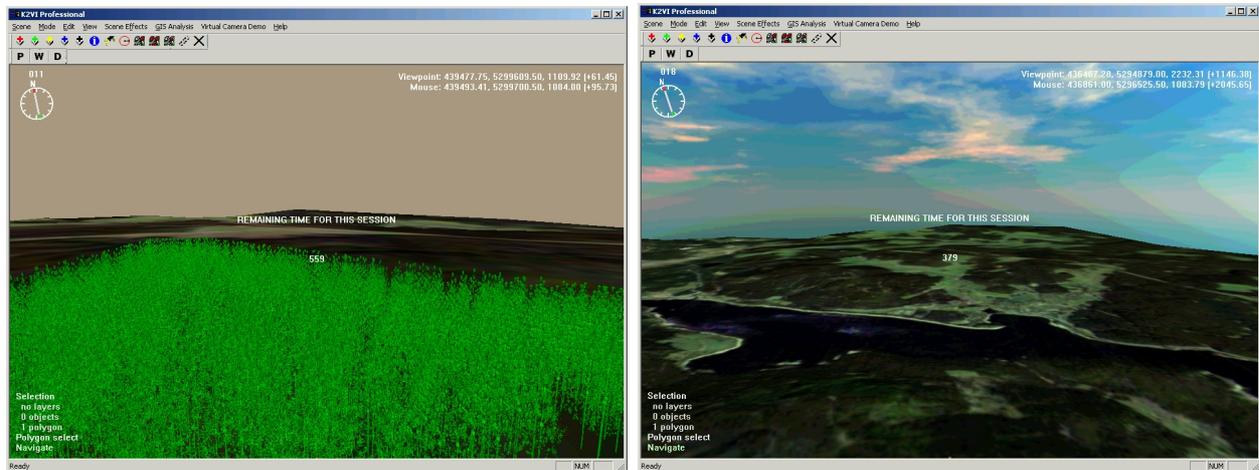


Abb. 18: Landschaftsdarstellungen in K2Vi. Links 3D-Bäume, rechts mit Verwendung von Texturbildern

Zusätzlich können die Einzelbäume auch über *billboards* dargestellt werden. Leider ist diese Technik auch in K2Vi nicht über Algorithmen implementiert und es bedarf eines „Kunstgriffs“ um *billboards* zu erzeugen. Im GIS müssen die Rahmen als Geometrie erstellt werden,¹ welchen man dann in K2Vi eine Foto-Textur (z. B. Baumbild) zuordnen kann.

Außerdem unterstützt auch K2Vi die gängigen Methoden zur Aufwertung der 3D-Szenen durch Nutzung von Texturbildern (Darstellung des Himmels und Überlagerung des Geländemodells mit einer Fototextur - vgl. Abbildung 18 rechts).

Eine Besonderheit von K2Vi ist, dass die Software individuell angepasst verkauft wird. Das bedeutet, dass man vor dem Kauf angeben kann, welche Funktionen implementiert sein sollen. Nach Aufwand der notwendigen Anpassungen und des Funktionsumfangs wird der Preis berechnet.

Erstellte Szenen können mit einem kostenlosen *viewer* (K2Vi lite) verteilt werden, der dem Produkt beiliegt oder von der Herstellerseite bezogen werden kann.

◦ *World Construction Set (WCS)*

In der Gruppe der „fotorealistischen Landschafts-renderer“ nimmt WCS eine herausgehobene Stellung ein. So schreiben beispielsweise GEIER ET AL.:

„WCS dürfte derzeit im Bereich der planenden Disziplinen das am häufigsten eingesetzte Visualisierungssystem sein“²

Die starke Verbreitung dürfte vor allem mit der sehr guten Unterstützung der GIS-Datenbasis und der sehr guten Qualität der erzeugten Bilder zu begründen sein. Der Hauptnachteil von WCS ist, dass es **nicht Echtzeit-fähig** ist. Auch der Aufbau eines Einzelbildes benötigt einige Zeit. Für das Erstellen von „spontanen Szenarien“ ist es daher nicht geeignet. Sind die gewünschten Darstellungsszenarien bekannt, lassen sich im Vorfeld sehr gute Animationen erstellen.

¹ Im GIS gibt es dafür verschiedene dreidimensionale Geometrietypen. Bei ArcView 8.x sind dies *PolygonZ* oder *Multi-Patch*.

² GEIER ET AL. 2001, S. 233

WCS ist ein komplett eigenständiges Programm mit nicht offen gelegtem Dateiformat. Von daher muss die gewünschte Szene in WCS (neu) aufgebaut werden. Da das Programm sehr komplex ist und die Menüführung stark von anderen Programmen abweicht, ist die Einarbeitungszeit sehr hoch.

Mittlerweile gibt es von der gleichen Firma ein neues Produkt mit noch besserer Unterstützung für GIS-Datenbasis (z. B. können Attribute gelesen und umgesetzt werden) und erweiterter GIS-Analysefunktionalität (Visual Nature Studio (€3500)). Dieses Programm ist aber erst nach dem Produkttest der vorliegenden Arbeit erschienen und von daher nicht mehr berücksichtigt worden.

◦ *AMAP Integral*

AMAP Integral¹ verwendet keine *billboards* zur Landschaftsdarstellung. Hier wird auf „reale“ 3D-Pflanzenmodelle zurückgegriffen. Da ein einzelner 3D-Baum aus bis zu 300.000 Polygonen² bestehen kann und hierdurch sehr viel Speicher belegt würde, wird während der Konstruktionsphase auf eine Darstellung der 3D-Bäume verzichtet. Diese werden erst beim *rendern*³ der fertigen 3D-Szene eingefügt. Die Darstellungsqualität der Vegetation ist dabei sehr gut. Dabei unterstützt AMAP für die Pflanzenmodelle LOD⁴, dass bedeutet, dass die Pflanzenmodelle mit zunehmender Entfernung zum Betrachter weniger detailliert berechnet und dargestellt werden. Dies spart (Rechen-)Zeit beim *rendern* der Szene, da nur die Bäume in voller Qualität berechnet werden müssen, die im Vordergrund der Szene stehen. Eine direkte Unterstützung für die GIS-Formate bietet AMAP nicht. Das Gelände kann aber aus dem GIS heraus in AMAP-lesbare Form (DXF, oder Textdatei mit xyz-Punkten) gebracht werden.

Durch die fehlende direkte Unterstützung der GIS-Datenbasis ist die Entwicklung einer Schnittstelle erschwert, aber möglich, wie das Projekt Virtueller Wald (ViWa) von KNAUFT 2000 zeigt. Seine Arbeit gibt einen guten Überblick über die Landschaftsvisualisierung mit AMAP. In der vorliegenden Arbeit wird auf einen Einsatz von AMAP verzichtet, da das Programm für die Zielsetzung der Arbeit zu Grunde liegenden Fragestellung nicht geeignet erscheint. In der „offiziell“ verfügbaren Form handelt es sich um ein Programm aus der Gruppe der fotorealistischen Landschafts-*renderer* **ohne Echtzeit-Funktionalität**. Um Szenen zu erstellen und zur Präsentation zu bringen wird viel Zeit benötigt. Für einen Ad-hoc-Einsatz ist das Programm von daher nicht geeignet. Auch sind die Lizenzkosten als sehr hoch einzustufen.

◦ *VistaPro*

VistaPro ist ein Programm, mit dem sich fotorealistische, dreidimensionale Landschaften generieren lassen (Abbildung 19 links). Gerade Himmel, Wasser (mit Manipulationsmöglichkeit für die Wasseroberfläche) und die erzeugten 3D-Baumobjekte sind von sehr hoher Qualität (Abbildung 19 rechts). Mit den internen Algorithmen lassen sich Szenen mit mehreren hunderttausend Bäumen erzeugen. Als „Ergebnisprodukt“ lassen sich dabei Einzelbilder der Landschaft oder auch Film-Animationen, in Form von Überflügen, generieren.

¹ vgl. REFFYE 1981; LECOUSTRE ET AL. 1997

² TROLF 1995, S. 71

³ Zum *rendern* vgl. Fußnote auf S. 50.

⁴ Zum „*level of detail*“ (LOD) vgl. Kapitel 4.5.4.

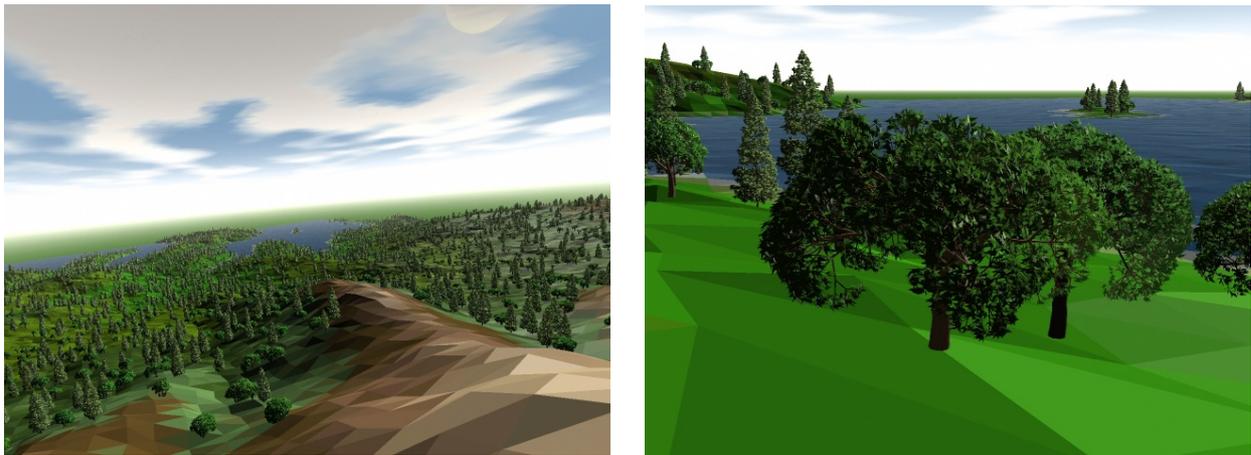


Abb. 19: Landschaftsbilder erzeugt mit VistaPro. Links großräumige Ansicht, rechts Einzelbäume

VistaPro ist sehr günstig zu erwerben, hat aber im Testfeld die stärksten Einschränkungen in Bezug auf die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit. Die einzige Datenbasis, die beeinflusst werden kann, ist das digitale Geländemodell. Hier ist es möglich auf die GIS-Datenbasis zurückzugreifen.¹ Alle anderen Daten lassen sich nicht extern generieren. So ist auch kaum ein Einfluss auf die Lokalisierung der Vegetation ausübbar. Die einzige Einstellung betrifft die zulässige Höhenzone, in der Vegetation vorkommen darf. In dieser wird die Vegetation über einstellbare Dichtefunktionen automatisch verteilt. Erweitert werden kann die Vegetation nur noch über das manuelle („händische“) Setzen jedes Einzelbaums. Eine Definition über den Import aus Geodaten sucht man vergebens. Auch greift VistaPro auf eine interne, nicht erweiterbare Baumartenbibliothek zurück. Diese besteht aus gerade vier Baumarten, von denen zwei in Deutschland forstlich nicht-relevant sind - Kiefer, Eiche, Kaktus und Palme. Als weitere „gestalterische“ 3D-Objekte lassen sich nur noch Gebäude generieren. Diese müssen manuell in der Szene erzeugt werden. Auch hier sind nur vier Typen von Gebäuden möglich.

◦ *Enviro*

Enviro, Teilprogramm des „Virtual Terrain Projects“ (VTP), ist ein frei verfügbares Programm² zur interaktiven 3D-Landschaftsvisualisierung, mit dem es möglich ist, in Echtzeit (*realtime*) durch die erzeugte 3D-Landschaftsszene zu navigieren.

In Enviro sind zwei verschiedene Ansichten implementiert. Dabei handelt es sich zum einen um eine Weltansicht, in der die Erde als texturierte Kugel dargestellt wird, und zum anderen um die eigentliche 3D-Landschaftsansicht, in der die verschiedenen zuvor erstellten 3D-Projekte angezeigt werden. Ein Wechsel zwischen diesen beiden Ansichten ist jederzeit möglich. Die Weltansicht (Abbildung 20 links) dient zur Übersicht über die geografische (Welt-)Lage einzelner Landschaftsprojekte. Deren Lage wird in der Weltansicht farblich markiert. In der Weltansicht kann gezoomt werden (Abbildung 20 rechts), die Erde rotiert und Landschaftsprojekte durch „Anklicken“ ausgewählt und angezeigt werden.

¹ Das DGM muss mit einem Konvertierungsprogramm, wie AccuTrans 3D (vgl. Kapitel 4.3.5) in das VistaPro Geländeformat (*.dem) konvertiert werden.

² VTP ist *open source*. Nähere Informationen finden sich bei DISCOE 2003.

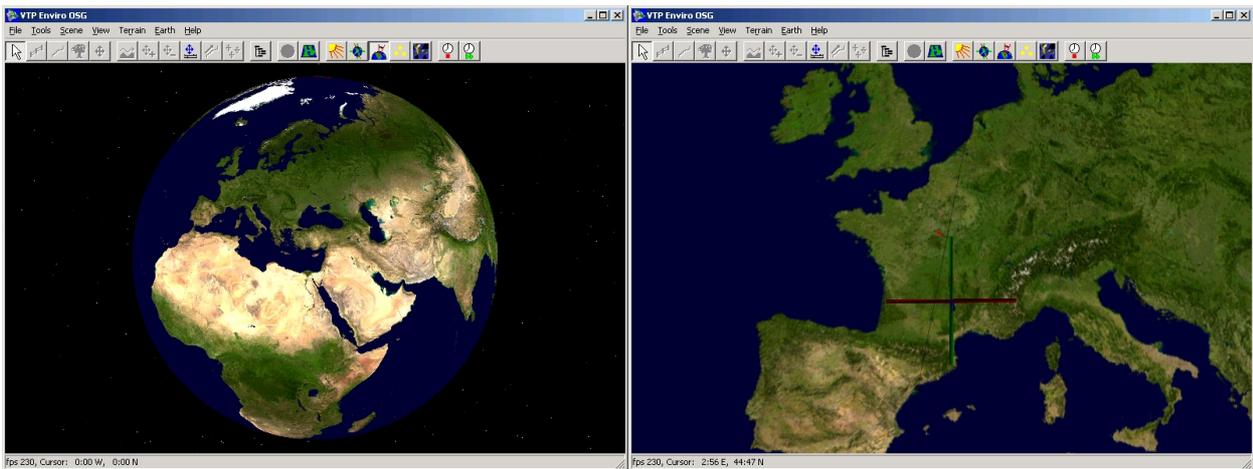


Abb. 20: „Weltansicht“ in Enviro; links Totalansicht, rechts gezoomt

Die 3D-Landschaftsansicht (Abbildung 21) lässt sich auch direkt beim Start von Enviro auswählen. In dieser eigentlichen (detaillierten) Landschaftsansicht können alle verfügbaren Landschaftselemente, wie Geländemodell, Geländetextur, Straßen, Gebäude, Vegetation und Fahrzeuge, angezeigt werden (Abbildung 21 rechts). Diese lassen sich mit den weiteren Modulen des VTP direkt aus der GIS-Datenbasis importieren und für die Darstellung aufbereiten (Texturzuordnung, Gebäude mit unterschiedlichen Dachformen etc.). Zur großräumigen einzelbaumbasierten Vegetationsdarstellung wird dabei standardmäßig die *billboard*-Technik verwendet. Da das Programm aber auch die Einbindung von 3D-Modellen - auch mit Fototextur - unterstützt, können alternativ hochwertige 3D-Bäume integriert werden. Deren Lokalisierung kann dabei aus GIS-(Punkte)-Daten abgeleitet werden.

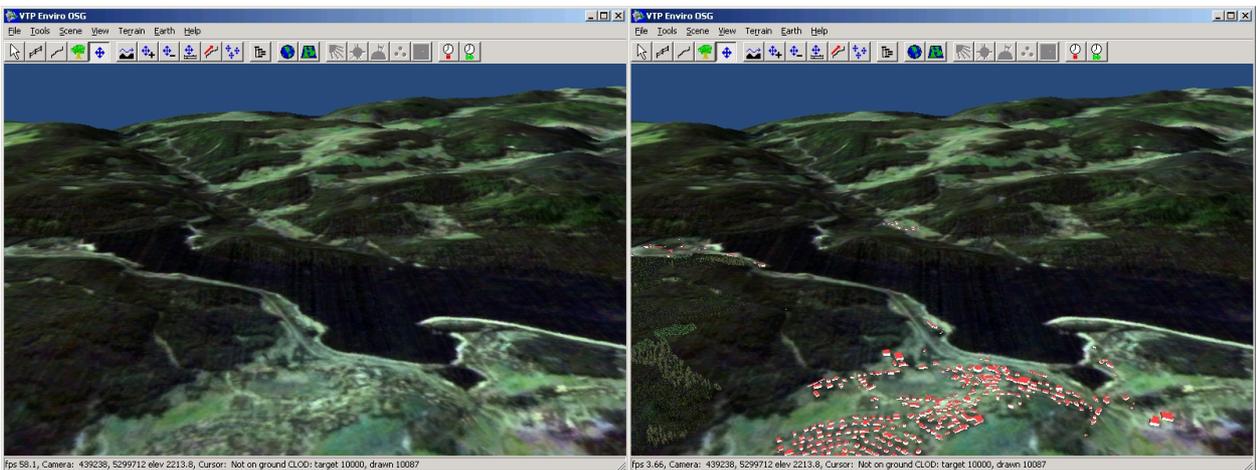


Abb. 21: 3D-Landschaftsansicht in Enviro; links ohne, rechts mit 3D-Landschaftselementen

Die verschiedenen Elementgruppen lassen sich in der 3D-Ansicht an- bzw. ausschalten. Auch ist es für ausgewählte Elementgruppen möglich, diese in der 3D-Ansicht zu manipulieren. Zäune, Einzelbäume, aber auch Strommasten können in der 3D-Ansicht hinzugefügt oder gelöscht und die Änderungen gespeichert werden.

Die Navigation in Enviro kann in zwei Perspektiven vorgenommen werden - neben der Spaziergängeransicht ist der freie Flug über das Gelände möglich.

Durch die freie Verfügbarkeit des Programmcodes als *open source* und durch das offen gelegte Dateiformat lässt sich Enviro „beliebig“ anpassen, erweitern und auch extern ansteuern.

◦ *Blender*

Blender wurde als eines der aussichtsreichsten Systeme für die Verwendung in der vorliegenden Studie eingeschätzt. Der Einsatz eines Programmpaketes, das sich sowohl zum Erzeugen interaktiver Szenarien (in Spieleform) als auch zum Generieren von Landschaftsbildern und Animationen (in Filmform) eignet, schien hervorragend für die gestellte Zielsetzung geeignet zu sein. Dass Blender kostenlos als Freeware bezogen werden konnte, machte das Programm auch noch aus praktisch-wirtschaftlichen Gründen sehr attraktiv.

Blender bietet durch den Spieleumgebungscharakter (Abbildung 22) einen hohen Interaktionsgrad und sehr gute Algorithmen zur Reduzierung des Speicherbedarfs durch Sichtweitenbeschränkung und Multiresolutionsverfahren¹ („*level of detail*“). So können auch sehr große Landschaftsausschnitte mit einer großen Anzahl an Einzelobjekten erzeugt werden. Die Vegetation lässt sich in Blender mit *X-billboards* sehr gut abbilden. Verknüpfungen zu externen Programmen können über die implementierte Standardprogrammiersprache Python automatisiert werden.

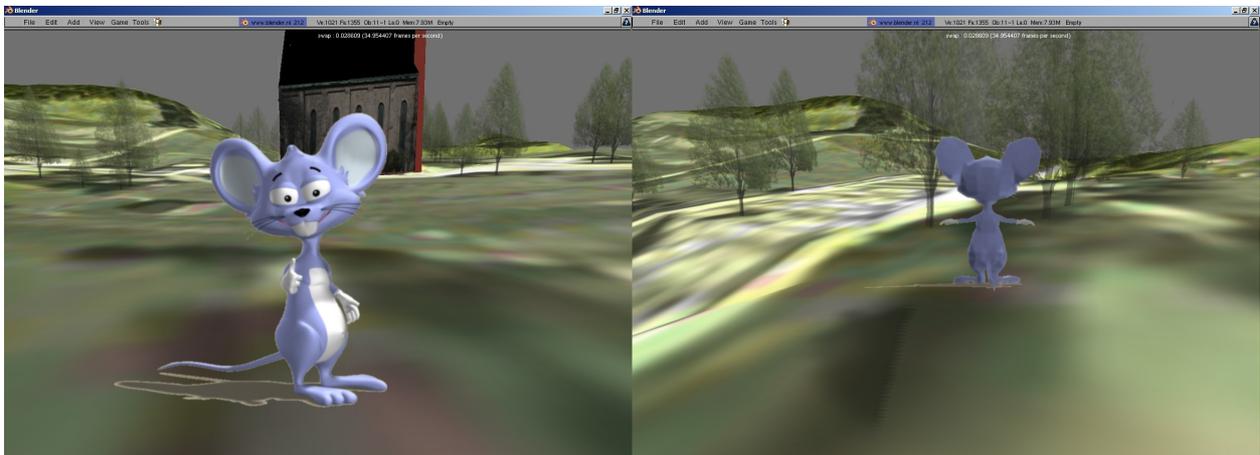


Abb. 22: Spielemodus von Blender

Neben der Einordnung als Spieleumgebung muss Blender auch der Gruppe der „fotorealistischen Landschafts-renderer“ zugeordnet werden. Mit den integrierten Funktionen lassen sich sehr komplexe, realistisch wirkende Animationen erstellen (vgl. Abbildung 23).

Hauptnachteil von Blender ist die fehlende Unterstützung von Standard-GIS-Formaten. So war es in der Erprobungsphase notwendig, die Szenen aus dem GIS ins VRML-Format², Version 2, zu exportieren und die so erzeugte Datei dann mit einem weiteren Programm (AccuTrans 3D, s. Kapitel 4.3.5) in VRML 1 zu konvertieren. Dieses Format kann in Blender eingelesen werden. Sämtliche Texturen gehen aber verloren und es muss eine erneute (aufwändige) Zuordnung der Texturen erfolgen. Ein weiteres Problem hierbei ist, dass mit VRML keine Attribute gespeichert werden. Eine Klassifizierung und Zuordnung von Texturen, z. B. zu den Baum-*billboards*, lässt sich so nicht ohne weiteres in Blender vornehmen. Diese muss im GIS vorbereitet werden, indem dort die gewünschten Baumklassen gebildet werden und die einzelnen Klassen in jeweils separate Dateien, mit repräsentativen Namen, gespeichert werden. Diese Dateien können dann nacheinander in Blender eingeladen werden und durch den zugewiesenen Dateinamen kann die gewünschte Baumtextur zugeordnet werden.

¹ vgl. SEIFERT 1998, S. 66ff.

² Die „Virtual Reality Macro Language“ (VRML) ist eines der bedeutendsten Formate zum Erstellen von 3D-Objekten (3D-Welten) für Internet-Anwendungen.

Durch die Notwendigkeit, zur Szenenerstellung direkt in Blender zu arbeiten, ergibt sich das weitere Problem, dass Blender in seiner Bedienung recht gewöhnungsbedürftig ist. Durch die Fülle an Funktionen für die verschiedenen Anwendungszwecke (Film, Spiel) ist die Übersichtlichkeit zusätzlich getrübt. Von daher ist die Verwendung von Blender mit einer sehr großen Einarbeitungszeit verbunden.

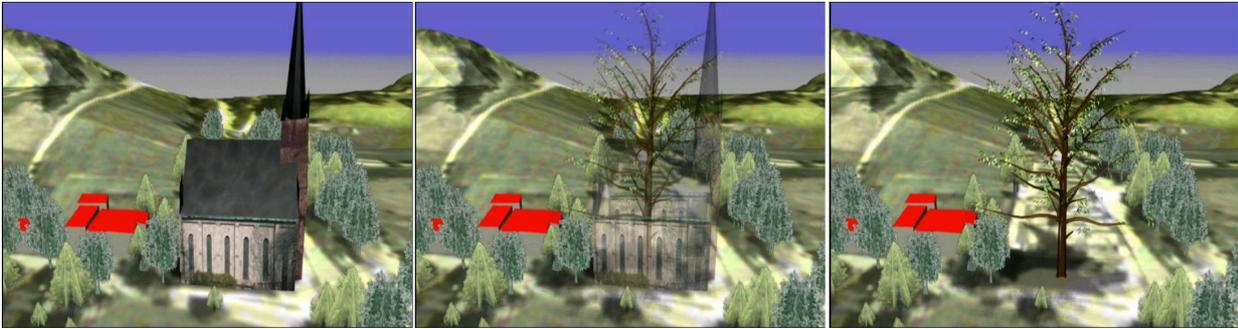


Abb. 23: Ausschnitt einer mit Blender erstellten Animation

Mittlerweile ist das Lizenzmodell von Blender von Freeware nach *open source* geändert worden und es wäre daher lohnend, einen weiteren Blick auf dieses Programm zu werfen. Durch die Offenlegung des Quellcodes müsste es nun möglich sein, eine GIS-Szene direkt in eine Blender-Szene umzuwandeln, bzw. Blender um eine Schnittstelle zu den Geodatenformaten (GRID, TTN, *shapefile*) zu erweitern.

◦ *Microstation J*

Microstation bietet als CAD sehr gute Möglichkeiten für die Erstellung von großräumigen Landschaftsmodellen. Hier finden sich sowohl Möglichkeiten der Einbindung von „realen“ Vegetationsmodellen als auch die Verwendung „echter“ selbstorientierender *billboards*¹. Microstation läuft auch bei sehr großen Modellen und großer Anzahl an Einzelobjekten sehr stabil. Dies hängt sicherlich mit der optimierten Speicherverwaltung zusammen - Daten werden grundsätzlich direkt auf die Festplatte geschrieben. Die Unterstützung für die vom GIS bereitgestellten Datenformate ist sehr gut. Sie können direkt eingelesen und verarbeitet werden. Bei entsprechender Hardwareausstattung können die erzeugten Szenen in Echtzeit am Bildschirm *gerendert* werden. Die Darstellungsqualität ist dabei sehr gut. Hervorragend ist auch die Unterstützung von 3D-Modellen. Dies ist die eigentliche Stärke von Microstation als CAD-Programm. Auch bietet Microstation, als einziges der getesteten Programme, eine ähnlich leistungsstarke Themenverwaltung wie das GIS. Hierdurch ist es auch in Microstation möglich, Waldwachstumsentwicklungen komfortabel aufzuzeigen. Zu diesem Zweck können die verschiedenen Waldentwicklungszustände auf bis zu 64 Ebenen verteilt werden. Diese Ebenen können dann bei der Präsentation unabhängig voneinander bzw. nacheinander ein- und ausgeblendet werden.

Microstation verfügt über einen modularen Aufbau. Zusätzlich zum Basisprogramm können so spezifische Erweiterungen angeschafft werden. Um das Programm mit GIS-(Analyse)-Funktionalität auszustatten, wird das Modul GeoGraphics angeboten. Für die reinen Visualisierungsansprüche, die sich in der vorliegenden Arbeit ergeben, reicht das Basisprogramm aus. Für die Verbreitung von fertigen Szenen bietet das Programm auch die Möglichkeit Animationen in Filmform zu erstellen.

In der vorliegenden Arbeit wurde trotz all der genannten Vorzüge nicht auf Microstation als Referenz-Visualisierungsumgebung zurückgegriffen. Hierfür müssen vor allen Dingen zwei Gründe angeführt werden. Der erste Grund ist in den sehr hohen Lizenzkosten zu sehen. Der zweite Grund betrifft die Komplexität des Programms, das es als reine Visualisierungsumgebung unbrauchbar macht. Die Auf-

¹ Zu selbstorientierenden *billboards* vgl. Kapitel 3.3.5.

bereitung, speziell die Zuordnung von Materialien und Texturen muss direkt in Microstation durchgeführt werden. Eine „externe“ Automatisierung dieser Arbeitsschritte ist nicht ohne weiteres möglich. Durch die Komplexität des Programms ist dies, unter anderem durch die hohe Einarbeitungszeit, mit einem nicht unerheblichen Aufwand verbunden.

Einen weiteren Überblick über den Einsatz von Microstation zur 3D-Landschaftsvisualisierung geben die Artikel zum „RWE-Referenzprojekt“, das an der Abteilung Fernerkundung und LIS der Universität Freiburg durchgeführt wurde.¹

Für den forstlichen Bereich wurden in verschiedenen Projekten bereits einige 3D-Visualisierungsprogramme getestet. Hierzu wurden in Kapitel 3.1 Ausführungen gemacht.

¹ Zum RWE-Referenzprojekt vgl. KOCH ET AL. 2001; HARM ET AL. 1998.

4. Material und Methodenauswahl

4.1 Referenzgebiet

Als Referenzgebiet der Arbeit dient das im Südschwarzwald gelegene Forstamt Schluchsee.¹ Die Wahl des Forstamtes Schluchsee ist vor allem auf zwei Gründe zurückzuführen: Zum einen liegt hier eine ausreichende Datenbasis vor. Zum anderen erscheint die Gemeinde Schluchsee durch ihre (touristische) Bedeutung für die Öffentlichkeit mit Blick auf die Zielsetzung der Arbeit ein interessantes Gebiet zu sein.

Die Gemeinde Schluchsee befindet sich südöstlich vom Feldberg im Südschwarzwald und umfasst die früheren Gemeinden Schluchsee (mit Aha, Aeule, Dresselbach, Krummen und Unterfischbach), Blasiwald, Faulenfürst (mit Seebrugg), Fischbach (mit Schwende und Hinterhäuser), und Schönenbach (mit Schwarzhalden).²

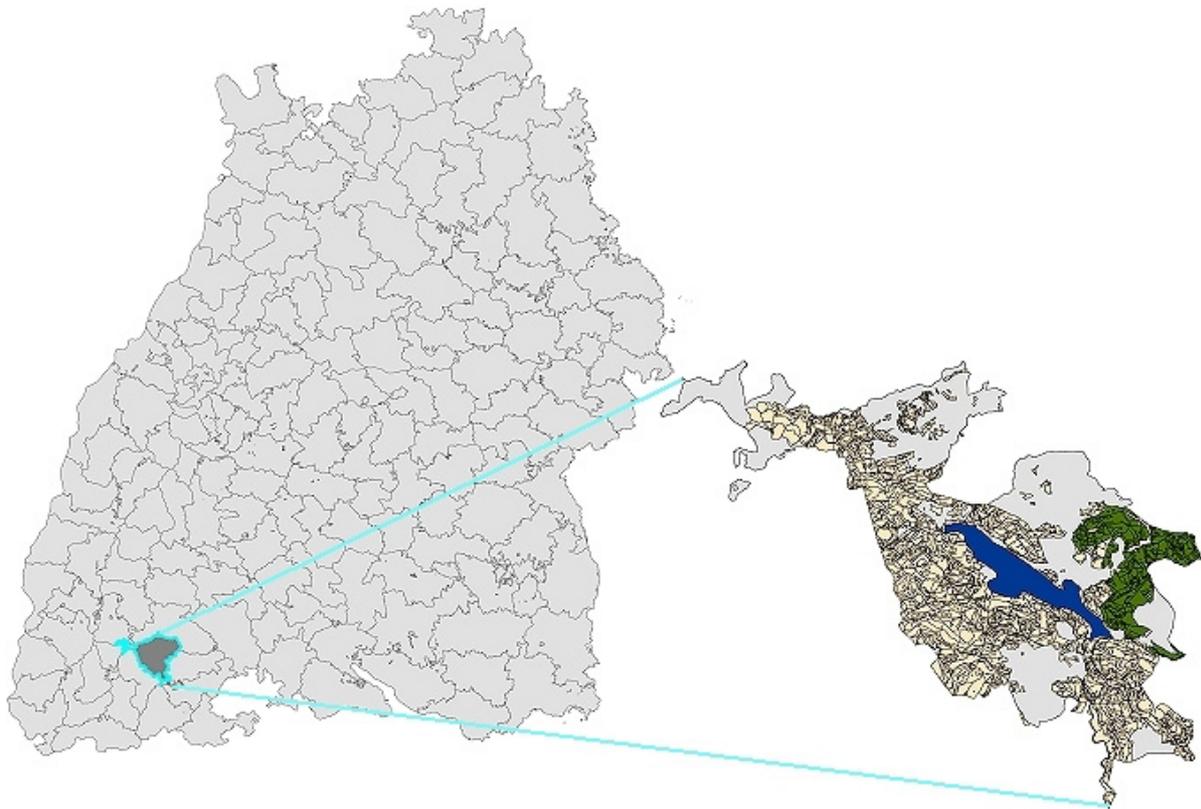


Abb. 24: Einordnung des Untersuchungsgebietes „Forstamt Schluchsee“ im Landesüberblick (BaWü)

Als zentrales Gebiet für die Erprobung der technischen Ansätze in der vorliegenden Arbeit, eignet sich der **Distrikt 2** des Forstamtes Schluchsee besonders. Dieser Distrikt liegt im Osten des Forstamtes östlich vom Schluchsee und hat eine Größe von rund 850 ha. Die Wahl fiel auf diesen Distrikt,

¹ Die vorliegende Arbeit ist eng mit einem Teil eines Verbundprojektes verknüpft, dass parallel am Institut für Forstökonomie durchgeführt wurde. Entsprechend bezieht sich auch die vorliegende Arbeit auf das im Verbundprojekt zu Grunde gelegte Untersuchungsgebiet und die dort vorliegende Datengrundlage. Zu dem mit der vorliegenden Arbeit verknüpften Projekt vgl. „Rahmenbedingungen“ in Kapitel 1.

² STEINERT 1983, S. 10

da er neben einem hohen Bewaldungsprozentsatz (90 % Fichte, stellenweise mit Buche (6 %), Tanne (3 %) und sonstigen Laubbäumen (1 %) durchmischt) auch einen markanten Landschaftspunkt aufweist, der ein touristisch wichtiger Anziehungspunkt ist. Die Einbindung eines markanten Landschaftspunktes in die durchzuführende 3D-Visualisierung deckt sich mit den (Denk-)Ansätzen, die mit vorliegender Arbeit verfolgt werden sollen.¹

4.2 Datengrundlage

Für das im vorangehenden Kapitel genannte Untersuchungsgebiet standen eine Reihe typischer forstlicher Daten zur Verfügung, die nachfolgend aufgeführt werden.

4.2.1 Rasterdaten und ihre Aufbereitung

| Datensatz | Jahr | Zweck |
|---|------------|--|
| Topografische Karte „8115 Lenzkirch“ im Maßstab 1:25.000 (TK25) | 1984 | Grundlage zum Georeferenzieren und Entzerren eingescannter Medien |
| Digitales Geländemodell (DGM) | | Träger der Höheninformation; Quelle für Ableitungsprodukte |
| Schwarz-Weiß-Luftbilder | 1985 | <i>imagefusion</i> |
| Landsat-5-TM, multispektral | 27.06.1986 | <i>imagefusion</i> |
| IRS-1c, panchromatisch | 14.10.1996 | <i>imagefusion</i> |
| Digitalfotografien aus dem Untersuchungsgebiet | 05.06.2003 | Generierung eines 3D-Modells; vergleichende Landschaftsaufnahmen; Baumtexturbilder |

Tabelle 4: Verwendete Rasterdaten

Die **Topografischen Karten** wurden als Grundlage zur Georeferenzierung und Entzerrung der eingescannten Luftbilder² genutzt. Diese Bearbeitungsschritte wurden mit der Software ER Mapper 6.3 durchgeführt.

◦ *Ableitungsprodukte des digitalen Geländemodells im Rasterformat (DGM)*

Das digitale Geländemodell stand im Rasterformat GRID³ mit einer Auflösung von 50x50 Metern zur Verfügung. GRID ist das GIS-interne Rasterdatenformat auf Zellenbasis für raumbezogene Daten der ESRI-Produkte.

Ein GRID ist ein Objekt, welches Rasterdaten in einem lokalen Format beinhaltet, also ein mehr oder weniger grob- bzw. feinmaschiges Netzmuster, in dem jeder Rasterpunkt (Zelle) einen bestimmten Datenwert repräsentiert. Das GRID ist als Rasterformat in Reihen und Spalten organisiert, die auf dem

¹ Der Vorteil eines Einbezugs bekannter, markanter Landschaftsmerkmale in eine Simulation wird in Kapitel 1. und 5.2.3 dargelegt.

² Die Schwarz-Weiß-Luftbilder wurden freundlicherweise durch das Forstamt Schluchsee zur Verfügung gestellt.

³ GRID ist der englische Begriff für Netz oder Gitter.

kartesischen Koordinatensystem basieren. Die räumliche Auflösung eines GRID wird durch die Größe jeder einzelnen Zelle definiert. Je detaillierter die 3D-Darstellung sein soll, um so höher muss die räumliche Auflösung (eine höhere Anzahl kleiner dimensionierter Zellen) gewählt werden. Je höher die Auflösung des GRID, je eng- bzw. feinmaschiger es ist, desto höher ist allerdings auch der Speicherbedarf. Durch die Organisation in einem eigenen Koordinatensystem eignen sich GRIDs vor allem für räumliche Analysen. Geometrisch topologische Beziehungen, Distanzen (zu anderen Geoobjekten) und Flächengrößen lassen sich hier sehr leicht berechnen. Feine Strukturen lassen sich allerdings nur mit entsprechend hoch aufgelösten Satellitendaten darstellen. Bei Vorliegen eines grobmaschigen Rasters (mit weniger Speicherbedarf) können diese verloren gehen.

GRIDs lassen sich so am Besten für Visualisierung im kleinen bis mittleren Maßstabsbereich, bei denen es nicht so sehr auf den Detaillierungsgrad ankommt, einsetzen. Für größere und v. a. detailliertere Betrachtungen greift man eher auf Geländemodelle im TIN-Format zurück.¹

In der vorliegenden Arbeit wurde das GRID nur zur groben Übersicht in der 2D-Ansicht genutzt, sowie um weitere digitale Daten abzuleiten. Hierzu zählt

- ein interpoliertes DGM mit einer Auflösung von 2 x 2 m (für den Export in Enviro-Format; s. u.)
- ein Beleuchtungsmodell (*hillshade*)
- ein Hangneigungsmodell (*slope*)
- ein Expositionsmodell (*aspect*)
- ein Triangulationsnetz (TIN) und
- ein Geländemodell im Format des „Virtual Terrain Projects“².

Die Ableitungsprodukte sollen verschiedenen Verwendungszwecken zugeführt werden. Das interpolierte DGM und das Beleuchtungsmodell werden verschnitten, um auch in einer 2D-Ansicht des Untersuchungsgebietes einen „räumlichen“ / plastischen Eindruck des Gebietes zu ermöglichen (vgl. Abbildung 25).³

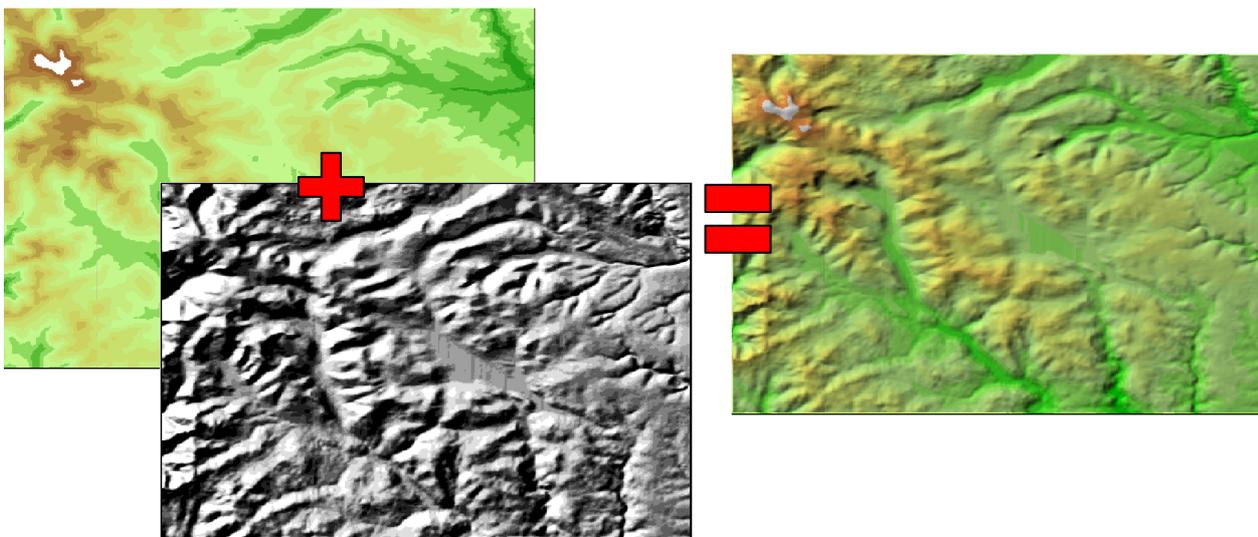


Abb. 25: Erzeugen eines plastisch wirkenden DGM

Links sieht man das DGM das durch das abgeleitete Beleuchtungsmodell überlappt wird. Diese beiden lassen sich zu dem rechts dargestellten Verschnidungsprodukt verbinden.

¹ Zum TIN-Format vgl. Kapitel 4.2.2.

² Näheres zum VTP-Dateiformat findet sich in Kapitel 5.3.1.

³ Zur Aufbereitung von 2D-Ansichten zum Zweck der räumlichen Orientierung vgl. FISCHER 1998.

„Interpoliertes DGM“, „*aspect*“ und „*slope*“ (vgl. Abbildung 26) werden für die Bestimmung von Standortparametern für die SILVA-Prognose benötigt. Sie können zusätzlich für weitere Analysen eingesetzt werden, um so z. B. besonders risikoreiche Bereiche des Untersuchungsgebietes über GIS-Verschneidungsoptionen aufzuzeigen.

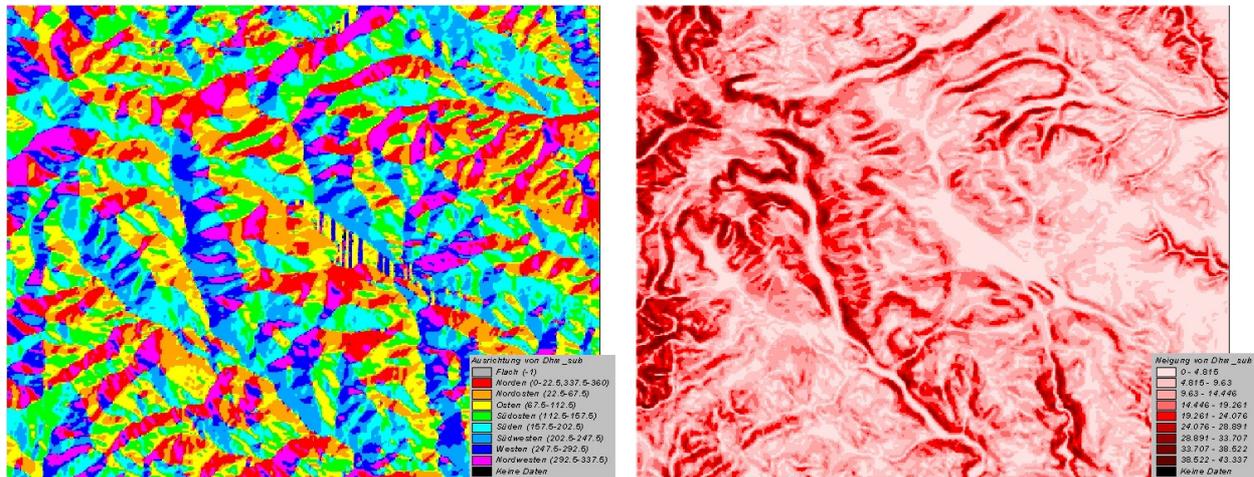


Abb. 26: „*aspect*“ und „*slope*“

Viel wichtiger für die Zielsetzung der Arbeit sind die Ableitungsprodukte des GRIDs, die als Basis für die 3D-Visualisierung in der vorliegenden Arbeit genutzt werden sollen. Dazu gehört ein TIN für die GIS-interne Visualisierung und der Export in das Enviro-Geländemodell-Format (s. u.: „*Aufbereitung von GRID und Fusionsbild für den Export in das Enviro-Geländemodell-Format*“).

◦ *Fusionsbild (über imagefusion)*

Zur Aufwertung der 3D-Visualisierung soll das digitale Geländemodell mit einer möglichst realistischen Geländetextur überlagert werden. In dem Projekt wird zur Erstellung einer Fototextur auf Fernerkundungsdaten zurückgegriffen. Dabei sollen Farbbilder zum Einsatz kommen, da diese zu einem vergleichsweise „realistischen“ visuellen Eindruck der Landschaft verhelfen. Aus der Literatur¹ ergab sich, dass sich zu diesem Zweck Fusionsbilder anbieten, die als gute und kostengünstige Lösung anzusehen sind. Fusionsbilder können aus einer „Verschneidung“ von gering auflösenden multispektralen Satellitendaten (hier Landsat-5-TM mit einer Bodenauflösung von 30 x 30 m) und geometrisch hochauflösenden panchromatischen Bildern (hier IRS-1c mit 5,8 x 5,8 m und Schwarz-Weiß-Luftbilder mit ca. 0,25 x 0,25 m Bodenauflösung) erzeugt werden. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass auf bei Vermessungsämtern standardmäßig vorhandene Daten zurückgegriffen werden kann und eine teure separate Befliegung zur Erstellung von Farb-Luftbildern unnötig wird.

Für die vorliegende Arbeit wurde auf Bildmaterial zurückgegriffen, das teilweise an der Abteilung Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme vorlag (Satellitenbilder²) und teilweise durch den Staatsforst zur Verfügung gestellt werden konnte (Luftbilder). Wie aus Abbildung 27 ersichtlich, werden durch die Fusion die „natürlichen“ Farbinformationen aus den gering auflösenden Satelliten-

¹ Die Verwendung von *imagefusion* für ähnliche Anwendungszwecke wie in der vorliegenden Arbeit finden sich bei FRECH 2001 und FRITZ 1999.

² Eine genauere Beschreibung der verwendeten Satellitendaten findet sich bei DEES 1996, S. 93ff.

daten (Landsat-5-TM) mit den hoch aufgelösten Texturinformationen aus dem Schwarz-Weiß-Bild (hier Luftbild) kombiniert, was zu einem Farbbild mit hoher geometrischer Auflösung führt.

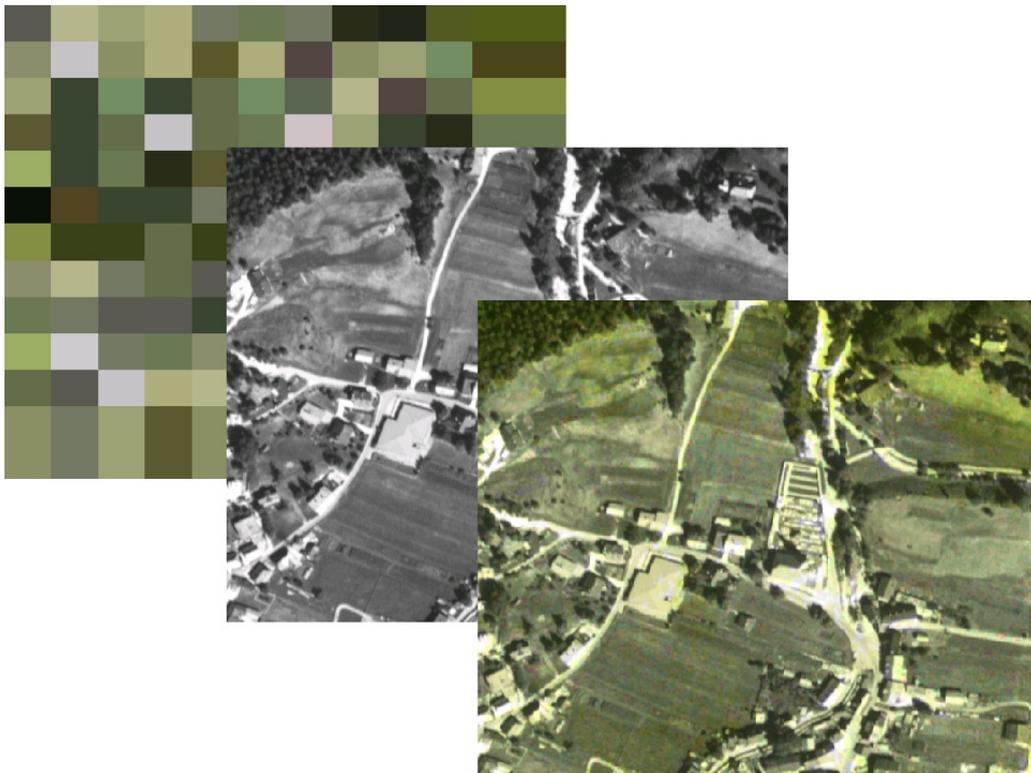


Abb. 27: Prinzip der *imagefusion*

Zur *imagefusion* von Fernerkundungsdaten sind seit Anfang der 90er Jahre eine ganze Reihe von Verfahren entwickelt worden, die in verschiedenster Hinsicht optimiert worden sind.¹ Das Fusionsbild, das für die später noch zu beschreibende 3D-Visualisierung verwendet werden soll, wurde mit der eher „einfachen“ IHS-Transformation (Intensity, Hue, Saturation) erstellt. Dies ist ein gängiges Verfahren zur pixelbasierten Fusion von Fernerkundungsdaten und liefert bei geringem Aufwand zufrieden stellende Ergebnisse.

Im vorliegenden Fall wird die **Landsat-5-TM**-Szene als Träger der Farbinformation genutzt. Von dieser werden die ersten drei Kanäle (von sieben) verwendet, die in ihrer spektralen Empfindlichkeit den folgenden Bereichen der menschlichen Wahrnehmung entsprechen: Kanal 3 dem roten (R), Kanal 2 dem grünen (G) und Kanal 1 dem blauen (B) sichtbaren Wellenlängenbereich. Eine Kombination dieser drei Kanäle in der beschriebenen Form der RGB-Farbdarstellung ergibt ein Farbkomposit, welches einer Farb-Fotografie entspricht. In einer Bildbearbeitungssoftware wie ER Mapper² lässt sich die Kanalkombination mittels vordefinierter Algorithmen in das IHS-System transformieren. Der entstandene Intensitätswert (I) wird nun durch einen der panchromatischen Fernerkundungsdatensätze ersetzt.³ Nach dem Ersetzen und der Rücktransformation in das RGB-System ist die Fusion, bis auf die Anpassungen durch eine Histogrammstreckung, bereits vollzogen. Der panchromatische Fernerkundungsdatensatz „schärft“ das neu entstandene Bild durch Einbringen seiner hohen geometrischen Auflösung. In der vorliegenden Arbeit wurde für einen Großteil der

¹ Eine gute Übersicht über die verschiedenen Fusionsmethoden bietet POHL 1996; ein neueres Verfahren ist die *adaptive-imagefusion*-Methode (AIF) die beispielsweise bei STEINOCHE 1997 und FRECH 2001, S. 45ff. besprochen wird.

² Die IHS-Transformation wurde für vorliegende Arbeit mit ER Mapper 6.3 durchgeführt.

³ vgl. ALBERTZ 1991, S. 104ff.

Szene der panchromatische Kanal des **IRS-1c** Datensatzes (mit einer Bodenauflösung von 5,8 Metern) zur Erhöhung der geometrischen Auflösung verwendet. Im Zentralbereich des Untersuchungsgebietes, wurde er durch die höher auflösenden Luftbilder (0,25 Meter Bodenauflösung) ersetzt. Das Ergebnisbild wurde in einer Auflösung von einem Meter gespeichert. Dies stellt einen Kompromiss zwischen geometrischer Auflösung und Speicherbedarf dar.

◦ **Aufbereitung von GRID und Fusionsbild für den Export in das Enviro-Geländemodell-Format**

Enviro¹ unterstützt bei der 3D-Darstellung geländebezogene „level of detail“-Algorithmen (LOD)². Um diese Nutzen zu können, müssen Geländemodell und Geländetextur in ein konformes Format gebracht werden. Das Gelände und die Textur sollten möglichst quadratisch vorliegen. Das Gelände sollte dabei eine Ausdehnung von $2^n + 1$ Rasterzellen (Pixeln)³ und die Textur eine Ausdehnung von 2^n Pixeln⁴ aufweisen. Da der LOD über die Grafikkbibliothek OpenGL implementiert wird, hängt die maximal darstellbare Rasterbildgröße, vor allem die der zu verwendenden Geländetextur, von den Fähigkeiten der eingesetzten (OpenGL-fähigen) Grafikkarte ab.⁵

In der vorliegenden Arbeit werden die notwendigen Arbeitsschritte im GIS unter Zuhilfenahme der freien ArcGIS-Erweiterung „Clip Raster with a Rectangle“⁶ durchgeführt. Mit dieser werden das GRID für den Export in das Enviro-Geländemodell-Format vorbereitet und das Fusionsbild (s. o.) in die richtige Form gebracht.⁷

◦ **Digitalfotografien**

Im Untersuchungsgebiet wurden mit einer Digitalkamera sowohl **Fotografien** vom Riesenbühlturn als auch von der Landschaft aufgenommen. Diese dienen zum einen der Generierung eines 3D-Modells des Turms (zur Erstellung des 3D-Modells des Riesenbühlturns mit der Software Photo-Modeler Lite vgl. Kapitel 4.3.5) und zum anderen als Referenz für die zu erzeugenden, virtuellen 3D-Ansichten.

Aufgrund des Fotomaterials wird zusätzlich ein Baumtexturkatalog erstellt, der im Zusammenhang mit der *billboard*-Technik⁸ Verwendung finden soll.

4.2.2 Vektordaten und ihr Verwendungszweck

Ein Standardaustauschformat für Geodaten ist das *shape*-Dateiformat (im Folgenden als *shapefile* bezeichnet). Dieses von ESRI eingeführte Format für raumbezogene Vektordaten wird von der gesamten ESRI-Produktpalette, so auch ArcView und ArcGIS, unterstützt. Sämtliche nachfolgend aufgeführten Vektordaten (Tabelle 5), mit Ausnahme des Triangulations-Netzwerkes (TIN), liegen in diesem Format vor.

¹ Zur Beschreibung von Enviro vgl. Kapitel 3.4 und 5.3.

² Zum geländebezogenen LOD vgl. Kapitel 4.5.4.

³ typischerweise 1025x1025, 2049x2049, 4097x4097 oder 8193x8193

⁴ typischerweise 1024x1024, 2048x2048, 4096x4096 oder 8192x8192

⁵ Die maximale Texturgröße ist normalerweise aus der technischen Referenz der Grafikkarte ersichtlich.

⁶ Angaben zu dieser kostenlosen Erweiterung samt Anwendungsbeispiel findet sich im Anhang A.14.

⁷ Zum Export und Einsatz in Enviro vgl. Kapitel 5.3.1.

⁸ Die *billboard*-Technik wird in Kapitel 3.3.5 vorgestellt.

| Name | Herkunft | Zweck |
|--------------------------------------|--|---|
| Forstamt-Grenzen BaWü | FOGIS (Stand 20.01.2000) | Forstamtsgrenzen |
| Bestandesgeometrie vom FA Schluchsee | FOGIS 1995 | Ausgangsgeometrie für Bestandesstruktur und Wachstumsprognose |
| Wegenetz vom Gebiet Schluchsee | FOGIS (Stand 01.04.2003) | Visualisierung der Wegeverteilung |
| Standortskarte | FVA Freiburg (Stand 20.01.2000) | Standortsdaten für Waldwachstumsprognose |
| Gebäudegrundrissdaten | Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) (Stand April 2003) | Ausgangspunkt für 3D-Gebäudemodelle |
| TIN (Triangulated Irregular Network) | Interpoliert aus Raster-Geländemodell | Geländedarstellung |

Tabelle 5: Übersicht der verwendeten Vektordaten im *shapefile*-Format

Viele der Vektordaten sind für das BMBF-Forschungsprojekt Südschwarzwald zur Verfügung gestellt worden. So entstammen die Forstamtsgrenzen, die Bestandesgeometrien und das digitalisierte Wegenetz von der Forstdirektion aus dem FOGIS¹.

Die digitale Standortskarte ist durch die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) erstellt und für das Projekt zur Verfügung gestellt worden.

Die Gebäudedaten aus der „Automatisierte Liegenschaftskarte“ (ALK) wurden freundlicherweise durch das Landesvermessungsamt für die Projektdurchführung zur Verfügung gestellt. Der Geodatenatz deckt das gesamte erweiterte Untersuchungsgebiet - die Gemeinde Schluchsee - ab. Es werden also sowohl die verschiedenen Ortschaften erfasst, als auch die einzelnen in dem Untersuchungsgebiet vorkommenden Höfe.

Das TIN wurde aus dem zur Verfügung stehenden digitalen Geländemodell² (GRID) im Rasterformat interpoliert.

Die Vektordaten sollen im Weiteren für zwei Anwendungszwecke genutzt werden: Zum einen dienen viele der in den Vektordaten gespeicherten Informationen als Ausgangsdaten für die spätere Bestandessimulation mit SILVA³ (hierzu gehören die Bestandesgeometrien mit den angehängten Attributen, die digitale Standortskarte und das TIN). Zum anderen sollen sie als Basis für die 3D-Visualisierung (TIN) oder zur Ergänzung der Visualisierungen als markante, bekannte anthropogene Landschaftsmerkmale (Gebäudedaten) genutzt werden. Da es hierbei um die grundsätzliche Einsatzmöglichkeit geht, wurde die Genauigkeit der Daten nicht überprüft.

¹ FOGIS ist das „Forstliche GIS“ der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg; vgl. HÖHNE 1996.

² Ausführungen zum digitalen Geländemodell im Rasterformat finden sich in Kapitel 4.2.1.

³ Die Bestandessimulation wird in Kapitel 5.1 besprochen.

◦ *TIN als (Gelände-)Basis in der 3D-Visualisierung*

Wie bereits zuvor angeführt, soll das aus dem GRID interpolierte TIN als Basis für die 3D-Visualisierung im GIS genutzt werden. Den Vorzug vor dem originalen GRID erhält es auf Grund der besseren Eignung für den Einsatz in der 3D-Visualisierung.

TINs können angepasst, unregelmäßig verteilt, sowie aus vorgewählten Dateien erstellt werden. Außerdem wird auf Grund der Speicherart für eine hohe Geländeauflösung nur wenig Speicherplatz belegt. Dies sind die wesentlichen Vorteile gegenüber einem GRID - sehr komplizierte, detaillierte oder auch unregelmäßige Geländeoberflächen lassen sich in einer kleinen Datei speichern. Beispielsweise können Bruchlinien dargestellt werden, die im GRID verschwinden würden. Außerdem ist das nachträgliche Einrechnen von weiteren Geländegeometrie-Details wie z. B. Gebäudegrundrissen hier leichter möglich. Ein GRID müsste erst sehr hoch aufgelöst werden, um eine hohe räumliche Auflösung zu erhalten, bevor auch Gebäudegrundrisse mit eingerechnet werden könnten. Dies führte jedoch zu einem sehr hohen Speicherbedarf und einem höheren Ressourcenverbrauch bei der Darstellung in der 3D-Szene. Bei der Verwendung eines GRID tritt zusätzlich das Phänomen auf, dass die darauf „gesetzten“ 3D-Objekte, sowohl mit flächigem als auch mit annähernd punktförmigem Kontakt mit dem DGM, teilweise im Boden verschwinden oder darüber schweben. Der Grund dafür liegt in der Speicher- und Darstellungsform des GRIDs begründet. Eine Rasterzelle enthält genau einen Höhenwert. Bei der Darstellung in 3D würde bei einer „korrekten“ Darstellung dieser Speicherform das Gelände „stufig“ erscheinen. Statt dessen wird die Darstellung geglättet, die Pixel in Bezug auf ihre Nachbarzellen in der Darstellung geneigt. Einem Objekt, das auf einer der Rasterzellen zu stehen kommen soll, wird nun aber genau der Höhenwert der Rasterzelle zugeordnet. Dieser stimmt aber in der 3D-Ansicht möglicherweise nicht mehr mit dem „geglätteten“ Bereich der Rasterzelle überein. Das Objekt sinkt in das Gelände ein, oder schwebt darüber. Anders bei der Verwendung eines TIN. 3D-Objekte mit annähernd punktförmiger Kontaktfläche zum DGM werden korrekt auf dieses gesetzt und bei flächigem Kontakt kann dem Effekt des Schwebens über dem Gelände bzw. Einsinken in dieses, durch Manipulation am TIN entgegengewirkt werden.

Das TIN wurde aus einem relativ groben Geländemodell im Rasterformat (GRID), mit 50x50 Meter Bodenauflösung, abgeleitet. Jedem Rasterpunkt ist nur genau ein Höhenwert zugeordnet. Bei der Umwandlung des GRID in ein TIN wird das Gelände in Dreiecke unterteilt, die aneinander grenzen sich jedoch nicht überlappen. Die Geländeoberfläche wird, durch Angabe eines Höhentoleranzwertes, feiner aufgelöst als im GRID. Die Zwischenpunkte werden bei der Dreiecksbildung interpoliert und für jeden Knotenpunkt die Höhe (z-Wert) gespeichert.

Durch die Dreiecksstruktur des TINs können nun Probleme auftreten, und zwar dort, wo die Landschaft durch die Dreiecke schlecht beschrieben wird. Dies ist vor allem entlang von Geländekanten und Bruchlinien der Fall. Hier werden manchmal Dreiecke über diese Linien gebildet, die das Gelände nicht richtig wiedergeben. Dieser Effekt tritt auch dann auf, wenn man versucht, 3D-Modelle mit größerer Grundfläche (wie z. B. ein Gebäude) auf einen nicht ebenen Bereich des Geländes zu „setzen“. Diesen wird die Geländehöhe am Flächenmittelpunktes zugeordnet. Bei der 3D-Darstellung scheint das Gebäude auch hier, wie zuvor beim GRID beschrieben, teilweise im Gelände zu verschwinden, teilweise darüber zu schweben. Um diesen negativen visuellen Effekt auszugleichen, ist es bei einem TIN (im Gegensatz zum GRID) möglich, Strukturlinien in dieses einzubringen - wie im konkreten Fall die Gebäudegrundrissflächen.

4.2.3 Sachdaten und ihr Verwendungszweck

Zur Generierung von einzelbaumbezogenen Waldstrukturen¹ bedarf es einiger Sachinformationen. Die für die vorliegende Arbeit genutzten sind in Tabelle 6 aufgeführt.

| Datensatz | Jahr | Zweck |
|-----------------------|------|---|
| Forsteinrichtungswerk | 1995 | Informationsträger für die Waldstrukturgenerierung |
| Betriebsinventur (BI) | 1990 | Ableitung von baumartenbezogenen Mittelwerten für die Waldstrukturgenerierung |

Tabelle 6: Liste der tabellarischen Sachinformationen

Das Einrichtungswerk aus der Forsteinrichtung 1995 wurde in eine tabellarische, vom GIS verwertbare Form überführt (dBase-Tabellen). Die Sachinformationen aus dem Forsteinrichtungswerk werden durch Auswertungen der BI von 1995 ergänzt, die am Institut für Forstökonomie vorgenommen wurden. Für die stratifizierte BI-Daten² ist dabei eine Liste erstellt worden, in der, nach Baumart und Altersstufe getrennt, folgende Mittelwerte enthalten sind:

- Durchmesser des Grundflächenmittelstamms (dg)
- Höhe des Grundflächenmittelstamms (hg)
- Grundfläche je ha (m²/ha)
- Stammzahl je ha (N/ha)

4.3 Verwendete Software

Die nachfolgenden Übersichtstabellen (Tabelle 7 bis Tabelle 9) listen die wichtigsten verwendeten Programme (Software) auf.³

4.3.1 Geografische Informationssysteme

Bei der Auswahl des geeigneten GIS wurde auf die Produktpalette der Firma Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI) zurückgegriffen. Diese Produkte haben in Deutschland die größte Verbreitung in den Anwendungsbereichen, in denen es um die Verwaltung flächenbezogener Daten geht, und werden auch stark in der deutschen Forstwirtschaft - speziell auch in Baden-Württemberg - eingesetzt. Dieses Faktum spielt vor allem in Bezug auf eine eventuelle spätere Einführung in die Praxis des auf dem GIS aufsetzenden Visualisierungsmoduls eine große Rolle. Ist doch die Neueinführung eines zusätzlichen GIS eine finanzielle Belastung, die schon in vielen Bereichen dazu geführt hat, dass neue Systeme nicht in der Praxis eingeführt wurden. Ein Teilziel des der

¹ Die Generierung von Waldstrukturen wird in Kapitel 5.1 beschrieben.

² Zur Stratifizierung werden noch nähere Ausführungen im späteren Verlauf des Methodenkapitels gemacht.

³ Die eingesetzte Software wurde parallel auf den in Kapitel A.1 genannten Computern installiert.

vorliegenden Arbeit zu Grunde liegenden Projektes war es, zu untersuchen, inwieweit sich alle zur Visualisierung von Waldstrukturen und ihrer Entwicklung benötigten Funktionen in dieses GIS integrieren lassen.

| Programm | Hersteller | Preis | Anmerkungen |
|---|------------|------------|---|
| ArcView 3.2a | ESRI | US\$ 1195 | Desktop-GIS |
| ArcView 8.2 mit Service Pack 1 | ESRI | US\$ 1.500 | Desktop-GIS; Teil der ArcGIS Produktpalette |
| 3D-Analyst V. 1.0 | ESRI | US\$ 2495 | GIS-Modul zur 3D-Visualisierung; optionales Modul für ArcView 3.x |
| ArcGIS 3D Analyst 8.3 (ArcScene) | ESRI | US\$2500 | GIS-Modul zur 3D-Visualisierung; optionales Modul für ArcGIS 8.x |

Tabelle 7: Eingesetzte Geografische Informationssysteme

Es wurde sich auf die Desktop-Versionen, ArcView 3.x und Produkte aus der ArcGIS 8.x-Reihe, beschränkt, nachdem eigene Tests die grundsätzliche Eignung dieser Produkte für die angestrebte Zielsetzung vermuten ließen.

Am Anfang der Projektlaufzeit stand nur ArcView 3.2a zur Verfügung. Bei der Arbeit mit diesem und dem zugehörigen optionalen Visualisierungsmodul, 3D-Analyst, ergaben sich noch einige Restriktionen. Die gravierendste betrifft die Verwendung von Texturen für senkrechte Flächen - die wesentliche Voraussetzung für einen Einsatz von *billboards*. Im 3D-Analyst ist es nicht möglich Texturen auf senkrechte Flächen zu legen. Dieser Sachverhalt verbunden mit der generellen Unzufriedenheit über die Fähigkeiten des 3D-Analyst (gute 3D-Modelle lassen sich nicht mit genügend hoher Geschwindigkeit darstellen, Texturen lassen sich nicht auf senkrechte Flächen, wie Häuserwände legen, schlechte Farbdarstellung bei komplexeren Modellen) haben zu der Überlegung geführt, im Zusammenhang mit ArcView 3.2a auf eine weitere Verwendung des 3D-Analyst für diese Version zu verzichten. Für den Visualisierungsteil des Projektes weg von einer reinen GIS-Anwendung hin zu einer GIS-basierten Visualisierung mit einer zusätzlichen externen Lösung zu gehen, die über ein Interface direkt mit dem GIS kommuniziert. Hier entstand der Ansatz ein externes Visualisierungsmodul hinzuzuziehen (vgl. Kapitel 4.3.2).

Im April 2001 ist in den USA die neue Produktpalette ArcGIS erschienen, welche seit Juli 2001 auch in Deutschland ausgeliefert wird. Nach den Einschränkungen, die sich für ArcView 3.2 mit dem 3D-Analyst ergaben, wurden auch die Möglichkeiten von ArcGIS 8.2 (ArcScene) zur 3D-Visualisierung untersucht. Die technischen Voraussetzungen der gewählten Software erschienen vielversprechend, war es möglich, innerhalb des GIS auch eine Texturierung von senkrechten Flächen vorzunehmen.

Leider sind die Programmierungen beider Programmversionen nicht untereinander kompatibel. In der 3.x-Linie von ArcView kommt AVENUE zum Einsatz, das mit Einführung der ArcGIS-Produktpalette durch Visual Basic for Applications (VBA), als neue interne Programmierumgebung, ersetzt wurde. Die fehlende Kompatibilität der Programmiersprachen hat die Folge, dass Programmierungen für beide GIS getrennt vorgenommen werden müssen. Immerhin ist durch das objektorientierte Konzept, das beiden Sprachen zu Grunde liegt, ein grundsätzliches Programmdesign für

beide möglich. Allerdings geht der Funktionsumfang von VBA und der mit ArcGIS ausgelieferten Programmierbibliothek ArcObjects weit über den von AVENUE hinaus (vgl. Kapitel 4.3.4).

Waren auch Programmierung für ARC/INFO (einschließlich Version 7.x) und die ArcView3.x-Produktlinie nicht untereinander kompatibel, so ist dies mit Einführung der ArcGIS-Produktpalette aufgehoben worden. Programmierungen, die für ein Mitglied aus der ArcGIS-Linie gemacht worden sind, sind auch mit allen anderen ArcGIS-Produkten nutzbar (sowohl in ArcView 8.x, als auch in den ARC/INFO-Nachfolgern ArcEditor 8.1 bzw. ArcInfo 8.1).

4.3.2 Auswahl der externen (Referenz-)3D-Visualisierungsumgebung

Entsprechend der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit (vgl. Kapitel 1.) wird ein Programmpaket mit Spezialisierung auf 3D-Visualisierung ausgewählt, um

- 1) als Referenzsystem zur Beurteilung des „reinen“ GIS-gestützten Lösungsansatzes zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und deren Entwicklung zu dienen, sowie
- 2) als eigenständiger Lösungsansatz genutzt zu werden, um die GIS-basierte Datenbasis in 3D zu visualisieren.

◦ *Ausgewähltes Referenzsystem - Enviro*

Aus der Reihe der getesteten Programme¹ wurde das Programm Enviro aus dem „Virtual Terrain Project“ (VTP) ausgewählt, was folgendermaßen zu begründen ist:

- Enviro steht kostenlos zur Verfügung.² Viele der anderen getesteten Produkte sind möglicherweise zu teuer, um sie in die Praxis, bei Bedarf einer größeren Anzahl an Lizenzen, einzuführen.
- Der Quellcode ist frei verfügbar (*open source*)³ und das Programm lässt sich somit beliebig erweitern, anpassen und weitergeben.
- Das Enviro-eigene Dateiformat ist offen gelegt und es ist von daher einfach, die Geodatenbasis in das entsprechende Format umzuwandeln.
- Die *render*-Leistung von Enviro ist sehr hoch und es lassen sich großräumige realistische Szenarien erzeugen.
- In Enviro lässt sich die *billboard*-Technik effizient einsetzen. Das Ergebnis ist eine weit gehend realistische Darstellung der Vegetation.
- Enviro unterstützt die Verwendung von 3D-Objekten mit Fototextur, wodurch sich hochwertige 3D-Modelle einbinden und darstellen lassen.
- Enviro zeichnet sich durch vorgenannte Funktionen in seiner Darstellungsqualität aus.
- Die erzeugten 3D-Szenen sind interaktiv und „begehbar“. Das bedeutet, dass die 3D-Szene auch in „*realtime*“ erforscht werden kann, was vor allem für Präsentationen in den Bereichen der partizipativen Planung und der Umweltbildung eine wichtige Voraussetzung ist und ein wichtiges Kriterium für die Auswahl dargestellt hat.

Diesen vielfältigen Vorteilen stehen einige wenige Nachteile entgegen: fehlende Navigationshilfen (vor allem zum automatisierten Positionieren des Kamerastandorts schon beim Start von Enviro),

¹ vgl. Kapitel 3.4

² Informationen über den Bezug der Software findet man online unter der URL <http://www.vterrain.org/Request/> (13.03.2003).

³ vgl. online unter der URL <http://www.vterrain.org/privacy.html#License> (13.03.2003)

fehlende Animationsmöglichkeiten (Filmsequenzen, automatisierte „Flüge“ durch die Szene) und - dies ist der gravierendste Nachteil gegenüber einigen anderen der vorgestellten Visualisierungspakete - es ist kein direkter Zugriff auf die Geodaten-Basis im *shapefile*-Format möglich. Letzteres kann aber durch das offen gelegte Dateiformat von Enviro kompensiert werden (s. o.). Ebenso ist es durch den verfügbaren Quellcode möglich, die notwendigen Programmierkenntnisse vorausgesetzt, die „fehlenden“ Funktionen zu implementieren. Gerade das Potenzial, das sich aus der Verfügbarkeit des Quellcodes ergibt, unterscheidet Enviro von den anderen vorgestellten Systemen. Hier sind vielfältige, interessante und zielgerichtete Weiterentwicklungen denkbar.

Die Funktionen und Qualitäten von Enviro werden noch im Ergebnisteil näher erläutert.

4.3.3 Waldwachstumssimulator

Will man flächenbezogene Bestandesdaten in eine **einzelbaumbezogene** Darstellung umwandeln oder Waldentwicklungen aufzeigen/veranschaulichen, so bedarf es der Einbindung eines Strukturgenerators zur Generierung der Einzelbaumstrukturen bzw. eines Waldwachstumsgenerators zum Aufzeigen der Waldentwicklung.

In der vorliegenden Arbeit wird auf den Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 (Kapitel 3.2) zurückgegriffen. Die Auswahl für dieses Projekt ist vor allem auf folgende Gründe zurückzuführen:

- 1) SILVA 2.2 kombiniert den Strukturgenerator (STRUGEN) mit einem Waldwachstumssimulator.
- 2) SILVA ist einer der am besten erforschten und erprobten Waldwachstumssimulatoren für den Einsatz im deutschen Raum.
- 3) SILVA ist parametrisiert auf die Baumarten und Standortsbedingungen des Untersuchungsgebietes.
- 4) SILVA ist als distanzabhängiger Wachstumssimulator sehr gut für die Prognose einzelbaumbezogener Waldstrukturentwicklungen geeignet.
- 5) SILVA beinhaltet ab Version 2.2 eine Betriebsschleife für die automatisierte Steuerung über Steuerdateien (*batch*-Modus), wodurch er sich sehr gut in eigene komplexe Systeme integrieren.
- 6) SILVA ist auch Gegenstand der Forschungen eines eng mit vorliegender Arbeit verknüpften Projektes.¹ Darüber hinaus liegen durch seine Verwendung in weiteren Forschungsprojekten des Institutes² weit reichende Kenntnisse über ihn vor. Von daher ist es sinnvoll ihn auch in dieser Arbeit zu verwenden, insbesondere, da daraus keine Nachteile in Bezug auf die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit, im Vergleich zu anderen Wachstumssimulatoren, erwachsen.

Zur Vereinfachung der Bedienung soll auf eine direkte Nutzung von SILVA über dessen Benutzeroberfläche verzichtet werden. Hierzu wird auf den o. g. *batch*-Modus von SILVA zurückgegriffen. Der automatisierte Modus hat gegenüber der manuellen Steuerung von SILVA über dessen Benutzeroberfläche den wesentlichen Vorteil, dass durch die Definition von Steuerdateien nicht nur Einzelbestände, sondern ganze Betriebe auf einmal von SILVA prognostiziert werden können, ohne dass hierzu ein Benutzereingriff notwendig ist.

¹ Zum Rahmen des Projektes, vgl. Kapitel 1.

² Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg. Hier finden sich abgeschlossene Forschungsprojekte unter der Verwendung von SILVA in den Arbeiten von DENSBOHN (1999), HANEWINKEL (1998) und KRAMER (2000).

4.3.4 Programmierwerkzeuge

Die Ansätze, die in der vorliegenden Arbeit entwickelt werden, erfordern auch den Einsatz von Programmierungen. Tabelle 8 gibt eine Übersicht über die verwendeten Programmierwerkzeuge.

| Programm | Hersteller | Anmerkungen |
|--|------------|--|
| Visual Basic für Applikationen 6.0 (VBA) | Microsoft | Integrierter Bestandteil von ArcView 8.x |
| Visual Basic 6.0 (VB) mit Service Pack 5 | Microsoft | „eigenständige“ Programmierumgebung |
| Visual C++ 6.0 mit Service Pack 5 | Microsoft | „eigenständige“ Programmierumgebung |
| AVENUE | ESRI | Integrierter Bestandteil von ArcView 3.x |
| ArcObjects | ESRI | Programmierbibliothek: wird mit ArcGIS installiert |

Tabelle 8: Programmierwerkzeuge

In der Arbeit sind Schnittstellen (*Interfaces*) zwischen dem verwendeten GIS und einem Waldwachstumssimulator¹ bzw. einem 3D-Visualisierungssystem² zu entwickeln. Des Weiteren ist eine Benutzeroberfläche³ zur Aufbereitung der GIS-Datenbasis und zur Bedienung der Interfaces zu programmieren. Die in Kapitel 4.3.1 genannten GIS bieten zur Erweiterung und Automatisierung dabei unterschiedlich mächtige Programmieroptionen.⁴

In ArcView 3.x ist die objektorientierte Sprache AVENUE fester Bestandteil. Dabei handelt es sich um eine Skriptsprache, die aber auch die Möglichkeit bietet Benutzerdialoge zu entwerfen. Wie bereits bei der Auswahl der GIS-Software beschrieben⁵, wurde mit den Arbeiten an diesem Projekt vor Erscheinen von ArcGIS 8.x begonnen. In der Arbeit finden sich daher sowohl AVENUE-Programmierungen, die zur Datenweiterverarbeitung genutzt werden, als auch Programmierungen auf der Basis von VB bzw. VBA.

Mit ArcGIS wird ein sehr mächtiges Programmierpaket zur Verfügung gestellt. Zum einen erwirbt man mit ArcGIS eine Lizenz von „Visual Basic für Anwendungen“ (VBA), zum anderen wird die Programmierbibliothek ArcObjects, samt ActiveX-Komponenten, mit ausgeliefert. Über diese ist ein Zugriff auf die GIS-Funktionen und -Daten sowohl aus VBA heraus möglich als auch aus verschiedensten Entwicklungsumgebungen für unterschiedliche Programmiersprachen (Visual Basic (VB), C++, Delphi, Java). Als Stellvertreter für diese soll VB herangezogen werden.

Die Entscheidung über eine interne oder externe Nutzung muss für den jeweiligen Anwendungsfall abgewogen werden, da sich jeweils unterschiedliche Vor- und Nachteile ergeben.

Durch Einbindung von ArcObjects kann die Erweiterung von ArcGIS entsprechend der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit sowohl mit VBA als auch mit VB realisiert werden.

¹ vgl. Kapitel 5.1

² vgl. Kapitel 5.3

³ vgl. Kapitel 5.

⁴ Die verwendeten GIS sind in Kapitel 4.3.1 beschrieben. Hier finden sich auch Ausführungen über die Inkompatibilität, in Bezug auf vorhandene Programmierungen, bei einem GIS-Wechsel.

⁵ Zur GIS-Auswahl vgl. Kapitel 4.3.1.

Der eigentliche Programmcode, über den die Funktionalität der Programmierung bestimmt wird, ist in beiden Entwicklungsumgebungen sehr ähnlich. Stark unterschiedlich ist allerdings das notwendige Vorgehen, um den Programmcode auch in ArcGIS zur Ausführung bringen zu können. Lässt sich der Programmcode innerhalb der VBA-Entwicklungsumgebung direkt ausführen, so muss bei Verwendung von VB zur Erweiterung des GIS auch erst eine Verbindung zu diesem geschaffen werden. Hierzu muss der Programmcode in VB erst kompiliert (übersetzt) werden. Die Einbindung in das GIS geschieht durch das Erstellen von dynamisch gelinkten Bibliotheken („dll“¹) aus VB heraus, die dann nachträglich in ArcGIS eingebunden werden müssen. Dafür bietet dieses Vorgehen den Vorteil der schnellen und einfachen Verbreitung von GIS-Erweiterungen. Außerdem ist der selbst geschriebene Programmcode auf diese Weise inhaltlich geschützt, da er durch die Kompilierung nicht mehr lesbar ist. Anders bei VBA, wo der Code unübersetzt in lesbarer Originalform weitergegeben wird. Ein Schutz des geistigen Eigentums ist hierbei nicht gegeben, was spätestens bei einer kommerziellen Programmierung als großer Nachteil zu sehen ist. Es ist zwar möglich ein VBA-Projekt mit einem Passwort zu schützen, die Praxis hat allerdings gezeigt, dass dieser Schutz kaum wirksam ist.

Dem schnelleren Zugriff auf das GIS steht ein weiterer Nachteil bei Verwendung der VBA-Umgebung gegenüber. Zur Weitergabe ist unbedingt eine ArcGIS-Projektdatei notwendig. Die Extraktion der Funktionalität und Implementierung in bereits bestehende Projektdateien ist dadurch nur schwer möglich. Eine mit VB erstellte „dll“ kann demgegenüber in ein eigenes Installationsprogramm eingebunden werden und auf diese Weise verbreitet werden. Die „dll“ steht so nach einer Installation sowohl in bestehenden Projektdateien als auch in den neu zu erstellenden zur Verfügung. Mit VB ist es zudem theoretisch möglich, eigenständige, vom GIS unabhängige Programme zu erstellen. Dazu können in VB die zur Verfügung gestellten ActiveX-Komponenten² eingebunden werden, die wiederum über die ArcObjects-Programmiersbibliothek angesprochen werden können. Die Einschränkung „theoretisch“ begründet sich aus dem Sachverhalt, dass auch für den Einsatz der ActiveX-Komponenten auf dem auszuführenden Arbeitsplatz eine gültige Lizenz von ArcView 8.x sowie, bei gewünschtem Einsatz der 3D-Komponente, auch eine gültige Lizenz für ArcScene vorliegen muss.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Großteil der Programmierungen (Benutzeroberfläche und Programm-Interfaces) mit VBA durchgeführt. Dies hat für eine wissenschaftliche Arbeit die Vorteile, dass bei Weitergabe des VBA-Projekts dieses für jeden verwendbar ist, der die erforderlichen GIS-Lizenzen besitzt. Es ist in diesem Fall nicht notwendig ein zusätzliches Programmierpaket anzuschaffen - eine VBA-Lizenz wird ja, wie bereits ausgeführt, mit ArcGIS erworben. Ein Schutz des Programmcodes ist im wissenschaftlichen Rahmen unnötig - im Gegenteil, soll dieser doch für Designstudien herangezogen werden können, mit der Möglichkeit ihn auf die eigenen Bedürfnisse / die jeweiligen Gegebenheiten anpassen zu können bzw. Teile daraus in eigene Programmierungen übernehmen zu können. Auch der Test einzelner Programmteile ist in VBA schneller und einfacher möglich, als in VB. Aber auch VB ist für Tests und Machbarkeitsstudien herangezogen worden (vgl. Kapitel 5.2.6.3).

Die Lizenz von Microsoft Visual C++ schließlich, ist zum Studium des Programmcodes des *Virtual Terrain Projektes* (VTP s. o.) eingesetzt worden. VTP wurde in Visual C++ programmiert und Probleme

¹ dll = dynamik link library

² Die wichtigsten existierenden ActiveX-Komponenten sind eine 2D- (MapControl) eine 3D- (SceneViewerControl), ein Legenden- (TOCControl) und eine Toolbar-Komponente (ToolBarControl).

me, die sich bei Konvertierung der GIS-Datenbasis in das VTP-eigene Dateiformat ergeben haben, konnten nur durch Einblick in den Quellcode von VTP gelöst werden.

4.3.5 Weitere eingesetzte Grafikprogramme

| Programm | Hersteller | Anmerkungen |
|-------------------|--|--|
| PhotoModeler Lite | EOS SYSTEMS 2003 (www.photomodeler.com/Lite/) | Programm zum Modellieren von 3D-Objekten aus Fotografien |
| AccuTrans 3D | MicroMouse Productions (www.micromouse.ca) | Programm zur Konvertierung von 3D-Formaten |
| ER Mapper 6.3 | Earth Resource Mapping (www.ermapper.com) | Bildverarbeitungsprogramm |

Tabelle 9: Sonstige verwendete Software

Das Programm **PhotoModeler Lite** dient zum Konstruieren von 3D-Modellen aus Fotografien. Es eignet sich somit auch zur Modellierung von markanten Landschaftspunkten aus Fotografien. In der vorliegenden Arbeit wurde mit diesem Programm ein 3D-Modell des Riesenbühlturns, einem sehr markanten Landschaftspunkt des Referenzgebietes, nachgebildet.¹

Ein erstelltes Modell kann direkt innerhalb von PhotoModeler, entsprechend der realen Verhältnisse, skaliert und rotiert werden. Für die weitere Verwendung kann das Modell in verschiedenen 3D-Austauschformaten gespeichert werden. Dazu gehören das AutoCAD-Format (DXF) und das 3DStudioMax-Format (3DS). Ersteres ermöglicht lediglich die Speicherung von Farbinformationen zur Gestaltung der Modell-Oberfläche, während mit dem 3DS-Format auch Fototexturen gespeichert werden können. Durch die Nutzung der Fotografien als Fototextur ist das optische Ergebnis in diesem Fall sehr gut.

Die 3D-Objekte lassen sich mit etwas Übung sehr leicht modellieren. Wenn bei der späteren Weiterverwendung auf das 3DS-Format zurückgegriffen werden kann, kann bei der Modellierung, durch die Verwendbarkeit von Fototexturen, auf eine sehr detaillierte Modellierung, bei der sämtliche geometrische Details erfasst werden müssen, verzichtet werden.² Mit der Vollversion von PhotoModeler, oder einem vergleichbaren Programm wie ImageModeler von REALVIZ oder Photo3D von Apollo Software Corp., ist es möglich auch komplexe, sehr strukturierte 3D-Modelle, wie Schlösser, Gebäudekomplexe, Fahrzeuge oder auch Bäume, nachzubilden.

AccuTrans 3D ist ein sehr leistungsstarkes Programm zur Bearbeitung von 3D-Modellen und Konvertierung verschiedener 3D-Austauschformate. In der vorliegenden Arbeit wurde es genutzt um frei aus dem Internet verfügbare 3D-Modelle für die Einbindung in die 3D-Visualisierungsumgebungen zu manipulieren und sie in ein von der jeweiligen Visualisierungsumgebung lesbares Format zu konvertieren (3DS-Format für Enviro, DXF-Format für ArcScene). Die wichtigsten Manipulationen, die mit AccuTrans 3D an den 3D-Modellen vorgenommen wurden, sind:

- Größenskalierung der Modelle
- korrekte Rotationslage

¹ Das erstellte 3D-Modell des Turms wird in dem Ergebnisteil präsentiert.

² Auf die Vorzüge von Fototexturen wird auch in Kapitel 4.5.3 eingegangen.

- Korrigieren des Referenzpunktes für den korrekten Bezug zum Oberflächenmodell in den jeweiligen 3D-Visualisierungsumgebungen. X/Y auf Mittelpunkt; Z als Offset zum Gelände (meistens „0“ nur Zeppelin auf 50 Meter über dem Gelände)

ER Mapper 6.3 fand seinen Einsatz in der Bearbeitung der digitalisierten Schwarz-Weiß-Luftbilder¹ (Georeferenzierung, Entzerrung und Mosaikierung) und zum Erzeugen eines Fusionsbildes² als Texturbild für das digitale Geländemodell.

4.4 Methode der Stratenbildung

Für die Erzeugung von SILVA-Steuerdateien aus dem GIS heraus sind eine große Anzahl von bestandes- und baumartenbeschreibenden Parametern notwendig. Aus den Daten der Forsteinrichtung und der Verschneidung dieser mit dem digitalen Geländemodell, dessen Ableitungsprodukten und der digitalen Standortskarte, lassen sich die meisten von SILVA benötigten bestandesrelevanten Informationen ableiten. Ein Problem besteht bezüglich einiger baumartenspezifischer Informationen. Diese werden nur für eine geringe Anzahl von Beständen während der periodischen Forsteinrichtung erhoben. In Bezug auf die von SILVA benötigten Parameter betrifft dies den **Durchmesser** und die **Höhe des Grundflächenmittelstamms** und **eine** der beiden Größen **Grundfläche pro Hektar** (in m² je ha) bzw. **Stammzahl pro Hektar** (in Stück je ha). In der vorliegenden Arbeit wird dieses Problem durch Integration von Auswertungen der Betriebsinventur (BI)³ gelöst, die durch das parallel laufende SDSS-Projekt⁴ zur Verfügung gestellt werden. Zu diesem Zweck ist am Institut für Forstökonomie ein Auswerteprogramm entwickelt worden, das datenbankgestützt für jedes BI-Stratum die benötigten Mittelwerte, getrennt nach Baumart und Altersstufe, errechnet und in eine Liste schreibt. Diese Liste im dBase-Format soll im GIS genutzt werden, um die „fehlenden“ baumartenbezogenen Mittelwerte (s. o.) in der Forsteinrichtungstabelle zu ergänzen. Um diese Verknüpfung herstellen zu können, ist eine Stratifizierung der Bestandesdaten entsprechend dem Vorgehen im SDSS-Projekt vorzunehmen.⁵

Die geografische Lage der BI-Stichprobenpunkte ist über Gauß-Krüger-Koordinaten bekannt. Da die BI-Punkte nicht bestandesbezogen ausgewählt werden, sondern über ein unabhängiges, regelmäßiges Stichprobennetz von 200x100 m definiert sind, muss der Bezug zwischen Bestandesgeometrie und BI-Punkten über Stratifizierung hergestellt werden. Sowohl die Bestände als auch die BI-Punkte werden dabei nach den gleichen Kriterien stratifiziert. Dies sind:

- 1) der Waldentwicklungstyp
- 2) die Standortsgüte und
- 3) die zonale Gliederung (Höhenstufen)

¹ Angaben zu den Luftbildern finden sich in Kapitel 4.2.1.

² Zur *imagefusion* vgl. Kapitel 4.2.1.

³ Die BI wird in Baden-Württemberg für größere staatliche und kommunale Betriebe durchgeführt - so auch 1990 im Untersuchungsgebiet. Die auf Grundlage der Schweizer Kontrollstichprobe entwickelte BI ist mehrfach erprobt und allgemein anerkannt. Ausführlich wird sie bei SCHMIDT-HAAS ET AL 1978 und SCHMIDT-HAAS 1983 besprochen. Eine Fallstudie, einschließlich einer Stärken-/Schwächen-Analyse, findet sich bei HINRICHS ET AL. 1993.

⁴ Das SDSS-Projekt ist in Kapitel 1. näher beschrieben.

⁵ Zur Stratifizierung vgl. HANEWINDEL 2003, S. 27f.; HANEWINDEL 1998 S. 93ff. und 96 ff.

Waldentwicklungstypen (WET) sind definiert

„als Waldbestände mit vergleichbarem waldbaulichen Ausgangszustand und vergleichbarer Zielsetzung. Sie beschreiben die zweckmäßigsten Verfahren und Techniken zur Erreichung dieser Zielsetzung unter Beachtung der Funktionsvielfalt des Waldes (Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion)“.¹

Die WETs werden seit 1999 in der Forsteinrichtung von Baden-Württemberg genutzt.² Historisch sind sie aus der Kombination von Bestandestypen (BT) und Betriebszieltypen hervorgegangen. Diese finden sich in älteren Einrichtungen bzw. in den aktuellen Forsteinrichtungen die vor 1999 durchgeführt wurden und somit auch in den aktuellen Forsteinrichtungsdaten für das Untersuchungsgebiet, die 1995/1996 aufgenommen wurden.

Für die vorliegenden Forsteinrichtungsdaten und die BI-Daten müssen die Bestandestypen in Waldentwicklungstypen umgewandelt werden. Das **Resultat** ist für jeden Bestand bzw. jeden BI-Punkt eine Zuordnung zu einem (regionalen) Waldentwicklungstyp. Im Untersuchungsgebiet sind vor allem vier regionale Waldentwicklungstypen interessant: der „Fichten-Mischwald“ (Fi-MW), der „Bergmischwald“ (leitet sich aus dem landesweiten WET Tannen-Mischwald ab), „Buchen-Nadelbaum-Mischwald“ (Bu-Nb-MW) und „labile Fichte mit ZIEL Buchen-Mischwald“ (lab-Fi-ZBW).³

Die **Standortsgüte** (Wuchsrelation) wird indirekt durch Verschneidung der BI-Lagepunkte bzw. der Bestandesgeometrien mit der digitalen Standortskarte ermittelt. Über die in der Standortskarte gespeicherten Werte (Feuchte, Bodentyp, etc.) werden drei, für die Stratenbildung zu verwendenden Standortseinheitengruppen (gut, mittel und schlecht) gebildet, über die die Einordnung der Standortsgüte erfolgt. Das **Resultat** ist für jeden Bestand bzw. jeden BI-Punkt eine Zuordnung zu einer der drei Standortseinheitengruppen (gut, mittel, schlecht).⁴

Um die **Höhenstufe** jedes BI-Punktes bzw. Bestandes festlegen zu können, muss dessen absolute Höhenlage über NN bestimmt und entsprechend der zonalen Gliederung im Untersuchungsgebiet⁵ eingestuft werden. Die vertikal-zonale Gliederung umfasst im Untersuchungsgebiet nur die montane und hochmontane Höhenstufe (Trennung zwischen 900 und 1150 m). Für die vorliegende Arbeit kann auf die digitale Standortskarte zurückgegriffen werden, in der die vertikal-zonale Gliederung enthalten ist. Die Zuordnung zu den einzelnen BI-Punkten bzw. Bestandesflächen kann über GIS-Verschneidungsfunktionen erfolgen.

Das **Resultat** ist für jeden Bestand bzw. jeden BI-Punkt eine Zuordnung zu einer der beiden Höhenstufen (montan, hochmontan).

¹ LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG 1999, S. 1

² vgl. dazu auch v. TEUFFEL 1999; v. TEUFFEL und KREBS 1999

³ vgl. LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG 1999

⁴ Zur Bildung der Standortseinheitengruppen vgl. HANEWINKEL 2003, S. 27f.

⁵ Zur zonalen Gliederung im Untersuchungsgebiet vgl. SCHLENKER, MÜLLER ET AL. 1978.

4.5 Eingesetzte Methoden für die 3D-Visualisierung

4.5.1 MultiPatches

Eine Sonderform innerhalb der Geometrieklassen bilden die *MultiPatches*¹. Hierbei handelt es sich um einen dreidimensionalen Geometrietyp (ähnlich dem PolygonZ), der zum Repräsentieren von Flächenobjekten in der dritten Dimension genutzt werden kann.

Dabei erlaubt ihre Verwendung eine redundanzarme Speicherung und Darstellung von einfachen und komplexen 3D-Körpern anhand einer Dreiecksvermaschung - ähnlich der Speicherform eines digitalen Geländemodells in Form eines TIN.² Unter Angabe von Punkten werden die 3D-Flächen (Ringe oder Sätze) definiert. Dazu muss die Art der Vermaschung spezifiziert werden. Beim Einsatz von *MultiPatches* gibt es hierbei zwei Typen: Bei dem ersten wird nach Angabe der ersten beiden Punkte der jeweils nächste Punkt mit seinen beiden direkten Vorgängern verbunden. Bei dem zweiten werden die Dreiecke aus dem jeweils nächsten Punkt, dem direkten Vorgänger und dem Anfangspunkt (dem allerersten angegebenen Punkt) gebildet. Hierdurch wird die Anzahl der benötigten Punkte zum Erstellen eines 3D-Körpers deutlich reduziert (durch die Vermeidung der notwendigen, mehrfachen Angabe ein und desselben Punktes). Typisches Beispiel ist die Konstruktion einer Pyramide mit vier gleichen Seiten. Müssen bei der herkömmlichen Konstruktion mit „normalen“ Polygonen (PolygonZ) **zwölf Punkte** gespeichert werden, sind dies bei der Speicherung als *MultiPatch* nur **sechs**. Für den ersten Fall müssen vier Dreiecke vollständig definiert werden (4 Dreiecke x 3 Ecken = 12 Punkte). Bei Verwendung der *MultiPatches* wird die Spitze der Pyramide als Ausgangspunkt genommen. Die Ecken der Grundfläche (Quadrat) werden nun nacheinander angegeben und gespeichert. Dabei muss der erste Eckpunkt doppelt, als erster und letzter Eckpunkt, gespeichert werden. Bei der Darstellung der Pyramide wird jeder Eckpunkt mit dem jeweils vorgenannten Eckpunkt und der Pyramidenspitze verbunden (1 Spitze + 4 Grundflächenecken + die 1ste Grundflächenecke am Schluss noch einmal = 6 Punkte).

MultiPatches lassen sich innerhalb des GIS nur durch Programmierung generieren. *MultiPatches* zeichnen sich weiterhin dadurch aus, dass sie neben den eigentlichen Koordinatenwerten (x,y und z) eine weitere Komponente, den *measure*-(M)-Wert, aufnehmen können. Über diesen Wert können jedem einzelnen Geometriepunkt noch zusätzliche Informationen zugeordnet werden. Mit der Einführung von ArcGIS 8.x ist es möglich, auch Texturkoordinaten mit diesem M-Wert zu speichern. Diese Eigenschaft ist die entscheidende für einen Einsatz von *MultiPatches* in der vorliegenden Arbeit.

4.5.2 Extrusion

Ein viel genutztes „Stilmittel“ in der 3D-Visualisierung ist die Verwendung von Extrusion (Überhöhung) zum Generieren von 3D-Objekten aus 2D-Geometrien. Unter Extrusion versteht man hierbei das Ausdehnen von in einer Szene dargestellten zweidimensionalen (flachen) Objekten (Punkte, Linien oder Flächen) in die Höhe (Z-Dimension). Dabei entstehen in der Darstellung aus den Punkten senkrechte Linien (z. B. Zaunpfähle), aus den Linien Flächen (z. B. Wände) und aus den Flächen Körper (z. B. Blöcke). Die Überhöhung / Verformung in die Höhe wird dabei entweder über einen

¹ vgl. ESRI 2001a, S. 1059; ESRI 2001b, S. 22

² Nähere Informationen zum TIN-Format vgl. Kapitel 4.2.2.

Attributwert (Objekte können dann individuell extrudiert werden) oder über einen konstanten Wert (alle ausgewählten Objekte werden mit dem gleichen Höhenwert dargestellt) festgelegt.

Ein typisches Anwendungsbeispiel für die Extrusion, ist das Generieren von 3D-Gebäudeblockmodellen aus 2D-Flächendaten (Gebäudegrundrissen) durch Nutzung der in einem Attributfeld gespeicherten Höheninformation (Abbildung 28).

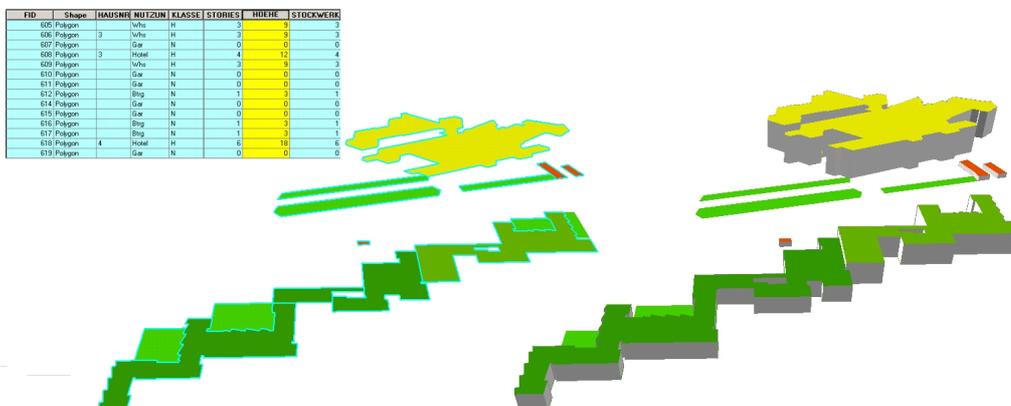


Abb. 28: Extrusion von 2D-Daten zur Darstellung in 3D

4.5.3 Texturierung (*texture mapping*)

Zur Texturierung wird das Verfahren der Texturbelegung (im Folgendem mit *texture mappings* bezeichnet) verwendet. Das Hauptziel dieser Technik ist es die visuelle Komplexität einer Szene zu steigern, ohne dass dazu eine Erhöhung der geometrischen Komplexität notwendig wird. *Texture mapping* wird in vielen Bereichen der Computergrafik eingesetzt, da sie erlaubt

- komplexe Oberflächen relativ effizient darzustellen und
- die Detailtreue von sehr komplexen (3D)-Objekten nachzubilden, ohne jedes Detail geometrisch nachbilden zu müssen.

Texturen (*texture maps*) sind Rasterbilder mit ein, zwei oder drei Dimensionen. In der vorliegenden Arbeit werden ausschließlich zweidimensionale Texturen verwendet. Am häufigsten werden Texturen zur Modulierung der Oberflächenfarbe verwendet. Dieser Einsatzzweck wird auch in der vorliegenden Arbeit verwendet, um eine Geländetextur auf ein digitales Geländemodell „aufzutragen“.

In der vorliegenden Arbeit wird so z. B. das digitale Geländemodell mit einem Fusionsbild¹ überlagert. Diese Technik liefert einen realitätsnahen Eindruck, der eine 3D-Darstellung suggeriert. Hier ist das Ziel, auch aus der Vogelperspektive einen realitätsnahen (bildhaften) Eindruck über das darzustellende Gebiet zu geben und eine größerflächige Orientierung im Gelände zu ermöglichen (Darstellung des Untersuchungsgebietes aus größerer und mittlerer Entfernung).

Ein weiterer wichtiger Anwendungsaspekt für das vorliegende Projekt ist, dass Texturen transparente Bereiche aufweisen können. Transparenz meint in diesem Zusammenhang, dass Bereiche der Textur bei der Betrachtung unsichtbar sind, also nicht wahrgenommen werden und „dahinter liegende“ Bereiche in der Darstellung nicht überdecken. Erst hierdurch wird es beispielsweise bei der

¹ Angaben zum Fusionsbild finden sich im Kapitel 4.2.1.

billboard-Technik¹ möglich, das eigentliche darzustellende Objekt im Texturbild (im konkreten Fall den Baum) zur Repräsentation eines 3D-Objektes zu nutzen. In der 3D-Szene ist nur der gewünschte Bereich der Textur sichtbar, während die Randbereiche der Trägergeometrie, im Allgemeinen ein rechteckiger Rahmen, unsichtbar bleiben.

Eine Textur besteht aus vielen einzelnen Bildpunkten, welche als „*Texel*“ bezeichnet werden. Die Lage jedes Texels wird in einem eigenen Koordinatensystem, mit den Achsen *S* und *T*, definiert. Jedem Texel wird dabei genau ein Rechts- (*s*) und ein Hochwert (*t*) zugeordnet. *s* und *t* können dabei, unabhängig von der tatsächlichen metrischen Ausdehnung, Werte von 0 bis 1 (entspricht der Schreibweise $[0,1]$) annehmen. Die Texturkoordinaten können also Werte von 0, 0 bis 1, 1 annehmen. Dabei entspricht der Wert 0, 0 der linken unteren Ecke des Bildes und der Wert 1, 1 der oberen rechten Ecke des Bildes. Jedem formgebenden Punkt des zu Grunde liegenden geometrischen Objektes wird nun der entsprechende Punkt in der Textur zugeordnet und die zugehörigen Texturkoordinaten (*s* und *t*) werden mit dem Geometriepunkt gespeichert. Auf diese Weise wird die Koordinatentransformation der Abbildung definiert (Abbildung 29).

Die Verwendung von Texturkoordinaten zur Definition der Lagebeziehung zwischen Geometriepunkt des *MultiPatches* und Bildpunkt der Textur bietet dabei zwei große Vorteile:

- Auf diese Weise ist es möglich, auch nicht rechteckige Oberflächen mit einer Bildtextur zu belegen (Abbildung 29).
- In gewissen Grenzen ist auch eine Texturierung mit „verzerrten“ Bildtexturen möglich; die Verzerrung wird ausgeglichen und die Textur korrekt auf die Oberfläche des *MultiPatches* gelegt.

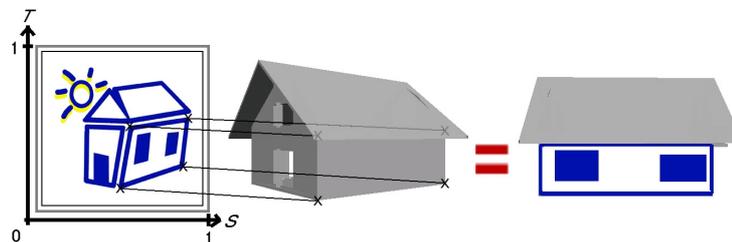


Abb. 29: Übertragung eines Texturbildes auf ein 3D-Objekt

Die Bereiche der zu belegenden Fläche bei denen die Texturkoordinaten außerhalb $[0,1]$ liegen, werden je nach Wahl der Texturabbildung entweder

- mit keiner Textur belegt, wodurch die „Eigenfarbe“ des belegten Objektes dargestellt wird (vgl. Abbildung 30 links).
- mittels der Textur gekachelt (d. h., die Fläche wird vollständig mit gleich großen Duplikaten der Textur ausgefüllt, die dabei bündig aneinander liegen; vgl. Abbildung 30 Mitte),
- mit den Randwerten der Textur gefüllt (d. h., Texturkoordinaten < 0 werden auf 0, Koordinaten > 1 auf 1 gesetzt; vgl. Abbildung 30 rechts)

¹ Die *billboard*-Technik wird in Kapitel 3.3.5 beschrieben.

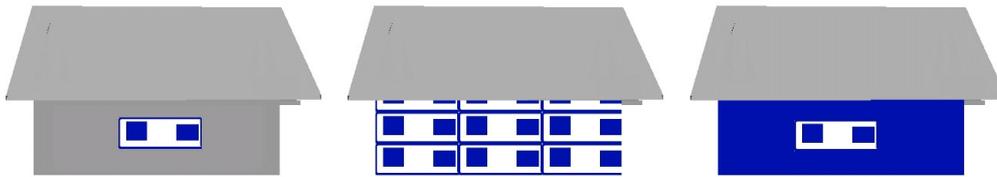


Abb. 30: Verschiedene Texturabbildungen; links Einfachdarstellung, Mitte Kachelung, rechts Randwerte der Textur

4.5.4 „level of detail“ (LOD)

Bei der Darstellung einer komplexen dreidimensionalen Szene werden hohe Ansprüche in Bezug auf den Ressourcenbedarf, an das Grafiksystem der eingesetzten Hardware gestellt. Die maximal darstellbare Anzahl an Einzelobjekten und Detailgrad, die pro Zeiteinheit gezeichnet werden können, sind beschränkt. Um diesem Umstand gerecht zu werden, wurden grafikbezogene Algorithmen entwickelt. Sie tragen dazu bei die Komplexität der darzustellenden Szene zu reduzieren, ohne dabei zu starke Einbußen bei der Darstellungsqualität hinnehmen zu müssen. Die wichtigste Methode ist die „level of detail“-Methode (LOD)¹, ein Multiresolutionsverfahren bei dem Algorithmen zur Reduzierung in der Anzahl der darzustellenden Flächen (Polygone) und/oder in der Auflösung der Oberflächentextur verwendet werden. Diese Methode nutzt den Aspekt, dass verschiedene Ausschnitte der dargestellten Szene einer unterschiedlich genauen Repräsentation (im Detailgrad) bedürfen. Szeneninhalte, im besonderen 3D-Objekte, die dem Betrachter nahe liegen, müssen mit einem höheren Detailgrad dargestellt werden, als solche, die weiter entfernt liegen. Der notwendig Detailgrad, und damit die notwendige Anzahl an Polygonen bzw. Auflösung der Textur, richtet sich also nach der Distanz des Objektes zum Betrachter. Der Detailgrad wird dabei üblicherweise, mit zunehmender Distanz, stufenweise reduziert - bis zur vollständigen Ausblendung des darzustellenden Objektes.

Ein anschauliches Beispiel ist die Verwendung von LOD zur Reduzierung der Komplexität bei einem Stadtmodell, wie dies bei der Begriffsdefinition von LOD im Online-Lexikon zur Geoinformatik angeführt wird.

„- LOD-1: das Bauklötzchenmodell, eine Repräsentation eines Stadtensembles aus Quadern (Hüllkörpern), wobei die Höheninformation z. B. aus Dateien mit Gebäudehöhen oder Stockwerkszahlen grob abgeleitet wird. Gängige Maßstäbe sind 1:1.000 bis 1:10.000.

- LOD-2: Objekte werden als einfache geometrische Körper dargestellt. Dachformen und evtl. einmontierte Texturen, soweit aus der Luftbildfotogrammetrie automatisiert gewonnen, sind vorhanden. Typische Maßstäbe sind 1:500 bis 1:1.000.

- LOD-3 und mehr: Die genaueste Repräsentation bildet den Stadtausschnitt vollständig 3-D nach und berücksichtigt (erfasst und modelliert) Vorsprünge von wenigen Zentimetern. Typische Maßstäbe reichen bis 1:10.“²

¹ Zur Beschreibung der LOD-Technik vgl. auch SUTER 1997, S. 59f.

² Online unter der URL <<http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/lexikon.asp>> (17.07.2003).

Besonders häufig werden in Visualisierungsprogrammen Algorithmen zum geländebezogenen LOD genutzt. Der Einsatz dieser Algorithmen beschleunigt die Darstellung besonders in stark reliefiertem Gelände, also dort, wo viele Berge bzw. Täler und Schluchten darzustellen sind - so wie in dem vorliegenden Untersuchungsgebiet.

LOD-Prinzip:

Das Geländemodell wird in einer so genannten „Height-Map“ gespeichert. Dabei handelt es sich um ein zweidimensionales regelmäßiges Raster, bei dem für jede Rasterzelle die Höhe über NN gespeichert wird. Diese Rasterpunkte werden durch Linien zu Quadraten oder Dreiecken verbunden und die entstehenden Flächen bilden das 3D-Modell des Geländes.

Das Hauptproblem bei großflächiger Geländedarstellung durch „Height-Maps“ liegt in der Speichergröße des resultierenden Geländes. Selbst bei kleinen Gebieten entstehen, je nach Auflösung, mehrere hunderttausend Punkte und damit zu *rendernde* Dreiecke. Je mehr Dreiecke dargestellt werden müssen, umso langsamer wird die Darstellungsgeschwindigkeit am Bildschirm. Genau bei diesem Problem setzen die o. g. Algorithmen zum geländebezogenen LOD an. Diese reduzieren die Zahl der Dreiecke pro Bild, indem weiter vom Betrachter entfernte Bereiche des Geländes mit weniger Details dargestellt werden. Die Bereiche im Vordergrund bleiben in ihrer Darstellungsqualität unverändert, sodass die Darstellungsqualität der Gesamtszene nicht darunter leidet.

4.6 Auswahl der Vegetationsdarstellungsform

Wie in Kapitel 3.3 aufgezeigt, existieren zur Visualisierung der Waldvegetation sehr viele Darstellungsformen. Die Auswahl der geeigneten Darstellungsform richtet sich nach der Zielsetzung, die mit der Visualisierung verfolgt wird.

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit, Waldstrukturen und deren Dynamik in Prozessen der internen forstlichen Planung, der forstlichen partizipativen Planung und der waldbezogenen Umweltbildung aufzuzeigen, erfordert eine möglichst realistische Darstellungsform der Vegetation.

Hierbei zeigt sich, dass die Strukturen am Besten mit einzelbaumbasierten Methoden dargestellt werden. Flächenhafte Darstellungen, z. B. als Blockmodell mit durchschnittlicher Bestandeshöhe (Abbildung 8) oder als Geländemodell mit eingerechneten Einzelbaumhöhen (Abbildung 9), wirken selbst bei sehr aufwändiger Konstruktion nicht sehr realistisch. Für eine Betrachtung aus der Ferne reichen diese u. U. aus. Für eine nahe Darstellung, aus der man erst die Strukturen erkennen kann, reichen sie hingegen nicht aus. Auch die Kombination mit vorgelagerten Einzelbäumen in den Randbereichen der Bestände ergibt keine wirklich zufrieden stellende Lösung.

Für die vorliegende Arbeit wird daher eine einzelbaumbasierte Darstellung angestrebt. Hierzu wurden verschiedene, zur einzelbaumbasierten 3D-Visualisierung von Waldstrukturen geeignete Varianten (Kapitel 3.3.2) getestet, um ihre Einsetzbarkeit im GIS abschätzen zu können. Dabei hat sich gezeigt, dass die Einbindung von 3D-Modellen, egal welcher Komplexität, in das GIS auf Grund des Ressourcenbedarfs nicht zu handhaben sind. Dabei gilt: je komplexer und detaillierter die 3D-Baummodelle, um so weniger Einzel-Objekte können dargestellt werden.

Zum Vergleich: Die Darstellung von 200 000 Bäumen als Punkt-*shapefile* in einer 2D-Darstellung belegt ca 30 MB Speicher. Soll die gleiche Anzahl von Bäumen als „echte“ 3D-Baumkörper (z. B. AMAP-Bäume) in mittelmäßiger Qualität dargestellt werden, so belegt schon ein einzelner Baum zwischen 1

MB und 40 MB - d. h., für 200 000 Bäume werden zwischen 200 und 4.000 GB Speicher benötigt. Diese 200 000 Bäume werden bei gut programmierten Visualisierungsprogrammen zwar nicht alle gleichzeitig dargestellt („*level of detail*“, vgl. Kapitel 4.5.4), dennoch ist deutlich zu erkennen, welche Kapazitäten eine virtuelle Waldlandschaft tendenziell in Anspruch nehmen kann.

Bei den Performance-Tests der vorliegenden Arbeit (vgl. auch Tabelle 10) hat sich gezeigt, dass ein Einsatz von 3D-Baummodellen (wie AMAP- bzw. XFrog-Baum-Modellen) nur für die Aufbereitung eines kleinen Darstellungsbereiches möglich ist. Die maximal darstellbare Objektzahl geht dabei nur unwesentlich über die einer SILVA-Aufrisszeichnung¹ hinaus (5.000 - 10.000 Einzelbäume). Hinzu kommt der Effekt, dass die Nutzung dieser Bäume im GIS durch die mangelnde Fototextur-Unterstützung des GIS gar nicht so realistisch erscheinen (vgl. Abbildung 31). Für andere Zielsetzungen wäre der Einsatz möglichst detaillierter Baummodelle anzustreben (z. B. für Konkurrenzmodelle oder auch, um eine Analyse im Baum und zwischen Bäumen auch auf vertikaler Ebene vornehmen zu können bzw. um eine Beleuchtungssimulation im Bestand berechnen zu können). Für das Aufzeigen von weiträumigen Waldbildern (und deren Veränderung über die Zeit, z. B. durch forstliche Eingriffe) ist es wichtiger ein Wald- / Landschaftsbild zu erzeugen, das möglichst realistisch auf den Betrachter wirkt. Dies gilt um so mehr in den Zielbereichen, in denen forstliche Laien involviert sind.

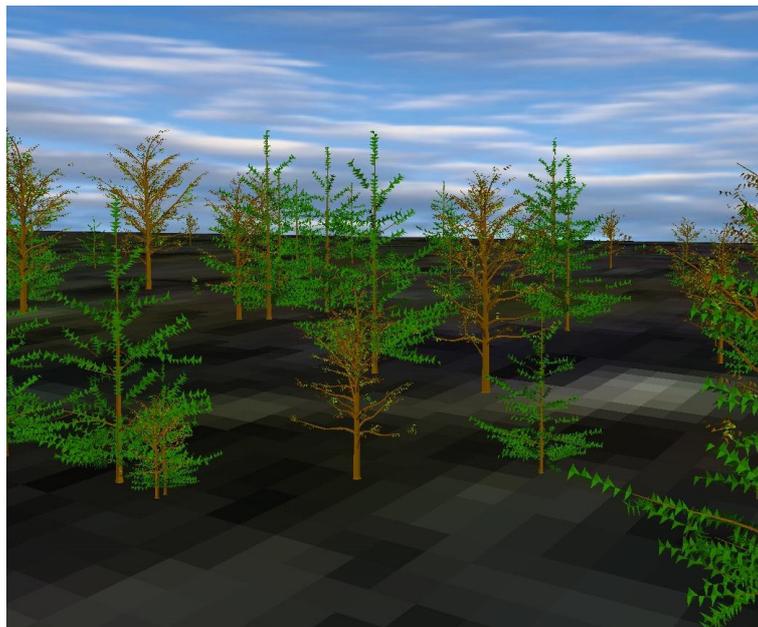


Abb. 31: AMAP-Bäume in der 3D-GIS-Ansicht

Als **Ergebnis** der Abwägungen wird in der vorliegenden Arbeit auf die **billboard-Technik**² zurückgegriffen. Da der Ressourcenbedarf bei Verwendung dieser Technik sehr gering ist und sie ein sehr realistisches Bild auch auf Einzelbaumebene ermöglicht, lassen sich, bei entsprechend feiner Klassifizierung der Texturbilder, sehr gute Bestandes- und Landschaftsbilder mit hunderttausenden von Einzelbäumen, erzeugen, was noch zu zeigen ist.

¹ SILVA kann maximal 3000 Bäume je Prognoseschritt verwalten; vgl. SEIFERT 1998, S. 13.

² Zur Beschreibung der *billboard*-Technik vgl. Kapitel 3.3.5.

| Darstellungsform | Erstellungsaufwand | Realitätsgrad | Darstellungsgeschwindigkeit |
|---------------------------|--------------------|------------------|-----------------------------|
| 2D Mittelwerte | sehr gering | sehr niedrig | extrem schnell |
| 2D Punkt | aufwändig | sehr niedrig | sehr schnell |
| Block Mittelwerte | sehr gering | niedrig | sehr schnell |
| Block mit Einzelbaumdaten | extrem aufwändig | mittel | schnell |
| <i>billboard</i> | aufwändig | hoch | langsam |
| 3D-CAD-Modelle | sehr aufwändig | hoch - sehr hoch | nicht darstellbar |

Tabelle 10: Gegenüberstellung verschiedener Vegetationsdarstellungsformen zur Repräsentation von 250.000 Bäumen

5. Lösungsansätze zur Visualisierung von Waldstrukturen und ihrer Entwicklung

Wie in der Einleitung (Kapitel 1.) bereits dargestellt, besteht für den Bereich der forstlichen (kommunikativen) Planung der Bedarf an adäquaten Werkzeugen. Dort wird des Weiteren ausgeführt, dass die 3D-Visualisierung solch ein adäquates Werkzeug ist, um die großräumigen und langfristigen Veränderungen aufzuzeigen.

Das Potenzial und die Bedeutung, die GIS als Träger der Datenbasis zukommt, ist in der Forstwirtschaft und in der Landschaftsplanung hinreichend erkannt und führt dazu, dass in vielen Projekten GIS in dieser Funktion bereits erprobt und eingesetzt worden ist (vgl. 3.1). Die existierenden Ansätze überführen allerdings im Allgemeinen die GIS-Datenbasis in ein externes, auf Visualisierung spezialisiertes Programm. Es gibt bis dato keinen praxisrelevanten Lösungsansatz im Bereich der Forstwirtschaft, der einen reinen GIS-Lösungsansatz verfolgt.

In vorliegender Arbeit soll dieser Konsens, der GIS als ideale Basis für die großräumige Landschaftsvisualisierung beschreibt, zum Anlass genommen werden, den „GIS-Gedanken“ konsequent weiterzuführen und die Möglichkeiten zu erproben und aufzuzeigen, die sich mit GIS als Werkzeug zur 3D-Visualisierung ergeben. Gerade die Implementierung von 3D-Visualisierungsalgorithmen in GIS birgt ein interessantes Potenzial. Der Grund dafür liegt in den zukünftigen Aufgaben der 3D-Visualisierung, die im Zusammenhang mit Planungsvorhaben wie auch im Kommunikationsbereich nicht auf die Funktion der Präsentation begrenzt sein sollte. Vielmehr sind hier Werkzeuge gefragt, die flexibel genug sind, um auf der Basis einer „realen“ Datenbasis Szenarien spontan darstellen zu können und Werkzeuge für Analysen in dieser virtuellen Umgebung (in der 3D-Ansicht) zur Verfügung zu stellen. Ein GIS, um die Möglichkeit zur 3D-Visualisierung ergänzt, ist nach Ansicht des Autors das Werkzeug, das diesen Ansprüchen genügt.

Der enge GIS-Bezug ist das vorrangige Ziel der technischen Lösung, die in dieser Arbeit vorgestellt wird. Um das Potenzial dieses Lösungsansatzes evaluieren zu können, wird ein direkter Vergleich mit einem externen 3D-Visualisierungsprogramm hergestellt, das mit den bisherigen o. g. Lösungsansätzen vergleichbar an das GIS angebunden wird. Dieser „externe“ Ansatz soll zusätzlich zur technischen Referenz (Qualität der GIS-internen 3D-Visualisierung) als eigenständiger Ansatz auf mögliche Praxisrelevanz geprüft werden.

Nachfolgend soll nun das in vorliegender Arbeit entwickelte Lösungskonzept zur (3D-)Visualisierung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen veranschaulicht und der Zusammenhang, der in den folgenden Unterkapiteln erläuterten Einzelkomponenten, aufgezeigt werden. Dabei versteht sich die vorliegende Arbeit als Referenz zum Aufbau eines hochintegrierten Lösungsansatzes.

◦ *Komponenten des Visualisierungskonzeptes VisTree3D*

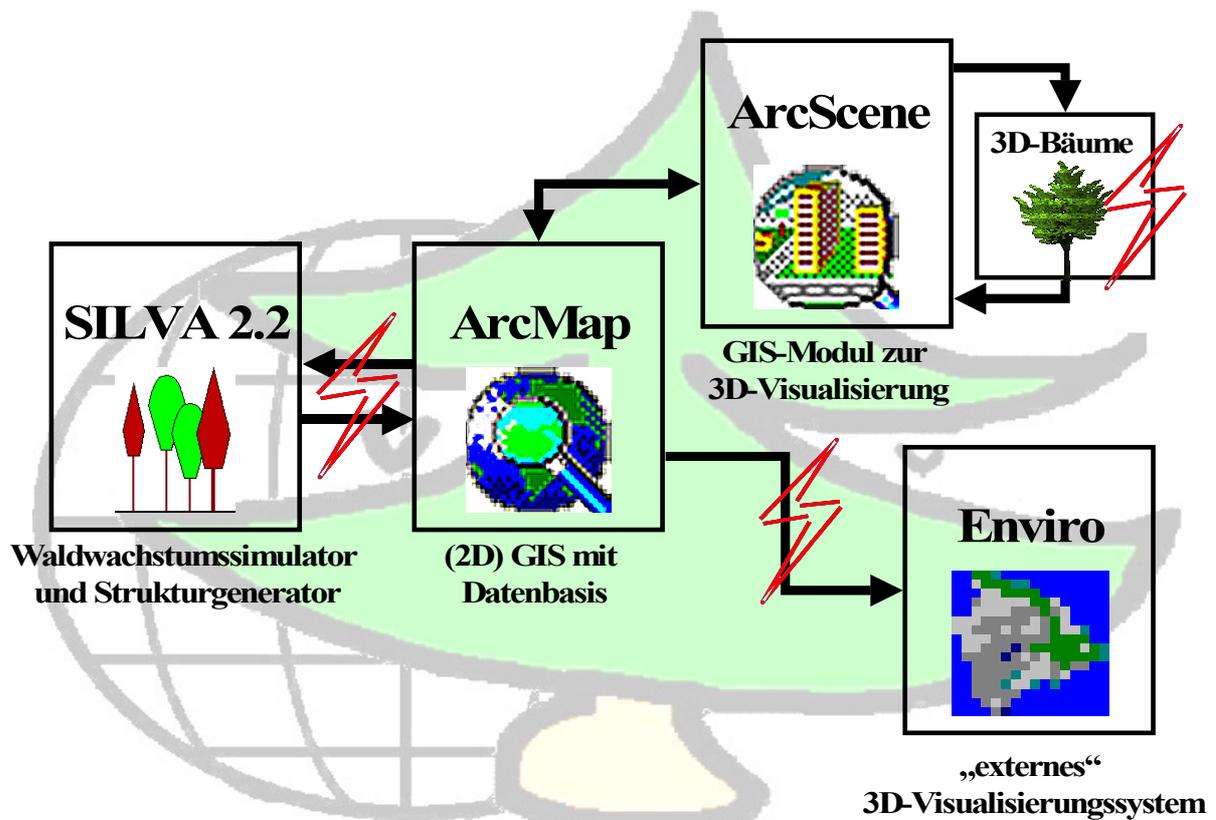


Abb. 32: Modulares Konzept des Lösungsansatzes VisTree3D; Bereiche mit eigener Programmierung sind durch einen roten Blitz gekennzeichnet

Der Lösungsansatz versucht, in einem modularen Konzept, verschiedene Softwareprogramme zu einem System zu verbinden. Abbildung 32 zeigt die vier Softwarepakete, die für den Lösungsansatz herangezogen wurden.

Zentrales Element ist dabei die GIS-Software ArcGIS 8.x. In dieser ist das Modul **ArcMap** die 2D-Komponente, in der die Daten gespeichert, bearbeitet und für die weiteren Arbeitsschritte aufbereitet werden.

Zur Veranschaulichung einzelbaumbezogener Darstellungen oder Waldentwicklungen bedarf es sowohl der Einbindung eines Strukturgenerators (Generierung der einzelbaumbeschreibenden Bestandesstruktur), als auch eines Waldwachstumsgenerators (Aufzeigen der Waldentwicklung). Der hier ausgewiesene Waldwachstumssimulator **SILVA 2.2** verbindet diese beiden Funktionen (Strukturgenerator und Prognosefunktionen).¹

Für den GIS-internen Lösungsansatz wird die 3D-Visualisierung im GIS mit dem optionalen Modul **ArcScene** (Kapitel 4.3.1) durchgeführt. Bei diesem Lösungsansatz kann direkt auf die existierende (vgl. Kapitel 4.2) und die neu erstellte Geodatenbasis zurückgegriffen werden.

¹ Zum Waldwachstumssimulator vgl. Kapitel 4.3.3.

Parallel dazu wurde als externe 3D-Visualisierungsumgebung das Programm **Enviro** aus dem „Virtual Terrain Project“ verwendet (Kapitel 4.3.2). Damit dieses auf die im GIS gespeicherte Datenbasis zurückgreifen kann bzw. das Programm aus dem GIS gesteuert werden kann, ist die Programmierung einer Schnittstelle notwendig (Kapitel 5.3).

◦ ***Einpassen der Module in einen integrativen Lösungsansatz***

Das Programmieren von Schnittstellen ermöglicht das weit gehend automatisierte Zusammenspiel der einzelnen Module, sodass nahezu alles aus der Ausgangsbasis GIS heraus steuerbar ist. Alle Schnittstellen (Interfaces) zwischen den Modulen, die selbst programmiert werden mussten, sind in einem Benutzerdialog zusammengefasst und über diesen zu erreichen.

Die Arbeitsschritte auf, die zur Integration der Module in die Gesamtlösung notwendig sind, können in vier Gebiete unterteilt werden:

1. ArcMap => SILVA => ArcMap

Um ein integratives Lösungskonzept zu erreichen, muss zwischen dem GIS (ArcMap) und dem Waldwachstumssimulator (SILVA) eine enge Interaktion stattfinden, die derzeit noch nicht besteht. Es gilt hier die GIS-Datenbasis möglichst automatisiert für die Prognose in SILVA aufzubereiten und an dieses Programm zu übergeben. Mit dem Interface ist es möglich, die von SILVA benötigten Steuerdateien (für jeden Bestand) zu generieren und die Berechnung des IST-Zustandes bzw. den Start der Prognose auszulösen. Ebenso muss der Output von SILVA wieder in das GIS überführt werden, eine Aufgabe, die ebenfalls mittels Programmierung gelöst wurde (vgl. Kapitel 5.1).

2. (SILVA =>) ArcMap => ArcScene

Der rückgeführte SILVA-Output kann im GIS direkt in 2D genutzt und dargestellt werden. Für eine 3D-Visualisierung sind diese Daten aufzubereiten: So müssen die einzelbaumbasierten Baumlisten, die in SILVA in einem schematischen Blockmodell erstellt werden, in eine den Bestandesgeometrien entsprechende Form überführt werden, eine Aufgabe, die ebenfalls mittels eines neuen Interfaces gelöst wurde (vgl. Kapitel 5.1).

3. ArcScene => 3D-Bäume => ArcScene

Die Darstellung der 3D-Bäume in großer Anzahl warf zunächst Probleme auf, die durch die kreative Implementierung einer geeigneten einzelbaumbasierten Visualisierungstechnik in ArcScene gelöst werden konnte (vgl. Kapitel 5.2.2: „3D-Darstellung der Vegetation mittels X-billboards“) - ein Lösungsansatz, der zur 3D-Baumdarstellung in ArcGIS bis dahin nicht existierte.

4. ArcMap => Enviro

Zur „Kommunikation“ zwischen GIS und Enviro, das heißt zur automatisierten Ansteuerung dieses Programms aus ArcMap heraus, ist die Programmierung eines weiteren Interfaces notwendig, da Enviro von sich aus nicht direkt auf die GIS-Datenbasis (nicht auf das *shapefile*-Format) zugreifen kann (vgl. Kapitel 5.3).

◦ *Optische Aufwertung der 3D-Landschaftsszenen*

Einen notwendigerweise zu untersuchenden Punkt des erarbeiteten Lösungsansatzes stellt die Frage nach dem darzustellenden Inhalt in 3D-Szenen dar. In diesem Lösungsansatz werden bereits bekannte Techniken eingesetzt, um den Wiedererkennungsgrad der 3D-Landschaftsszenen zu erhöhen. Soll eine (3D-)Visualisierung im Bereich der forstlichen Umweltbildung und bei forstlichen partizipativen Planungsansätzen genutzt werden, so sind die Sachverhalte inhaltlich tragfähig, verständlich und glaubwürdig zu veranschaulichen (vgl. Kapitel 1.). Zur Visualisierung des Objektes Wald werden unterschiedliche räumliche Objekte/thematische Ebenen einbezogen (vgl. Kapitel 5.2.3 und 5.3.3). Dabei handelt es sich um die eigentliche Vegetationsebene, eine Geländeebene (Relief) und deren „Oberflächendarstellung“ (Farbe, Textur durch Luft-/Satellitenbild), andere physische, sichtbare Objekte wie Straßen, Stromleitungsnetz und Bauten (Häuser, Brücken, Aussichtstürme, ...) sowie um nicht sichtbare Objekte wie (Verwaltungs-, Besitz-, ...) Grenzen und Schutzgebiete. Somit lässt sich beim Betrachter eine Identifikation mit dem Visualisierungs-Objekt Wald und der Modellierung erzielen und die Akzeptanz für die dargestellten Szenarien erhöhen (Akzeptanz durch Wiedererkennen). Dieser fühlt sich „eingebunden“ und kann das Geschehen in sein Umfeld einordnen.

5.1 GIS-SILVA-Interface

Die Ergebnisse der Forsteinrichtung sind wesentlicher Bestandteil der forstlichen Planung¹ und beschreiben den IST-Zustand der Bestandesstrukturen. Die Daten sind flächenbezogen und lassen sich in ein GIS² einbinden. Dort lassen sich die **Flächeninformationen** mit den bekannten Basisfunktionen eines GIS darstellen.

Möchte man die grobe Flächeninformation feiner auflösen und auf Einzelbaumebene operieren, so bedarf dies der Einbindung eines *Strukturgenerators*, der die Flächeninformation in Einzelbauminformationen umwandeln kann. Möchte man daraufhin Aussagen über die zukünftige Entwicklung der Bestandesstrukturen (Waldstrukturentwicklungen) machen, bedarf es der zusätzlichen Einbindung eines *Waldwachstumssimulators*. Das eingesetzte Programm SILVA 2.2³ kombiniert diese beiden benötigten Programmgruppen, einen Strukturgenerator und einen Waldwachstumssimulator.

Bisher gibt es noch keine automatische Integration von SILVA in ArcGIS. Eine solche besäße für die Praxis einige Vorteile. Zum einen kann dadurch vermieden werden, den Praktikern eine Einarbeitung in SILVA zumuten zu müssen. Zum anderen kann die Bereitstellung der komplexen Eingangs- und Steuerdaten⁴ für SILVA durch die Einbeziehung der in der forstlichen Praxis vorhandenen Daten erheblich erleichtert werden. Der letzte Punkt stellt eine komplexe Aufgabe dar, auf die noch genau eingegangen werden muss.

Die Funktionsweise des erstellten Interface kann wie folgt skizziert werden:

- a) Ausgangslage ist GIS als Träger des flächigen IST-Zustandes. Datenbasis ist die aktuellste Forsteinrichtung (digitale Bestandeskarte und digitales Forsteinrichtungswerk) sowie die digitale Standorts-

¹ Die verfügbare Datengrundlage ist in Kapitel 4.2 beschrieben. Die wesentliche Datenbasis aus dem Bereich der Forstplanung sind die Bestandesgeometrien, das Forsteinrichtungswerk, und Ergebnisse der Betriebsinventur.

² Zum eingesetzten GIS vgl. Kapitel 4.3.1.

³ Zum Waldwachstumssimulator SILVA vgl. Kapitel 4.3.3.

⁴ vgl. Kapitel 4.3.3

- karte, Geländemodell und dessen Ableitungsprodukte und Daten aus der Betriebsinventur 1990.
=> Kapitel 4.2
- b) Erzeugen von Steuerdateien innerhalb von ArcGIS aus der bestehenden Geodatenbasis heraus (über Programmierung) => Kapitel 5.1: „Erstellen der *SILVA*-Steuerdateien“
 - c) externer Start von *SILVA* aus ArcGIS heraus (über Programmierung): Prognose von kleinräumigen Bestandesbildern in *SILVA*; Strukturgenerierung auf Einzelbaumebene und einzelbaum- und flächenbezogene Prognose der Bestandesentwicklung; *SILVA*-Output sind extern speicherbare **Baumlisten** im ASCII-Format¹
 - d) Reimport der *SILVA*-Prognoseergebnisse in das GIS: GIS ist Träger der IST- und der prognostizierten Einzelbaumstruktur und der flächenbezogenen Prognoseergebnisse. Die Rückführung der Prognoseergebnisse erfolgt in das GIS mit einer **Duplikation** der einzelbaumbasierten Ergebnisse auf die Bestandesfläche (Resultat: Kombination der Flächeninformation des GIS mit der „räumlich begrenzten“ aber hoch-aufgelösten einzelbaumbasierten Strukturzeugung und Wachstumssimulation)²

Durch die Verknüpfung von GIS und *SILVA* steht für die Simulation immer eine raumbezogene Datenbasis zur Verfügung. Sowohl die Ausgangsdaten als auch die *SILVA*-Prognose-(Zwischen-) Ergebnisse können jederzeit im GIS mit den dort gängigen Funktionen aufbereitet werden. So können auch die *SILVA*-Prognoseergebnisse nach jedem Prognoselauf aufbereitet werden (z. B. bei einer interaktiven Durchforstung im GIS), bevor sie erneut in *SILVA* eingespeist werden. Ein Interface zwischen der aktuellsten Produktpalette der ESRI-GIS-Programme (ArcGIS 8.x) und dem Waldwachstumssimulator *SILVA* 2.2 war zu Beginn der vorliegenden Arbeit noch nicht vorhanden. Es ist eine der innovativen Leistungen der vorliegenden Arbeit, dass nun eine Referenz für ein **Interface zwischen ArcGIS 8.x und *SILVA* 2.2** existiert.

◦ *GIS-basierte Steuerung von *SILVA**

Der Waldwachstumssimulator *SILVA*³ wird mit der Option der automatisierten Steuerung (*batch*-Modus) eingesetzt, welcher für verschiedene Fortschreibungsarten genutzt werden kann (vgl. Kapitel 4.3.3). Aus den Möglichkeiten, die *SILVA* zur Strukturgenerierung nutzt wird hier die „Stratenweise Fortschreibung von Mittel- und Summenwerten der Forsteinrichtung“⁴ verwendet, da sich die Bestandesmittelwerte aus der gegebenen forstlichen GIS-Datenbasis ableiten lassen und die Ergebnisdaten hiervon für die weitere Nutzung im forstlichen Einsatzbereich besonders geeignet sind.

SILVA greift unter diesen Voraussetzungen für die Strukturgenerierung und die Prognose auf sieben Steuerdateien im ASCII-Format zurück, in denen eine definierte Mindestinformation enthalten und diese Information auf eine bestimmte Art und Weise angeordnet sein muss.⁵ Es handelt sich dabei um mehr als 90 Parameter, die zugeordnet werden müssen. Ein Großteil dieser Parameter kann über konstante Werte festgelegt werden. Ein weiterer Teil wird aus den Geodaten abgeleitet und einige Parameter müssen noch explizit vom Benutzer erfragt werden.

Um den Waldwachstumssimulator direkt aus dem GIS ansteuern zu können, ist es notwendig, die benötigten Parameter in das Format der Steuerdateien zu überführen, die von *SILVA* lesbar sind.

¹ vgl. Kapitel 5.1: „Start der *SILVA*-Prognose: Start-Makro“

² vgl. Kapitel 5.1: „Rückführung der *SILVA*-Prognoseergebnisse in das GIS“

³ vgl. Kapitel 4.3.3

⁴ vgl. BIBER ET AL. 2000, S. 124

⁵ Die für die automatisierte *SILVA*-Steuerung nach Bestandesmittelwerten notwendigen Steuerdateien sind im Anhang A.5 aufgeführt.

Dazu wurde mit der Programmiersprache VBA ein Interface geschrieben, das die Steuerung von SILVA aus dem GIS heraus ermöglicht.

Die Benutzerschnittstelle des Interfaces ist mit einer Oberfläche versehen, deren Design konzeptionell auf einen minimalen Aufwand während der Eingabe optimiert worden ist. Abbildung 33 zeigt den Hauptdialog zur Steuerung von SILVA aus ArcGIS heraus.

◦ **Erstellen der SILVA-Steuerdateien:**

Die meisten im Dialog integrierten Funktionen dienen der Erstellung der Steuerdateien. Dabei ist der erste Schritt, die Geodaten auszuwählen, welche die zur Erstellung der SILVA-Steuerdateien benötigten Informationen enthalten. Diese Geodaten sind das aktuelle Bestandsthema (Herkunft z. B. aus FOGIS¹), die digitale Standortskarte, das digitale Geländemodell und dessen Ableitungsprodukte „Exposition“ und „Hangneigung“. Nähere Hinweise zu Herkunft und Art der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Geodaten finden sich in Kapitel 4.2.

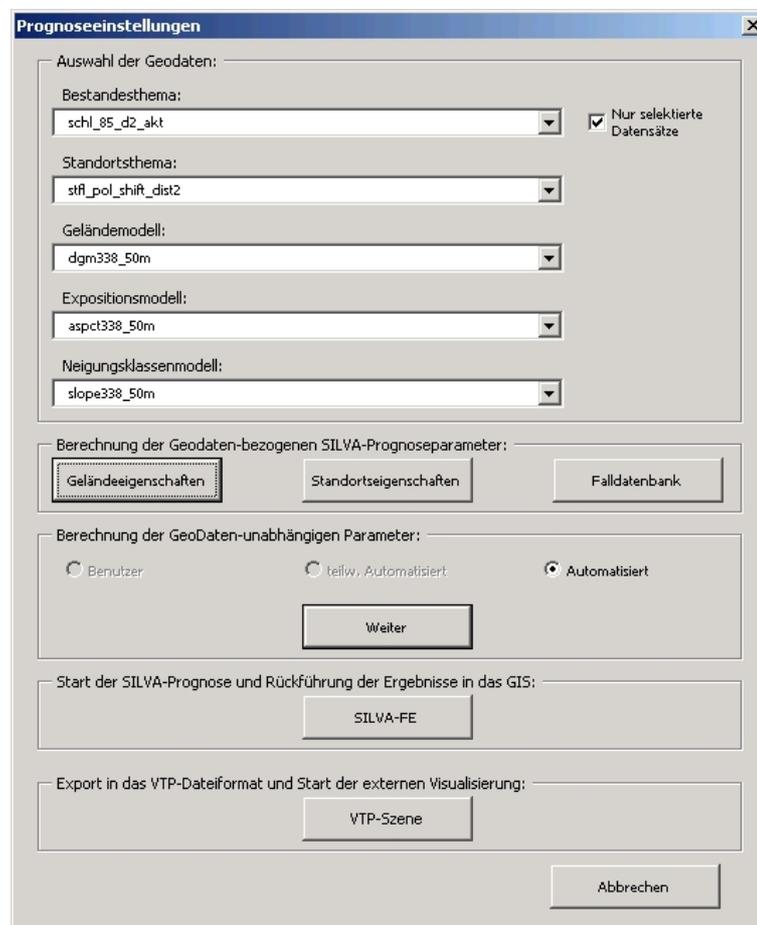


Abb. 33: Programmierter Hauptdialog zur Erstellung der SILVA-Steuerdateien

Aus den gewählten Geodaten werden die jeweiligen von SILVA benötigten Parameter für jeden Bestand separat ermittelt. Dazu sind im Hauptdialog verschiedene Schaltflächen integriert, die nach ihrer Aktivierung die von SILVA benötigten Parameter bestandesweise ermitteln und als Attribute an das Bestandsthema anhängen. Die „Zwischenspeicherung“ bestimmter Informationen im Bestandsthema ist sinnvoll, da bei einer Änderung der Informationen aus nur einer Geodatenbasis,

¹ Forstliches Geografisches Informationssystem (FOGIS) der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg

z. B. aus der digitalen Standortskarte, auch nur diese aktualisiert werden muss. Die restlichen Informationen sind in dem Bestandesthema gespeichert und müssen nicht noch einmal errechnet werden.

◦ *Stratifizierung und Bildung baumartenspezifischer Mittelwerte*

Aus den Daten der Forsteinrichtung wurden die meisten von SILVA benötigten bestandesrelevanten Informationen abgeleitet. Ein Problem besteht bezüglich einiger baumartenspezifischer Informationen. Diese werden nur für eine geringe Anzahl von Beständen während der periodischen Forsteinrichtung erhoben. In Bezug auf die von SILVA benötigten Parameter betrifft dies den **Durchmesser** und die **Höhe des Grundflächenmittelstamms** und **eine** der beiden Größen **Grundfläche pro ha** (in m² je ha) bzw. **Stammzahl pro ha** (in Stück je ha). In der vorliegenden Arbeit wurde dieses Problem durch Integration von Auswertungen der Betriebsinventur (BI) gelöst, auf die zurückgegriffen werden konnte.¹ Um die Auswertungen mit den Bestandesdaten (aus Forsteinrichtung) verbinden zu können, ist es notwendig, die Bestandesdaten entsprechend den BI-Daten zu stratifizieren. Hierzu werden

- 1) der Waldentwicklungstyp,
- 2) die Standortsgüte und
- 3) die zonale Gliederung (Höhenstufen)

herangezogen.²

Für die vorliegenden Forsteinrichtungsdaten werden die Bestandestypen in Waldentwicklungstypen umgewandelt. Um den Übergang von Bestandestypen, die in den zur Verfügung stehenden Forsteinrichtungsdaten verwendet werden, auf (regionale) Waldentwicklungstypen zu ermöglichen, greift das GIS-SILVA-Interface (s. o.) auf eine Schlüsseldatei im Textformat zurück.³ In dieser kann sowohl eine Zuordnung der Bestandestypen zu einem (regionalen) WET vorgenommen werden, als auch die Kennzahlen auf die Bedingungen der zukünftigen Verwendung der (regionalen) Waldentwicklungstypen hin angepasst werden.

Um einer Bestandesgeometrie die jeweilige Standortseinheit zuzuordnen zu können, werden die durch das GIS zur Verfügung gestellten Verschneidungsoptionen eingesetzt. Hierbei werden die Bestandesgeometrien mit denen aus der digitalen Standortskarte verschnitten und die Sachinformationen (wie die Standortseinheit) aus der Standortskarte in das Bestandesgeometriethema übertragen. Dabei tritt das Problem auf, dass es sich hierbei um zwei Flächengrößen mit abweichenden Grenzlinien handelt. Als Resultat können mehrere Standortseinheiten je Bestandesfläche auftreten. SILVA benötigt für die Simulation allerdings genau einen Wert je Bestand. Von daher wurde für das Interface ein VBA-Makro geschrieben, das für jeden Bestand diejenige Standortseinheit auswählt, die in diesem den größten Flächenanteil einnimmt. Um das System offen zu halten und der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Bewertung der Standortseinheit regional erfolgen muss, greift das Makro auf eine Standortsigeldatei im Textformat zurück, die jederzeit entsprechend den regionalen Gegebenheiten angepasst werden kann.⁴ In dieser Datei wird jeder Standortseinheit eine Kennzahl für die korrespondierende **Bodenfrische** und eine für das **Nährstoffangebot** im Boden zugeordnet. Diese bei-

¹ Zur Problematik der Stratifizierung und der zur Verfügung stehenden BI-Auswertungen vgl. Kapitel 4.4.

² vgl. Kapitel 4.4

³ Beispiel einer „Schlüsseldatei für die Waldentwicklungstypen“ im Anhang A.6.

⁴ Beispiel einer Standortsigeldatei im Anhang A.7.

den Kennzahlen sind für die SILVA-Steuerung notwendig. Außerdem wird aus diesen auch die **Standortsgüte** je Standortseinheit abgeleitet, die für die Stratenbildung notwendig ist. Die Einordnung der Standortsgüte erfolgt nach **gut, mittel** und **schlecht**.

Die **Höhenstufe** je Bestand wird auch aus der digitalen Standortskarte abgeleitet. Das zu diesem Zweck im Interface integrierte VBA-Makro ermittelt für jeden Bestandesmittelpunkt den Wert der korrespondierenden „überdeckenden“ Standortseinheit.

Das **Resultat** ist für jeden Bestand eine Zuordnung zu einem (regionalen) Waldentwicklungstyp, einer Standortseinheitengruppe und einer Höhenstufe.

Alle Ergebniswerte der vorgenannten Stratifizierungsschritte werden im Bestandesthema numerisch codiert als Attributwerte angehängt. Aus den drei Werten „Waldentwicklungstyp“, „Standortsgüte“ und „Höhenstufe“ wird ein eindeutiger Schlüsselwert erstellt, über den die Verknüpfung zwischen Bestandesthema (Forsteinrichtungsdaten) und BI-Tabelle (in der dieser Code auch hergeleitet wurde) hergestellt werden kann. Für jedes BI-Stratum liegen die benötigten Mittelwerte, getrennt nach Baumart und Altersstufe, in einer Liste im dBase-Format vor. Diese wird in das GIS eingebunden und dazu genutzt, die „fehlenden“ baumartenbezogenen Mittelwerte (s. o.) in der Forsteinrichtungstabelle zu ergänzen.

◦ *Dialog zur Eingabe benutzerdefinierter SILVA-Prognoseparameter*

Einige zur SILVA-Steuerung notwendige Parameter lassen sich weder aus der Geodatenbasis, noch über Konstanten festlegen. Für diese ist ein Benutzereingriff notwendig. Im programmierten GIS-SILVA-Interface ist zu diesem Zweck ein eigener Unterdialog integriert worden (Abbildung 34).

Abb. 34: Programmierter Dialog zur Eingabe benutzerdefinierter SILVA-Parameter

Im Bereich „Standort“ sind Angaben zum Detailgrad der von SILVA zu verwendenden Standortinformationen und dem Wuchsbezirk zu machen. In der Standortauswahl enthält die Auswahlliste derzeit nur die Option „2: grob“. Die Auswahl wurde auf diesen Eintrag beschränkt, da bei Tests die weiteren von SILVA zur Verfügung gestellten Detailgrade keine wesentlich besseren Prognoseergebnisse erbrachten, demgegenüber aber wesentlich mehr Eingaben von Benutzerseite erfordern würden. Die Auswahl des Wuchsbezirkes greift auf eine dynamisch geladene Schlüsseldatei¹ zurück. Diese Datei liegt in Textform vor und lässt sich mit jedem beliebigen Editor um weitere Wuchsgebiete ergänzen. Da das Untersuchungsgebiet der vorliegenden Arbeit im Südschwarzwald liegt, ist dieser Wuchsbezirk in der aktuellen Version des GIS-SILVA-Interfaces beim Öffnen des Dialogs für die benutzerdefinierte Parametereingabe voreingestellt.

Im mittleren Teil des Unterdialogs können Einstellungen zur Durchforstungsart gemacht werden.

„Die automatisierte Form von SILVA bietet zusätzliche Durchforstungsoptionen, die in der interaktiven Version nicht enthalten sind. Möchte man einen Bestand, ein Stratum oder einen Probepunkt durchforsten, besteht die Möglichkeit, drei verschiedene Behandlungsphasen über den gesamten Prognosezeitraum auszuscheiden. Die Grenzen dieser Phasen werden mit Hilfe der Oberhöhe der Hauptbaumart festgelegt. [Diese können im Bereich „Bestandesspezifische Einstellungen“ des Benutzerdialoges entsprechend eingestellt werden, Anmerk. d. Verf.] Diese Oberhöhen-Grenzen sind vom Benutzer ebenso frei wählbar wie die Behandlung innerhalb der drei Phasen. So kann der Benutzer in Abhängigkeit von der Bestandesentwicklung unterschiedliche Maßnahmen definieren, ohne die Simulation unterbrechen und interaktiv die Durchforstungs- (*.dfo) und Prognosedatei (*.pgn) manipulieren zu müssen, was natürlich auch möglich ist [...].“²

Die restlichen Einstelloptionen sind für den Nutzer selbsterklärend. Im Dialogbereich „Baumartenspezifische Einstellungen“ müssen die Angaben für jede im Untersuchungsgebiet vorkommende Baumart getrennt vorgenommen werden. Eine Liste der „erlaubten“ Baumarten ist im Feld „Baumart“ hinterlegt. Die jeweils gewünschte Baumart ist in dieser Auswahlliste (Combobox) zu selektieren und die Angabe von „Anzahl Z“, „Ziel-BHD“ und „Ziel-Prozent“ für jede vorkommende Baumart zu wiederholen. Alle vorgenommenen Einstellungen werden im Bestandesthema als Attributwerte gespeichert.

◦ *Start der SILVA-Prognose: Start-Makro*

Die eigentliche Generierung der Steuerdateien wird durch Betätigen des Schalters „SILVA-FE“ im Hauptdialog (Abbildung 33) angestoßen. SILVA startet im automatisierten Modus (*batch*-Modus). Man kann den Verlauf der Prognose am Bildschirm verfolgen. Es läuft ein Start-Makro ab, welches eine weitere Steuerdatei einbezieht bzw. fehlende Konstanten auf SILVA-Standardwerte setzt.

Die Forstverwaltungen in den verschiedenen Bundesländern schreiben in der Forsteinrichtung unterschiedliche Kodierungen für die Baumarten vor. Und auch in SILVA wird eine SILVA-interne **Baumartenkodierung** verwendet. Um auf die unterschiedlichen Kodierungen reagieren zu können, verwendet das Start-Makro des GIS-SILVA-Interfaces auch für diesen Fall eine Schlüsseldatei im Textformat. Diese muss vom Benutzer entsprechend dem Beispiel in Anhang A.8 erzeugt werden.

¹ Es handelt sich hierbei um die Datei „wbez.txt“ aus dem SILVA-Installationsunterordner „Standort“.

² BIBER ET AL. 2000, S. 124f.

Dabei ist auf eine Anpassung der Baumartenkodierung entsprechend der landesspezifischen Kodierung zu achten. Der Speicherort der Schlüsseldatei ist im Abfragedialog des Interfaces anzugeben. Nach dieser letzten Angabe werden die SILVA-Steuerdateien generiert. Dabei werden auch die konstanten Werte, die „*hardcodiert*“ im VBA-Code festgelegt sind, hinzugefügt.

Außer den eigentlichen Prognosedateien wird durch das Start-VBA-Makro auch die SILVA-Konfigurationsdatei (*.kfg) angelegt.¹ In dieser sind Anweisungen für den Betrieb von SILVA im *batch*-Modus enthalten. Darunter finden sich sowohl Angaben zum Speicherort der notwendigen Steuerdateien als auch Anweisungen, welche Prognoseergebnisse berechnet werden sollen. In der momentanen Form des GIS-SILVA-Interfaces werden alle möglichen Prognoseergebnisse berechnet, es wird also keine Einschränkung vorgenommen, was die Prognoseberechnung verlangsamt.

Dies kann durch die Änderung der eben genannten Konfigurationsdatei vor Bestätigung der SILVA-Start-Abfrage (Abbildung 35) verhindert werden. Dabei dürfen die beiden auf „1“ gesetzten Einträge unter „[Baumliste speichern]“ nicht verändert werden. Diese beiden Parameter geben an, dass bei der SILVA-Prognose sowohl eine Baumliste für den Ausgangszustand der Bestandesstruktur vor der eigentlichen Prognose, als auch eine Liste für die Prognoseergebnisse erzeugt werden soll. Diese beiden Baumlisten sind die Voraussetzung für den weiteren automatisierten Ablauf des GIS-SILVA-Interfaces und bilden die Basis für 3D-Visualisierungen auf Einzelbaumebene.



Abb. 35: Dialog zur Bestätigung des Prognosestarts

◦ *Rückführung der SILVA-Prognoseergebnisse in das GIS:*

SILVA erzeugt verschiedene Ausgabedateien, die nach Beendigung der Prognose zur Verfügung stehen. Die meisten der Ergebnisdateien enthalten **flächenbezogene Mittelwerte** auf Baumartenebene. Sie lassen sich in drei Gruppen unter den Schlagworten **Ökonomie**, **Ökologie** und **Naturalproduktion** einteilen. Zur ersten Gruppe gehören Angaben zu den **holzerntefreien Erlösen** (je Baumart für verschiedene Sortierungen in Euro/ha)², über **Sorten** (Holzvolumen je Baumart und Sorte) und zum **Umsatz** (je Baumart für verschiedene Sortierungen in Euro/ha). In der Gruppe **Ökologie** finden sich verschiedene Indices, beispielsweise der Shannon- und Artprofil-Index, sowie Stabilitätsweiser und Durchmesserdifferenzierungen. In der Gruppe **Naturalproduktion** finden sich schließlich baumartenspezifische Mittelwerte wie Stammzahl je ha, Durchmesser und Höhe des Grundflächenmittelstamms und Angaben über den ausscheidenden Bestand.³ Die Angaben werden dabei auf verschiedenen Bezugsflächen (wie absolute Flächengröße oder je ha) berechnet und unterschiedlich fein klassifiziert. Alle Ergebnisdateien liegen im Textformat vor und lassen sich als solche direkt in das GIS einladen und über ein gemeinsames Schlüsselfeld mit dem Ausgangs-Bestandes-thema verknüpfen.⁴ Das jeweilige Schlüsselfeld entspricht einer eindeutigen Bestandes-ID, die als

¹ vgl. Beispiel-Konfigurationsdatei im Anhang A.5

² Die Erträge werden in der vorliegenden Version von SILVA noch nicht in € ausgegeben.

³ vgl. BIBER ET AL. 2000, S. 124f.

⁴ Die Verknüpfung im GIS erfolgt über die bekannten GIS-Funktionen *link* bzw. *join*.

Forst_ID¹ mit an die SILVA-Prognose übergeben wird. Diese ID taucht auch in den Ergebnisdateien wieder auf. Wichtig ist, dass die Bestandes-ID/Forst_ID genau zehn Zeichen lang ist, da sonst die SILVA-Prognose mit Fehlermeldungen abgebrochen wird.²

Eine der SILVA-Ausgabedateien ist für das weitere Vorgehen in der vorliegenden Arbeit von Interesse: die Ausgabe von (Einzel-)Baumlisten. Vor der eigentlichen Prognose werden die o. g. Mittelwerte durch den SILVA-internen Strukturgenerator STRUGEN³ in Einzelbauminformationen umgesetzt. Dabei wird ein quadratisches, kartesisches System mit dem Flächen-Bezugspunkt im Ursprung (0, 0) als Grundlage genommen. Bezogen auf den Nullpunkt werden nun Einzelbäume entsprechend den Mittelwerten auf der Fläche verteilt. Für jeden „gesetzten“ Baum werden dabei folgende Merkmalsausprägungen errechnet: eine eindeutige **Baumnummer**, die **Baumart**, der Brusthöhendurchmesser (**BHD**), die Baumhöhe (**H**), der Kronenansatzpunkt (**KRA**), der Kronendurchmesser (**KD**), die Stammfußkoordinaten (**X**, **Y**), eine Ausscheidungskennung (**KENN**) und eine Mortalitätskennziffer (**MORT**). Die resultierende Baumliste stellt den „**IST-Zustand**“ der Bestandesfläche auf Einzelbaumebene dar und dient als Grundlage für die SILVA-Prognose der Strukturentwicklung.

Der „IST-Zustand“ befindet sich zusammen mit den wichtigsten Prognoseeinstellungen in einem Baumlistentyp des SILVA-Outputs. Das Format dieses Baumlistentyps (mit der Endung *.slv) entspricht dem Eingabeformat auf Einzelbaumebene der interaktiven SILVA-Version. Die SLV-Dateien können dadurch, alternativ zu der zuvor erzeugten Steuerdatei auf Bestandesmittelwert-Ebene, als Ausgangspunkt für die SILVA-Prognose genutzt werden. Wichtig für den späteren Reimport der Baumlisten ist die in dieser Datei gespeicherte Information über die **Seitenlängen des Stammfuß-Koordinatensystems**.

Der zweite Baumlistentyp (Endung *.lst) enthält die eigentliche prognostizierte Einzelbaumentwicklung. Für jeden prognostizierten Bestand findet sich eine Ergebnisdatei, in der sämtliche Baumlisten für die verschiedenen Prognoseschritte aneinander gehängt sind. In diesem Baumlistentyp findet ebenfalls der „IST-Zustand“ wieder.

◦ *Anpassen der SILVA-Baumlisten auf die „reale“ Bestandesgeometrie:*

Wie schon zuvor erwähnt, beziehen sich die durch den SILVA-internen Strukturgenerator aus Mittelwerten erzeugten Baumlisten immer auf ein eigenes quadratisches, kartesisches System. Dieses **Stammfuß-Koordinatensystem** hat eine Ausdehnung von maximal 100 x 100 m. Die Bestandesinformation im GIS ist aber auf „reale“ Gauß-Krüger-Koordinaten bezogen. Außerdem weicht die reale Bestandesgeometrie deutlich von einer rechteckigen Form ab und die Bestandesfläche ist im Allgemeinen deutlich größer als ein Hektar.⁴ Somit ist bei einem Reimport der Baumlisten in das GIS sowohl der Bezugspunkt der Stammfußpunkte (durch Translation) als auch die Geometrie des Bezugssystems an die realen Bestandesausprägungen anzupassen.

¹ vgl. „Steuerdatei (*.str)“ im Anhang A.5 und die Empfehlungen in BIBER ET AL. 2000, S. 141

² Eine Vereinfachung für die Anbindung dieser flächenbezogenen Mittelwerte bestünde in der Organisation in einer Datenbank. Die Daten wären dort leichter zu verwalten und es wäre nicht notwendig, alle Einzel-Ergebnisdateien getrennt in das GIS einzuladen. Gewünschte Abfragen könnten gezielt an die Datenbank gerichtet werden, um dann nur die Abfrageergebnisse in das GIS einzubinden, was zu einer wesentlich höheren Übersichtlichkeit führen würde. Da der Schwerpunkt der Arbeit nicht bei der flächenbezogenen Anbindung liegt, wird dieser Ansatz nicht weiter verfolgt.

³ vgl. PRETZSCH 1993

⁴ In Baden-Württemberg kann man von einer durchschnittlichen Bestandesgröße von rund 3 ha ausgehen.

Der Reimport schließt sich unmittelbar an den o. g. „Start der SILVA Prognose“ an. Das dazu im GIS-SILVA-Interface implementierte VBA-Makro erfüllt dabei folgende Funktionen:

- 1) Ermitteln der Minimum- und Maximum-Gauß-Krüger-Koordinaten für jeden Einzelbestand
- 2) Bilden des geografischen Bezugspunktes jedes Einzelbestandes
- 3) Verschieben (Translation) der SILVA-Stammfußkoordinaten in den Gauß-Krüger-Koordinatenbereich des jeweiligen Bestands
- 4) Ermitteln der Seitenlängen des Stammfuß-Koordinatensystems der SILVA-Baumliste
- 5) Duplizieren der Stammfußkoordinaten durch Addition der Seitenlängen aus 4. zum Auffüllen der Bestandes-*boundary*-Fläche
- 6) Selektion der neuen Baumstandpunkte die in der tatsächlichen Bestandesgeometrie liegen und Verwerfen der „überstehenden“ Baumstandpunkte
- 7) Erzeugen eines *shapefiles* für die resultierende Baumliste

Das Makro errechnet zunächst für jeden prognostizierten Bestand eine *boundary-box*. Dabei handelt es sich um eine rechteckige Umgrenzungsfläche, die die Bestandesfläche in ihren jeweiligen Minimum- und Maximumwerten berührt (Abbildung 36). Die „linke, untere“ Ecke der *boundary-box* (gebildet aus den Minimumwerten in X- und Y-Richtung) wird mit dem Ursprung des „lokalen“ Bestandes-Koordinatensystems aus SILVA gleichgesetzt. Dadurch kann dieser Punkt des SILVA-Ergebnisses - als **geografischer Bezugspunkt** der Bestandesfläche - mit „realen“ Gauß-Krüger-Koordinaten versehen werden.

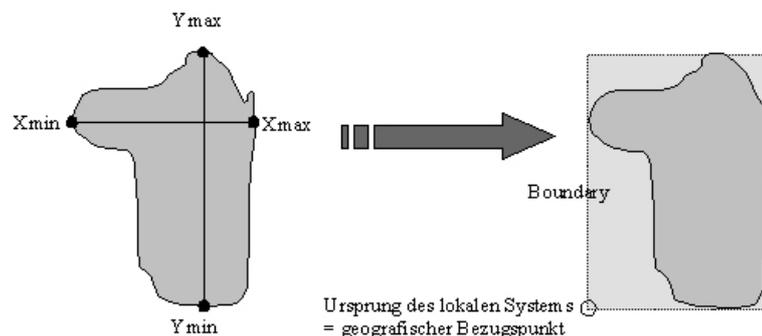


Abb. 36: *boundary* eines Bestandes

Träger der Bestandesstruktur auf Einzelbaumebene einschließlich der prognostizierten Entwicklung sind die SILVA-Baumlisten mit der Endung *.lst. In diesen Listen werden in einem nächsten Schritt für jeden Einzelbestand zu den jeweiligen Baumstammfuß-Koordinaten die Koordinaten des geografischen Bezugspunktes der jeweiligen Bestandesfläche hinzuaddiert (Abbildung 37). Eine VBA-Routine überprüft hierbei, ob sich der resultierende Baumstandpunkt innerhalb der *boundary-box* befindet. Sollte dieses Kriterium erfüllt sein, wird geprüft, ob sich der resultierende Baumstandpunkt auch innerhalb der Bestandesgeometrie befindet. Sollte auch dieses Kriterium erfüllt sein, so wird der Baumstandpunkt in die Einzelbaumliste des jeweiligen Bestands aufgenommen.

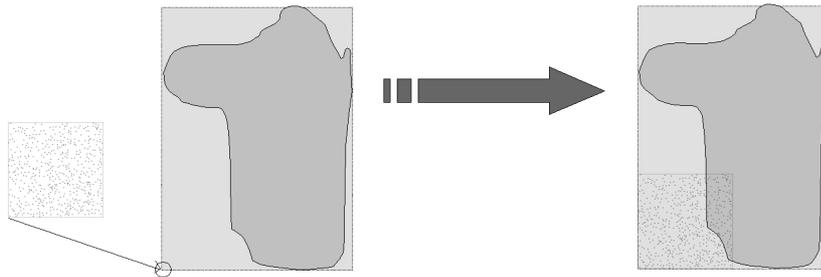


Abb. 37: Verschieben der SILVA Stammfußkoordinaten in den Gauß-Krüger-Koordinatenbereich des Bestands

Um nun die Bestandesfläche zu füllen, wird jeder verschobene Baumstandpunkt der ursprünglichen SILVA-Baumliste mehrfach dupliziert. Dazu werden die Seitenlängen in X- und Y-Richtung des ursprünglichen, durch SILVA erzeugten Stammfuß-Koordinatensystems ermittelt (gespeichert in der Baumliste mit der Endung *.slv). In dem VBA-Makro ist eine Schleife programmiert, die zu jedem Baumstandpunkt so lange die Seitenlänge in der X-Dimension hinzuaddiert, bis der resultierende Wert außerhalb der Bestandes-*boundary* liegt. Für den verschobenen Ausgangsbaum und jeden seiner duplizierten Punkte wird dann die Seitenlänge in Y-Dimension hinzuaddiert, bis die resultierenden Werte wiederum außerhalb der Bestandes-*boundary* liegen (Abbildung 38).

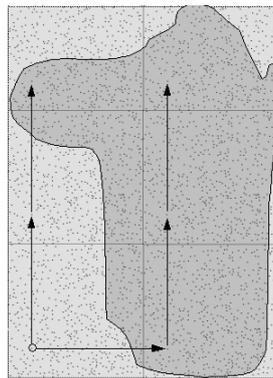


Abb. 38: Duplizierung der SILVA-Stammfußkoordinaten zum Füllen der Bestandes-*boundary*

Auch für jeden in der Schleife produzierten Baumstandpunkt wird geprüft, ob er sich innerhalb der Bestandesgeometrie befindet. Nur wenn auch dieses Kriterium zutrifft, wird er in die endgültige Einzelbaumliste des jeweiligen Bestands aufgenommen (Abbildung 39). Das genannte Vorgehen wird für alle Stammfuß-Koordinaten aus sämtlichen Prognoseperioden innerhalb der einzelnen Baumlisten durchgeführt. Die resultierende Baumliste wird abschließend in das Geo-Dateiformat „*shapefile*“ umgewandelt. Ergebnis ist ein *shapefile*, welches für jeden einzelnen Bestand alle neu verteilten Baumstandorte für sämtliche Prognoseperioden enthält. Die unterschiedlichen Prognosephasen lassen sich über GIS-Filterabfragen getrennt voneinander darstellen und auswerten.

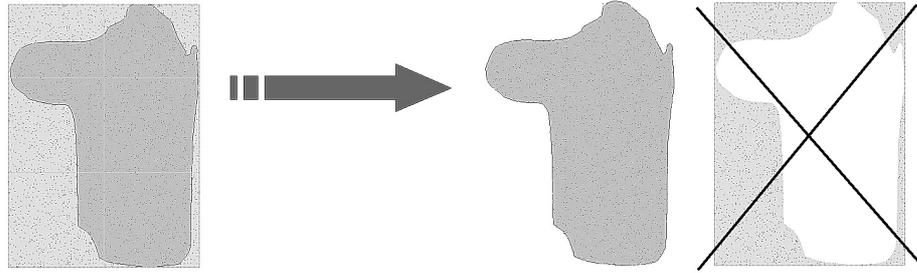


Abb. 39: Verwerfen der Baumstandpunkte, die außerhalb der Bestandesgeometrie liegen

Der programmierte VBA-Code für die Translation, Duplizierung und die Überprüfung, ob der jeweilige Baumstandort innerhalb der Bestandesgeometrie liegt, befindet sich in Anhang A.9.

Die reimportierten Prognoseergebnisse lassen sich mit den Basisfunktionen des GIS weiterverarbeiten und darstellen. Dieser Tatbestand ist für die forstliche Planung, z. B. zur Risikoanalyse verschiedener Behandlungsvarianten sehr wichtig.

5.2 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und ihrer Entwicklung auf der Basis von GIS

Hauptziel der Arbeit ist zu überprüfen, inwieweit Geografische Informationssysteme für die 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und ihrer Entwicklung einsetzbar sind.¹ In diesem Kapitel soll nun gezeigt werden, welche Ansätze in der vorliegenden Arbeit entwickelt und geprüft wurden, um eine realitätsnahe Darstellung einer großräumigen Landschaftsszene mit GIS zu verwirklichen. Besonderes Augenmerk soll hierbei auf die Waldvegetation gelegt werden. Es soll gezeigt werden, dass diese mit GIS sowohl in ihrer Entwicklung dargestellt werden als auch in ihre anthropogene Umwelt eingebettet werden kann. Durch die nachfolgend aufgeführten Lösungsvorschläge ist es nun erstmals möglich, auch größere Landschaftsausschnitte mit einem Standard-GIS (ArcGIS 8.x) auf Einzelbaumebene zu visualisieren. **Dies wird möglich durch die in der vorliegenden Arbeit geleistete Übertragung der (Ressourcen schonenden) *billboard*-Technik mittels *MultiPatches*.**

5.2.1 3D-Geländedarstellung

Das Fundament für jede realitätsnahe, naturraumbezogene 3D-Visualisierung ist ein digitales Geländemodell (DGM). Als Träger der Höheninformation und für die eigentliche 3D-Darstellung im GIS wurde auf das Geländemodell im TIN-Format² zurückgegriffen. Dieses eignet sich besser als ein GRID für die Darstellung einer komplexen, hochintegrierten 3D-Szene, da es lokal angepasst und unregelmäßig verteilt werden kann und auf Grund der Speicherart auch bei einer hohen Geländeauflosung nur wenig Speicherplatz belegt.³

¹ vgl. „Zielsetzung“ in Kapitel 1.

² Zum TIN vgl. Kapitel 4.2.2.

³ Die Vorteile der Verwendung eines TIN sind in Kapitel 4.2.2 aufgeführt.

Die Darstellung der Geländehöhen (des Reliefs) führt noch zu keiner besonders hohen Realitätsnähe, das Wiedererkennen der Landschaft wird erst durch die Einbeziehung von Texturen wesentlich erleichtert. Hierzu stellt die Einbeziehung von Fernerkundungsdaten ein effektives Verfahren dar. In den Modellen des Untersuchungsgebietes wurde ein Fusionsbild¹ aus Landsat-5-TM und IRS-1c über das digitale Geländemodell gelegt (Abbildung 40). Diese Darstellung vermittelt einen sehr realistischen Eindruck aus mittlerer und größerer Distanz. Aus der Vogelperspektive erhält man einen realitätsnahen (bildhaften) Eindruck des darzustellenden Gebietes und es ist eine großflächigere Orientierung im Gelände möglich.

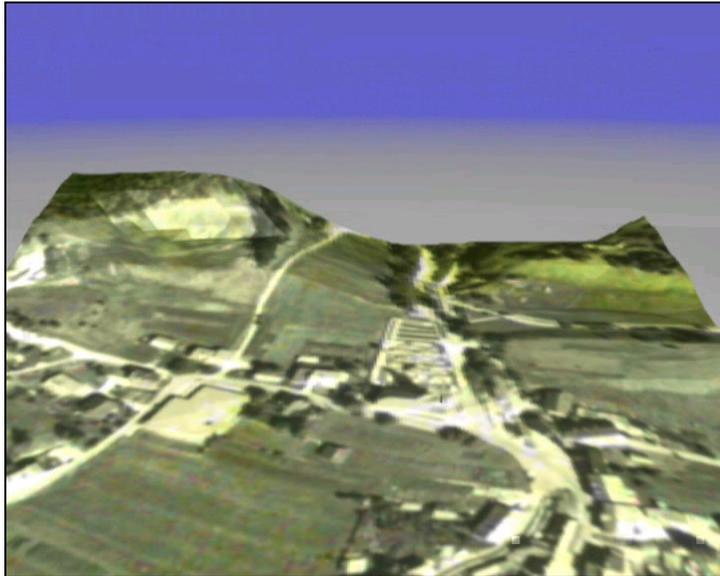


Abb. 40: TIN mit überlagertem Fusionsbild

5.2.2 3D-Darstellung der Waldstrukturen innerhalb von GIS

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der dreidimensionalen Visualisierung der SILVA-Prognoseergebnisse.² Hier wird nun vorgestellt, welcher neue Weg durch eigene Programmierungen beschritten worden ist. Durch Übertragung der *X-billboard*-Technik auf das zu Grunde liegende GIS, wird die Einzelbaum-basierte Vegetationsdarstellung in diesem entscheidend erweitert.

◦ *3D-Darstellung der Vegetation mittels X-billboards (gelöst durch Multipatches)*

Eine Erweiterung zur Darstellung von *X-billboard*-Bäumen innerhalb von ArcGIS ist in der standardmäßigen Installation des „ArcObjects Developer Kit“ enthalten.³ Diese Erweiterung ist für die Darstellung einer großen Anzahl von Einzelbäumen nicht geeignet, da die Art und Weise, wie die Einzelbäume bei diesem Lösungsansatz gespeichert und verwaltet werden, ineffektiv ist:

¹ Zum Fusionsbild vgl. Kapitel 4.2.1.

² Die grundlegenden 3D-Visualisierungstechniken zur Darstellung der Vegetation werden ausführlich in Kapitel 3.3 vorgestellt.

³ Bei der Standardinstallation von ArcGIS findet sich die Erweiterung „PlantTreeTool.dll“ im Ordner C:\arcgis\arcexe82\ArcObjects Developer Kit\Samples\3D Analyst\3D Visualization\Plant_Trees.

Alle Einzelbäume werden als Grafikelemente erzeugt und in einem Grafikkontainer der jeweiligen Projektdatei gespeichert. Im Vergleich zur Speicherung als *shapefile* birgt dies Nachteile

- a) bei der genutzten Speicherkapazität: Alle Bäume werden mit der Projektdatei gespeichert, statt nur den Verweis auf das jeweilige *shapefile* zu speichern. Das bedeutet, dass bei der Generierung von mehreren tausend Bäumen die Speichergröße der Projektdatei auf mehrere hundert Megabyte anwachsen kann.
- b) bei der Ladegeschwindigkeit der Projektdatei: Alle Einzelbäume müssen gleich beim Start wieder hergestellt werden.
- c) in der Darstellungsgeschwindigkeit: Alle Einzelbäume werden unabhängig vom Beobachterstandort immer im Speicher gehalten.
- d) und in der Manipulation und dem Auffinden der Einzelbäume: Grafikelemente stehen „losgelöst“ im Raum und es ist nachträglich kein Bezug mehr herstellbar, da man an Grafikelemente keine Sachinformation über Attribute anhängen kann.

Als Fazit lässt sich sagen, dass sich diese freie Erweiterung nicht dazu eignet, große Landschaftsausschnitte mit einer großen Anzahl an Einzelbäumen zu generieren.

Daher wurde in der vorliegenden Arbeit ein neuer Ansatz entwickelt. Bei diesem werden die *billboards* nicht als Grafikelemente erzeugt, sondern als Geodatasets (*shapefiles*). Dies hat den Vorteil, dass die Baumdaten effizienter gespeichert, schneller ge- bzw. entladen und nicht benötigte Baumlisten ausgeblendet werden können. Außerdem können bei dieser Speicherform Attribute mit jedem einzelnen *billboard* gespeichert werden, was die Auffindbarkeit und Manipulation der Einzelbaumdaten sowie einzelbaumbezogene Analysen ermöglicht. Des Weiteren, und dies ist der entscheidende Vorteil gegenüber der Speicherung als Grafikelemente, lässt sich der Bedarf an (Arbeits-) Speicher leichter verwalten. Dies betrifft vor allem die benötigten Ressourcen bei der 3D-Visualisierung.

Die benötigten Baumlisten liefern die SILVA-Prognosen. Nach dem (Re-)Import in das GIS liegen diese als Punkte-*shapefile* vor.¹ Die Stammfußkoordinaten der Einzelbäume im Bestand werden während dieses Vorganges in Punktegeometrien umgesetzt. Alle weiteren Baumbeschreibungsparameter der SILVA-Baumlisten sind als Attribute an diese Punkte-*shapefiles* angehängt. Darunter finden sich alle notwendigen Parameter, um die *billboard*-Geometrie zu generieren und die geeigneten Baumtexturbilder zuzuordnen zu können. Die Parameter zum Generieren der *billboard*-Geometrie sind die Baumhöhe und der Kronendurchmesser. Für die Zuordnung der Baumtextur eignen sich die enthaltenen Parameter Baumart, BHD, das Kronenprozent (Verhältnis der Kronenlänge [Differenz zwischen Baumhöhe und Kronenansatzpunkt] zur Baumhöhe) oder eine beliebige Kombination dieser Werte.

Das Hauptproblem bei der Erstellung der *billboards* ist die Schwierigkeit, Bildtexturen auf senkrecht stehende Polygone (bzw. PolygonZ) zu bringen. Diese werden nicht korrekt dargestellt, sobald die Polygone senkrecht auf der Erdoberfläche stehende Objekte repräsentieren; die Textur erscheint komplett schwarz.

Die Lösung dieses Problems wurde durch die Einbeziehung des (eher unbekanntenen) Geometrietyps „*MultiPatch*“² erzielt. *MultiPatches* lassen sich innerhalb des GIS nur durch Programmierung gene-

¹ Zum Reimport der Baumlisten vgl. Kapitel 5.1.

² Zur Definition von *MultiPatches* vgl. Kapitel 4.5.1.

rieren. Sie können als *X-billboard*¹ verwendet werden, da sie - im Gegensatz zu den Geometrietypen Polygon bzw. PolygonZ - die Fähigkeit besitzen, zusammen mit den Raumkoordinaten (X, Y und Z) jedes Geometriepunktes noch weitere Werte speichern zu können. Hierzu nutzt dieser Geometrietyp einen „Container“, den *measure*-(M)-Wert. In diesem können Texturkoordinaten gespeichert werden, über die die Lagebeziehung eines Texturbildes zum *MultiPatch* festgelegt werden kann. Erst hierdurch wird erstmalig in ArcGIS die Verwendung von Bildtexturen auf einer senkrechten Fläche möglich. Die technische Grundlage zur Texturierung, das *texture mapping*, ist in Kapitel 4.5.3 erläutert.

Um nun die *X-billboards* im GIS durch *MultiPatches* nachzubilden, wurde ein VBA-Makro programmiert, welches die Attributwerte Baumhöhe und Kronenbreite in der Ausdehnung des *X-billboard*-Rahmens umsetzt. Dabei werden je Einzelbaum zwei Rahmen erzeugt, die über Kreuz ineinander gestellt werden. Diese lassen sich bei der Verwendung von *MultiPatches* in nur einem Datensatz speichern. Der Vorteil hierbei ist, dass nicht mehrere Datensätze manuell ausgewählt werden müssen, um alle zu einem *X-billboard* gehörenden Flächen zu erfassen und zu bearbeiten.

Da die Baumtexturbilder entsprechend vorbereitet worden sind, ist eine einfache Zuweisung der Texturkoordinaten der Bildtexturen zu den *X-billboard*-Rahmen möglich:

Die Texturbilder sind nicht verzerrt und in ihrer Größe optimiert. Der Baumstamm ist zentral in der Textur und der Baum nimmt den maximal möglichen Raum in dem Texturbild ein. Die Bildtexturen sind immer in ihrer vollen Breite und Höhe zu verwenden. Die Eckpunkte der Bildtexturen entsprechen also genau den Eckpunkten der *billboard*-Rahmen. Über das VBA-Makro, das für die Umwandlung der reimportierten Baumstandpunkte in repräsentative *MultiPatches* geschrieben wurde, werden folglich bei jedem Rahmen eines *billboards* der unteren linken Ecke die Texturkoordinaten 0, 0, der unteren rechten Ecke 1, 0, der oberen linken Ecke 0, 1 und schließlich der oberen rechten Ecke 1, 1 zugeordnet (Abbildung 41). Die Texturkoordinaten werden gemeinsam mit den Rahmeneckpunkten in der so genannten M-Komponente des *MultiPatches* gespeichert. Neben den Geometrie- und Texturinformationen fügt das VBA-Skript auch die „Original-Attribute“ aus den SILVA-Baumlisten an die erzeugten *MultiPatch-X-billboard*-Geometrie-Dateien an. Diese bieten sich für Analysen an und sind auch für die eigentliche Zuordnung der Baumtexturen notwendig.²

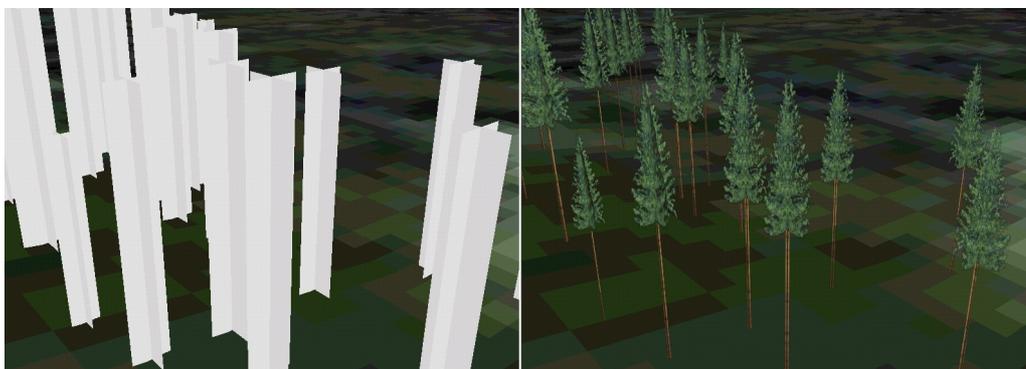


Abb. 41: Zuweisung von aufbereiteten Bildtexturen zu *MultiPatches*

¹ vgl. Kapitel 3.3.5

² Ein Auszug aus dem VBA-Makro findet sich in Anhang A.10.

Die eigentliche Zuordnung der Texturbilder erfolgt über den internen Symboleditor. Die Auswahl der jeweils geeigneten Textur kann dabei nach einer Vielzahl von Kriterien über Klassifikation im Symboleditor nach den durch SILVA erzeugten Attributen erfolgen.

Für den speziellen Anwendungsfall, die Darstellung von Baumstandpunkten mittels *X-billboards*, wurde ein Baumtexturkatalog aufgebaut, der für die wichtigsten Baumarten nach dem Entwicklungszustand klassifizierte Baumbilder enthält. Die Zuordnung erfolgt in dem Symboleditor über die Attribute „Baumart“ und „Baumhöhe“. Abbildung 42 zeigt eine resultierende 3D-Szene unter Verwendung der zuvor beschriebenen *X-billboard*-Technik, die innerhalb der GIS-Umgebung neu ist.

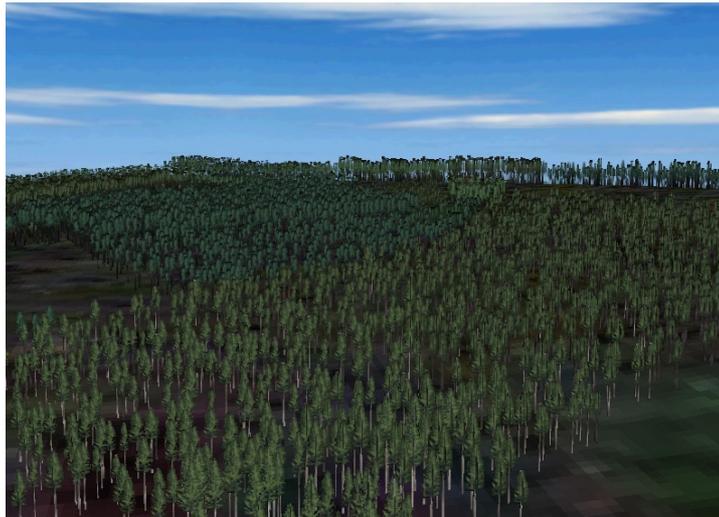


Abb. 42: 3D-GIS-Szene mit einer Vegetationsdarstellung auf Einzelbaumebene über *X-billboards*

Bei allen Vegetations-Darstellungsformen innerhalb des GIS bleiben die GIS-typischen Funktionen, z. B. zum Auffinden definierter Bestände (Baumart, Alter), erhalten. Hierzu werden die „2D-Themen“, die Träger der gesuchten Information sind (Bestandsthema oder Einzelbaumthemen), mit in die 3D-Szene geladen. Diese „2D-Themen“ müssen dazu nicht angezeigt werden. Trotzdem kann zu den durch solche Abfragen gefundenen Beständen navigiert werden.

5.2.3 3D-Darstellung anthropogener Landschaftsmerkmale

Anthropogene Landschaftsmerkmale dienen der besseren Orientierung und sind damit für Anwendungszwecke im Bereich der partizipativen Planung und der Umweltbildung wichtige Bestandteile. Hierdurch lässt sich für diesen das Geschehen auf dem Monitor, die gezeigten Waldstrukturen, leichter in seine reale Umwelt einordnen. Um den Wiedererkennungsgrad der 3D-Szene zu erhöhen und dem Betrachter die räumliche Einordnung der Waldbestände in die von ihm (besser) bekannte „anthropogene Umwelt“ zu ermöglichen, wurden noch weitere thematische Ebenen mit in die 3D-Szene integriert:

- 1) Das Wegenetz,
- 2) komplette Gebäudeblockmodelle (Abbildung 43) sowohl der Stadt Schluchsee, als auch der weiteren im Untersuchungsgebiet liegenden Gebäude,

- 3) ein Modell des Riesenbühlturns als markantem Geländepunkt (Abbildung 46),
- 4) sowie das Modell eines Zeppelins als „auflockerndes“ Gestaltungselement.¹

◦ **ad 1) Wegenetz**

Die Wege lassen sich mit Texturen entsprechend ihrer Kategorie darstellen. Bei der Verwendung der Standard-Symbolpalette des GIS wirken die so präparierten Wegedaten auf den Betrachter allerdings nicht besonders realitätsnah. Die Palette des GIS ist eher auf eine abstrakte Repräsentation der Klassen als auf eine realitätsnahe Wiedergabe der Wege optimiert. Unter Umständen führt die Verwendung eigener Fototexturen zu einem besseren Ergebnis. Für die reine Visualisierung der Wegeinformation ist es allerdings nicht unbedingt notwendig, diese über die Vektordaten darzustellen. Bei Vorliegen eines Fernerkundungs-Rasterdatensatzes mit hoher Auflösung sind die Wege in diesem auch sehr gut zu erkennen. Diese Darstellung kann ausreichen, da die Wege und Straßen im Allgemeinen flach auf der Erdoberfläche liegen. Eine Einbindung als Vektordatensatz ist dann interessant, wenn die Wegeverteilung visualisiert werden soll (möglicherweise auch die Verteilung der unterschiedlichen Wegekategorien), oder wenn auf Attribute der Wege z. B. für Analysen zurückgegriffen werden soll.

◦ **ad 2) Gebäude**

Die Gebäude-Klötzchenmodelle wurden auf der Grundlage von ALK-Daten² erstellt. Diese enthalten in der Rohform keine Höheninformationen; es handelt sich um „flache“ 2D-Daten. Durch entsprechende Attributierung ist es aber dennoch möglich, sie im GIS in 3D darzustellen. ArcScene bietet die Möglichkeit der *Extrusion*³. Dabei kann entweder ein konstanter Höhenwert für alle Objekte angegeben, oder aber ein beliebiges numerisches Attributfeld definiert werden. Der Höhenwert kann weiterhin über Rechenoperationen angepasst werden:

Im konkreten Beispiel wurde ein Feld mit der Anzahl an Stockwerken definiert. Diese entsprechen nicht realen, gemessenen Werten.⁴ Da an dieser Stelle nur das Vorgehen veranschaulicht werden soll, wurde der pragmatische Weg beschritten, den Gebäuden entsprechend ihrer Kategorie (die in den ALK-Daten vorhanden ist) realitätsnahe Werte zuzuordnen. So wurde beispielsweise den Wohnhäusern über eine Zufallsfunktion⁵ des GIS eine Stockwerkszahl zwischen zwei und fünf zugeordnet. Zusätzlich wurde noch ein Feld angelegt, in dem die Höhe der Stockwerke eingetragen ist. Diese kann für jedes Gebäudeobjekt separat festgelegt werden, im konkreten Beispiel wurde sie aber einheitlich auf drei Meter festgelegt. Die eigentliche Gebäudehöhe wurde daran anschließend durch Multiplikation der neu angelegten Felder „stockwerke“ (Anzahl der Stockwerke) und „stockwerk_h“ (Höhe der Stockwerke) errechnet. Das Ergebnis ist in Abbildung 43 zu sehen.

¹ Zur Herkunft der Daten vgl. Kapitel 4.2.2.

² vgl. Tabelle 5

³ Die Methode der Extrusion ist in Kapitel 4.5.2 erläutert.

⁴ Die realen Gebäudehöhen lassen sich beispielsweise aus terrestrischen oder auch aus fotogrammetrischen Messungen ermitteln.

⁵ In ArcView 3.x kann im „Field calculator“ mit der Funktion „Number.Random(min, max)“ gearbeitet werden.

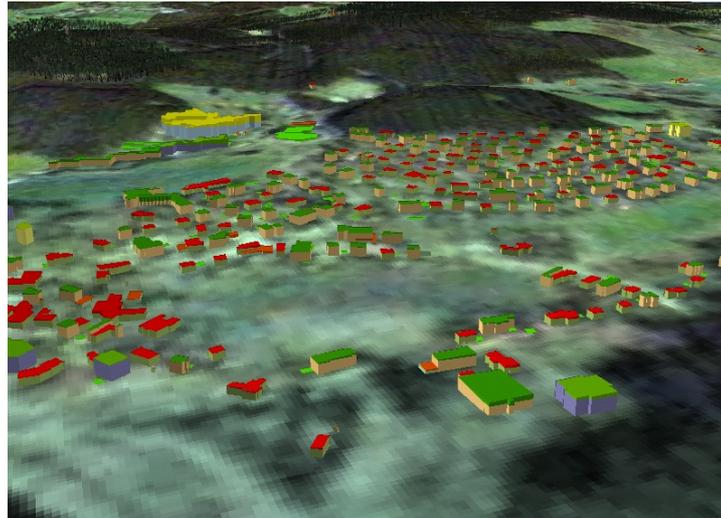


Abb. 43: Blockmodell der Stadt Schluchsee erstellt aus ALK-Grunddaten

Testweise wurden die Gebäudedaten neben der zuvor genannten Darstellung als Klötzchenmodell im *shapefile*-Format zusätzlich auch in das TIN eingerechnet und dann mit dem Fusionsbild überlagert dargestellt. Dadurch kann dem Effekt des „Schwebens“ bzw. „Einsinkens“ der 3D-Gebäude Modelle über dem bzw. in das Gelände bei der späteren 3D-Präsentation, entgegengewirkt werden.¹

Abbildung 44 zeigt links das „unbehandelte“ TIN und die Gebäudegrundrissflächen auf der errechneten Mittelhöhe. Im rechten Teil der Abbildung sieht man das Resultat der Integration der Grundrissflächen in das TIN.

Für diesen Bearbeitungsschritt wurde ein Skript² in AVENUE programmiert, das die Höhe über NN für jeden Gebäudemittelpunkt auf Grundlage des TIN errechnet und als Attribut anhängt. Auf Grundlage dieses Attributwertes können dann die Gebäudegrundrissflächen mit konstanter Höhe in das TIN eingerechnet werden (*hard replace polygon*). Zu diesem Zweck wurde für den Mittelpunkt des jeweiligen Grundrisses die Höhe über NN aus dem TIN abgeleitet und als Attribut in dem Grundrissthema gespeichert. Dieses Vorgehen wurde innerhalb von ArcView vor der Verfügbarkeit von ArcGIS mit AVENUE umgesetzt. Die Funktionalität des AVENUE-Skripts ließe sich aber genauso mit der Programmiersprache VBA umsetzen. Bevor das Skript ablaufen kann, ist es notwendig, die Erweiterung „3D-Analyst“ in ArcView einzuladen. Diese enthält die Funktionen, die das TIN betreffen.

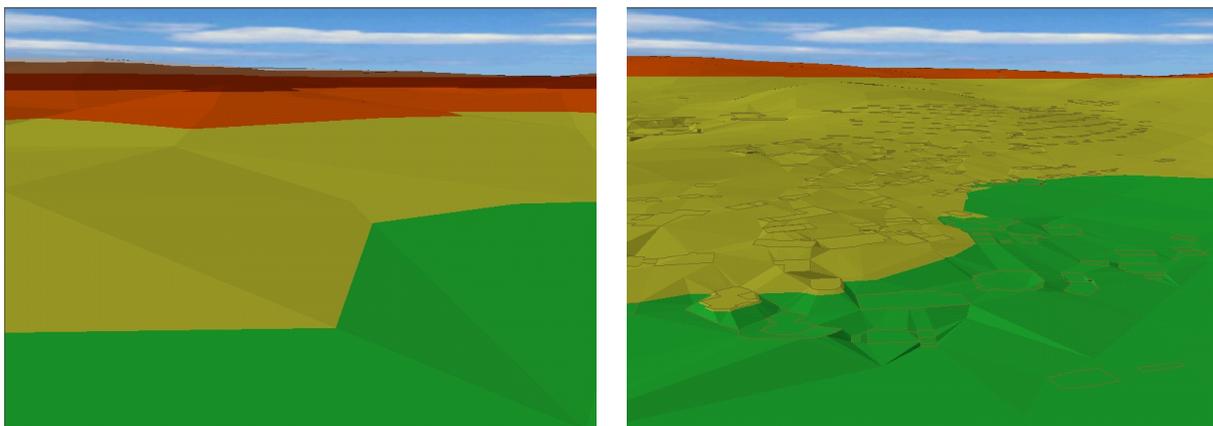


Abb. 44: Darstellung des TINs vor (links) und nach (rechts) der Einbeziehung der Gebäudegrundrissgeometrien

¹ Das Phänomen des „Schwebens“ bzw. „Einsinkens“ von Objekten in das Gelände ist in Kapitel 4.2.2 erläutert.

² Das AVENUE-Skript zum Ermitteln der Gebäudebasishöhe findet sich in Anhang A.4

Das AVENUE-Skript erzeugt zwei neue Felder in dem Grundriss-Geodatenatz. Dabei handelt es sich zum einen um die interpolierte Höhe über NN (Feld „HNN“) und zum anderen um ein Feld, das die Gesamthöhe des Gebäudes über NN enthält (Feld „TopHeight“). Letzteres kann nur angelegt werden, wenn jeweils Attribute vorliegen, die die Anzahl der Stockwerke des jeweiligen Gebäudes (Feld „stockwerke“) bzw. die jeweilige Höhe der Stockwerke (Feld „stockw_h“) beschreiben. Aus den dort eingetragenen Werten wird zunächst die Gebäudehöhe ermittelt, die anschließend zu der Höhe über NN des „Fundamentes“ hinzuaddiert wird, um die Gesamthöhe des „Gebäudefirstes“ über NN zu ermitteln.

Das Einrechnen der Gebäudegrundrisse in das TIN kann mit dem vorbereiteten Grundrissthema sowohl in ArcView als auch in ArcGIS vorgenommen werden. Dazu ist eine Lizenz des jeweiligen optionalen 3D-Moduls¹ notwendig. Sind die Grundrissgeometrien im TIN implementiert, lassen sich die 3D-Modelle der Gebäude aufsetzen, ohne dass es zu den o. g. unerwünschten Effekten des Einsinkens bzw. Schwebens kommt.

Es wird zusätzlich zur mittleren Geländehöhe der Gebäudegrundrisse, wie bereits erwähnt, auch die Gesamthöhe der Gebäude über NN errechnet². Die Gebäudegeometrien lassen sich dadurch auch als 3D-Körper mit in das TIN integrieren, anstatt sie als 3D-Körper auf das TIN zu setzen. Um das zu erreichen, wird das TIN nach der Einrechnung der Grundrissdaten in eine neue Datei kopiert, in die dann zusätzlich noch die Gesamthöhe der Gebäude über NN eingerechnet wird.

Der Effekt ist ähnlich gut wie bei der einfachen Blockmodell-Darstellung, ließe sich jedoch durch die Überlagerung mit Farbluftbildern in hoher Auflösung weiter aufbessern, sollten diese vorliegen.

Der Vorteil der Integration der Gebäude in das TIN, gegenüber der Gebäudedarstellung als separatem Vektordatenatz, liegt in der Erweiterung der Analysemöglichkeiten des so aufbereiteten TINs. Bei Analysen können nun auch die Gebäudeformen berücksichtigt werden. Da die Gebäude im Allgemeinen starre, feststehende Objekte sind, kann dies sehr sinnvoll sein, um so z. B. bei Sichtbarkeitsanalysen auch die Abschirmung durch die Gebäude berechnen zu können.

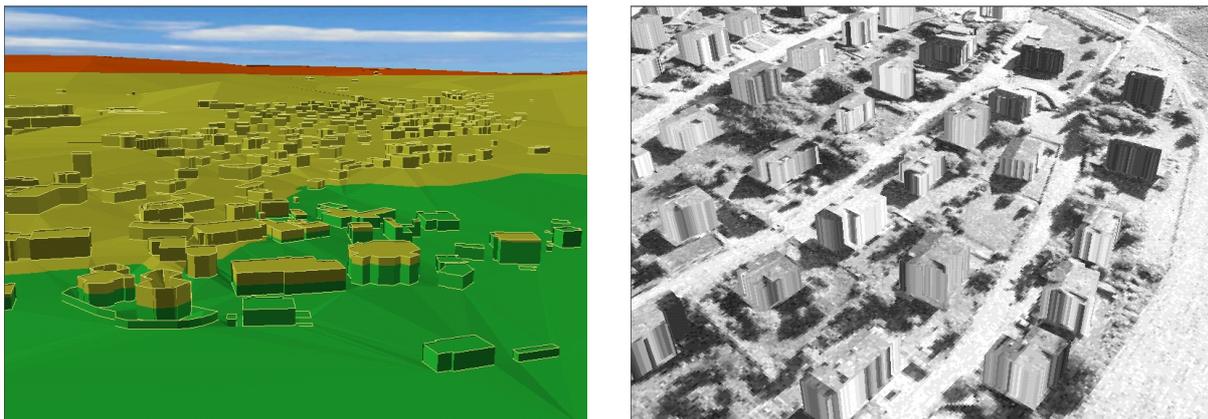


Abb. 45: TIN mit eingerechneten Gebäudestrukturen (links ohne, daneben mit Oberflächentexturbild).

¹ 3D-Analyst unter ArcView bzw. ArcScene unter ArcGIS

² wiederum über das programmierte AVENUE-Script

◦ **ad 3) Riesenbühlurm**

Das Modell des Riesenbühlurms wurde mit einer Spezialsoftware¹ aus Digitalfotografien des Originalturms erstellt. Im GIS lassen sich die Fototexturen des Originalmodells nicht ohne weiteres nutzen. Hier wäre die Umwandlung in das *MultiPatch*-Format sowie die aufwändige Zuordnung der Texturkoordinaten über Programmierung erforderlich,² da das *MultiPatch*-Format derzeit das einzige GeofORMAT in ArcScene ist, bei dem (annähernd) senkrecht zur Erdoberfläche stehenden Flächen Fototexturen zugeordnet werden können. Dieses Vorgehen ist in diesem Fall zu aufwändig, daher wurde das Modell in der Modellierungssoftware in das 3D-Austauschformat DXF exportiert. Dabei ist darauf zu achten, dass das Modell entsprechend dem gewünschten Endergebnis gedreht und skaliert wird. Durch diese Schritte ist die sich anschließende Einbindung in die 3D-Szene des GIS einfach.

Es genügt die Erstellung eines *worldfiles*³ entsprechend den Vorgaben von ArcScene, das dem 3D-Modell zugeordnet wird. In diesem kann auf eine aufwändige 2-Punkt-Koordinatentransformation verzichtet werden, wenn, wie zuvor beschrieben, das Modell schon korrekt skaliert und gedreht ist. Benennt man das *worldfile* wie das DXF-Modell⁴ und legt es im gleichen Verzeichnis ab, so wird es automatisch beim Einladen des 3D-Modells berücksichtigt. Die Höhe über NN muss noch aus dem digitalen Geländemodell abgegriffen werden, welche im einfachsten Fall mit dem GIS-internen „Infotool“ nach „Anklicken“ des digitalen Geländemodells am Ziel-Standpunkt des 3D-Modells abgelesen werden kann. Den ermittelten Höhenwert trägt man in den Eigenschaften des 3D-Modells unter „Offset“ (Dialog „Base hight“) ein. Sind alle Einstellungen vorgenommen, erscheint das Modell korrekt auf dem Gelände liegend in der 3D-Szene (Abbildung 46).

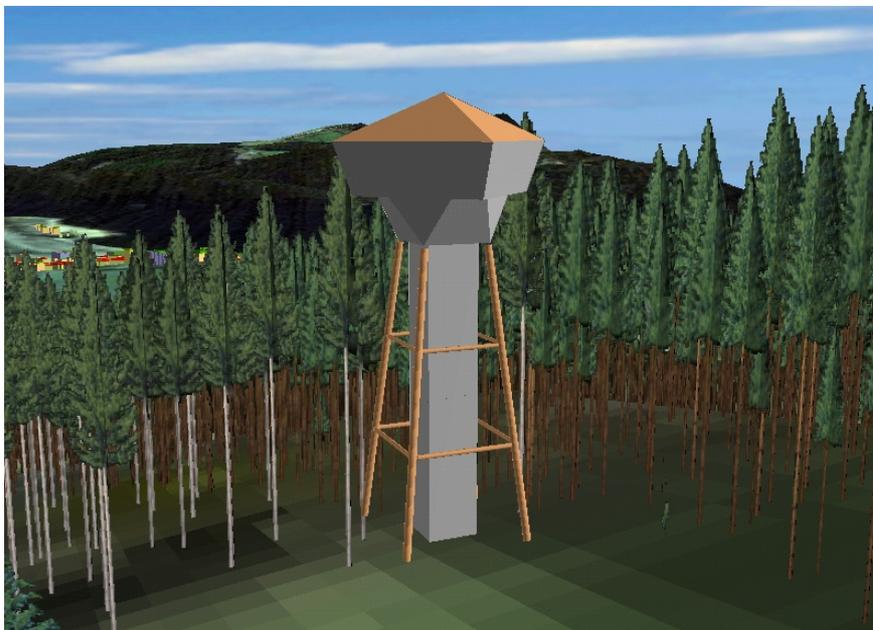


Abb. 46: 3D-Modell des Riesenbühlurms

¹ PhotoModeler, vgl. Kapitel 4.3.5

² vgl. Kapitel 5.2.2

³ Ein *worldfile* ist eine Textdatei (Endung *.wld), die die korrekte Georeferenzierung eines CAD-Modells im GIS ermöglicht. Die Zeile im konkreten *worldfile* für das Riesenbühlmodell lautet: 0.0,0.0 440028.00,5299583.00.

⁴ aber mit der Endung *.wld

◦ *ad 4) Zeppelin*

Auch das 3D-Modell des Zeppelins wurde im DXF-Format¹ in das GIS geladen und über ein *world-file* korrekt platziert. Wichtig war hierbei, zusätzlich zu der Höhe über NN des Ziel-Standpunktes einen *offset* über der Geländehöhe zu berücksichtigen, da das Modell über dem Erdboden schweben soll (Abbildung 47).



Abb. 47: 3D-Modell eines „schwebenden“ Zeppelins in der 3D-GIS-Szene

5.2.4 Weitere Möglichkeiten zur Aufwertung der visuellen Darstellung im GIS

Die entstandene 3D-Szene lässt sich durch eine Vielzahl weiterer Effekte bereichern, wodurch die Darstellung optisch aufgewertet bzw. variiert werden kann. Im GIS geschieht dies über manche der zahlreichen Erweiterungen, die entweder mit der Software installiert oder auf der Herstellerseite² zum kostenlosen Download angeboten werden. In der vorliegenden Arbeit wurden die folgenden Erweiterungen genutzt, um die erstellten 3D-Szenen aufzuwerten:³

- die Erweiterung „Scene Backdrop“ um einen Himmel für die 3D-Szene zu erzeugen (Abbildung 48),
- die Erweiterung „Scene Fog And Haze“ um Nebel und Dunst zu simulieren (Abbildung 49),
- die Erweiterung „Exploding Layers“ um Bewegung in der 3D-Szene zu suggerieren (fliegender Zeppelin Abbildung 50) und

Es sind noch eine Vielzahl weiterer Erweiterungen denkbar, die je nach Zielsetzung aus der großen Palette, der bereits vorliegenden ausgewählt oder aber selbst entwickelt werden müssen. Dabei muss

¹ Die notwendige Konvertierung in das DXF-Format wurde mit AccuTrans 3D vorgenommen (vgl. Kapitel 4.3.5).

² vgl. online unter der URL <<http://arcscrips.esri.com/>> bzw. <<http://arcobjectsonline.esri.com/>> in der Rubrik „Samples“ (13.03.2003)

³ Alle hier gezeigten Erweiterungen stammen von der ESRI-Developer-Site online unter der URL <<http://arcobjectsonline.esri.com/>> in der Rubrik „Samples“ (13.03.2003).

grundsätzlich zwischen Erweiterungen unterschieden werden, die die Realitätsnähe der 3D-Szene erhöhen, und solchen, die die Interaktionsmöglichkeiten steigern sollen.



Abb. 48: Himmel im 3D-GIS



Abb. 49: Nebel und Dunst im 3D-GIS



Abb. 50: Bewegung von 3D-Objekten im 3D-GIS

5.2.5 Möglichkeiten der GIS-gestützten 3D-Darstellung von Waldstrukturentwicklungen

Die Darstellung von Waldstrukturentwicklungen lässt sich im GIS sehr gut lösen, wenn man die verschiedenen Vegetations-Entwicklungsschritte erst einmal als separate Geodatensätze erstellt hat.¹ Das Hauptproblem dabei ist, dass unter Umständen eine sehr große Anzahl an Vegetationsdateien entsteht, da für jeden Bestand und jede Periode eine separate Vegetationsdatei erzeugt wird. Diese

¹ vgl. Kapitel 5.2.2

lassen sich außerhalb eines GIS nur sehr schwer organisieren. Im GIS ist dies aber kein Problem, ist doch die Organisation von Geodaten eine seiner herausragenden Funktionen. So können in ArcGIS beliebige thematische Layer in Gruppen („groups“) zusammengefasst werden. Bei der Organisation der Vegetations-Layer im aktuellen Projekt wurden alle Bestände einer Periode in einer Gruppe organisiert. Dies hat den Vorteil, dass bei bestimmten Manipulationen nicht alle Layer einzeln bearbeitet werden müssen: Es kann ausreichen, nur auf den übergeordneten „Group-Layer“ zuzugreifen, die Änderungen werden dann auf alle Gruppen-Mitglieder übertragen. So ist es z. B. möglich, alle Layer einer Gruppe gleichzeitig ein- und auszuschalten. So lassen sich die unterschiedlichen Entwicklungszustände (bei Organisation der Einzelbestände der jeweiligen Periode in Gruppen) wechselseitig an- und ausschalten. Die Entwicklung der Waldstrukturen kann durch dieses manuelle wechselseitige Ein- und Ausblenden gezeigt werden.

Vereinfachen und optimieren lässt sich dieses Vorgehen durch eine neue, optionale Programm-Erweiterung ab ArcScene 8.2: „*ArcScene Animation*“¹. Diese Erweiterung erlaubt das automatisierte Durchschalten durch die verschiedenen Gruppen-Layer und somit durch die unterschiedlichen Entwicklungszustände (Perioden). Die Erweiterung kann gleichzeitig dazu genutzt werden, „virtuelle Flüge“ und Animationen zu generieren. Dabei liegt der Vorteil in dem dynamischen Ansatz, der mit der Erweiterung verfolgt wird. Statt „starre“ (statische) Videos zu erzeugen, wie dies typischerweise bei der Generierung von *FlightThrougs* mit den meisten Visualisierungsprogrammen vollzogen wird, wird mit der vorgenannten Erweiterung die eigentliche GIS-3D-Szene „gesteuert“. So lassen sich jederzeit Änderungen an der Animation vornehmen (Flugpunkte lassen sich anpassen, Layer hinzufügen oder entfernen), ohne dass für die angepasste Version ein neuer Film „gerendert“ werden muss. Gerade bei *live*-Vorführungen (z. B. bei Diskussionen im partizipativen Planungsbereich) ist die Einsparung der *render*-Zeit von großem Vorteil.

Eine weitere Dimension erhält die animierte Visualisierung der Waldstrukturentwicklungen durch Einbeziehung der bereits in Kapitel 5.2.4 genannten 3D-Beschriftung. Auch diese lässt sich über die Zeit animieren. Für die verschiedenen Entwicklungsstufen wurden in der vorliegenden Arbeit die zugehörigen Jahreszahlen als 3D-Schriftzüge in die 3D-Szene aufgenommen und mit Ein- und Ausblenden der jeweils zugehörigen Vegetations-Layer ausgewechselt. Das zu Grunde liegende Konzept lässt sich aus der ESRI-Bespielerweiterung „Group Animation Labeler“² ersehen.

Im GIS ist es neben der reinen Darstellung der „visuellen Entwicklung“ auch möglich, die Prognoseergebnisse im zeitlichen Verlauf zu analysieren und die Analyseergebnisse darzustellen. Auch dies ist eine Form der Darstellung der Waldstrukturentwicklungen. Im einfachsten Fall erfolgt dies durch die Auswertung der Bestandesmittelwerte, die sich bei den SILVA-Prognoseläufen³ ergeben. So lassen sich Bestände nach den neuen Kriterien, die sich erst aus der Prognose ergeben, aufsuchen und analysieren (z. B. „Welche Bestände haben im Jahr 2020 nach 7 Prognoseschritten eine bestimmte Struktur?“). Ein weiterer Punkt ist die statistische Auswertung der unterschiedlichen prognostizierten Entwicklungszustände. Ein Beispiel hierfür ist die Auswertung der Volumenentwicklung der verschiedenen Bestände entsprechend der Prognoseergebnisse, die sich dann als Diagramm oder Tabelle im GIS darstellen lässt (Abbildung 51).

¹ Diese Erweiterung wird seit der Version 8.2 standardmäßig mit ArcScene ausgeliefert.

² Quelle der Erweiterung ist die ESRI-Developer-Site online unter der URL <<http://arcobjectsonline.esri.com/>> in der Rubrik „Samples“ (13.03.2003).

³ vgl. Kapitel 5.1



Abb. 51: Darstellung der Waldentwicklung im 3D-GIS (oben IST-Zustand, in der Mitte nach 40 J. und unten nach 100 J.)

5.2.6 Präsentationsmöglichkeiten im GIS

Gerade für die Bereiche der partizipativen Planung und der Umweltbildung sind die Präsentationsmöglichkeiten eines Visualisierungsmoduls von großer Bedeutung. Die Ausführungen in diesem Kapitel überschneiden sich daher z. T. naturgemäß mit denen des vorangegangenen Kapitels - ist doch gerade das Veranschaulichen der dort besprochenen Waldstrukturentwicklungen Gegenstand der angestrebten Präsentationen. In diesem Kapitel sollen die Möglichkeiten aufgezeigt werden, die sich für den Anwender mit dem Erwerb von ArcGIS ergeben, um eine fertig gestellte 3D-Szene präsentieren zu können.

5.2.6.1 Navigation in der 3D-Szene

Die Ausführungen in Kapitel 5.2.5 haben gezeigt, dass eine automatisierte Navigation in ArcScene möglich ist und schnell und entsprechend der momentanen Präferenzen angepasst werden kann, um so z. B. die Entwicklung von Waldstrukturen aufzuzeigen. Soll ein Benutzer die Möglichkeit haben, sich „frei“ in der 3D-Szene bewegen zu können, bieten sich andere optionale Erweiterungen für ArcScene an. An dieser Stelle soll die Erweiterung „Fly Tool with Collision Detection“ (folgend als FlyTool bezeichnet) von der ESRI-Support-Seite¹ als repräsentatives Beispiel vorgestellt werden. Es gibt dort auf den Entwicklerseiten noch weitere Programmierungen, die ähnliche Funktionen aufweisen.

Mit dem FlyTool ist es möglich, die Navigation durch die Szene sehr genau zu steuern. Die herausragenden Funktionen dieser Erweiterung sind die Möglichkeiten die Flughöhe genau festzulegen (erlaubte Höhe über NN), den erlaubten „Flugraum“ zu definieren (X/Y-Ausdehnung) oder auch eine Kollision mit Gegenständen in der 3D-Szene zu verhindern. Mit dem Setzen einer konstanten „Flughöhe“ über dem Gelände ist es so z. B. möglich, beim Navigieren durch die Szene den Eindruck eines Spaziergangs zu simulieren. Dazu wird beispielsweise die „Augenhöhe“ eines virtuellen Spaziergängers (z. B. 1,8 m) fest definiert. Dieser Blickwinkel (die „Flughöhe“) kann dann nicht verlassen werden.

5.2.6.2 Export nach VRML

Eine weitere Möglichkeit, die erzeugte 3D-Szene zu präsentieren, ist der direkte Export der fertigen Szene aus ArcScene heraus in das VRML-Format². Der Exportdialog wird über den Menüpunkt „File -> Export -> 3D“ aufgerufen. Der große Vorteil des VRML-Exports ist, dass die erzeugte Szene unabhängig von der GIS-Software betrachtet werden und somit auch sehr einfach verbreitet werden kann. Dies wird durch den Umstand begünstigt, dass für das VRML-Format kostenlose Betrachter (*viewer*) existieren. Es entstehen bei dieser Verbreitungsart also keine weiteren Lizenzkosten, da auf die Installation der GIS-Software verzichtet werden kann. Auch eignen sich die meisten VRML-*viewer* sehr gut zu Präsentationszwecken - sind sie doch für diesen Anwendungszweck konzipiert und optimiert worden. Dies spiegelt sich in einer sehr einfachen Bedienbarkeit und der guten

¹ Die Erweiterung findet sich unter der URL <<http://arcobjectsonline.esri.com/ArcObjectsOnline/Samples/3D%20Analyst/3D%20Visualization/FlyTool/FlyTool.htm>> (10.03.2003).

² Zum VRML-Format vgl. auch Fußnote auf Seite 59.

Navigationsleitung wieder. Es lässt sich zwischen verschiedenen Navigationsarten hin- und herschalten (z. B. Flugmodus und Fußgängermodus), eine Berücksichtigung von Kollisionen ist bereits automatisch integriert und außerdem ist das gezielte „Anspringen“ von dargestellten Objekten mit einfachem Mausklick möglich. Die genannten Vorteile zeigen das Potenzial auf, welches sich aus der Möglichkeit des VRML-Exports aus dem GIS heraus ergibt. Vor allem für Zwecke der Umweltbildung ergeben sich interessante Möglichkeiten, lassen sich doch so kostengünstige und einfach zu bedienende Kiosksysteme (Infoterminals) aufbauen.

Leider besteht aber bei dem Export in das VRML-Format das generelle Problem, dass nur eine begrenzte Anzahl von Objekten dargestellt werden kann. Sind die Szenen zu komplex und ist die Anzahl an Einzelobjekten groß, sinkt die Darstellungsgeschwindigkeit in den VRML-*viewern* bis zum völligen Stillstand der Szene. Daher kann diese Funktion nur für kleinere (Landschafts-)Ausschnitte und nicht für die großräumige Visualisierung genutzt werden. Das VRML-Format bietet sich zusätzlich als 3D-Austauschformat an, das mit einer großen Palette von 3D-Modellierungsprogrammen und Konvertern gelesen, ergänzt und umgewandelt werden kann.

5.2.6.3 Präsentation in GIS-Kiosksystemen

Auch die eigentliche GIS-Software ArcGIS lässt sich für Präsentationszwecke optimieren. Vor allem für den Einsatz in Kiosksystemen (Infoterminals) bieten sich interessante Möglichkeiten. Für die Navigation und Aufbereitung der 3D-Szene wurden schon einige Beispiele in den vorangegangenen Kapiteln aufgezeigt. Für die Verwendung als Kiosksystem ist es aber zusätzlich erforderlich, die Funktionen der Bediensoftware auf das unbedingt Notwendige zu begrenzen, um so den Nutzer nicht zu überfordern und um Fehlbedienung zu begrenzen bzw. zu vermeiden.

Mit dem Erwerb von ArcGIS ergeben sich hierfür zwei sehr interessante Optionen. Zum einen kann die Programmoberfläche von ArcGIS (respektive ArcScene) entsprechend angepasst werden, zum anderen ergibt sich durch die Verfügbarkeit der ArcObjects Programmierkomponente (so genannte *controls*) auch die Möglichkeit, eine komplett neue und in der Funktionalität und Aufmachung angepasste Oberfläche zu programmieren.

Für den ersten Fall lässt sich ArcScene als Kiosksystem anpassen, indem nicht benötigte Schaltflächen und Menüpunkte entfernt werden. Dazu öffnet man über den Menüpunkt „Tools -> Customize...“ das entsprechende Anpassungs-Dialogfenster (Abbildung 52).

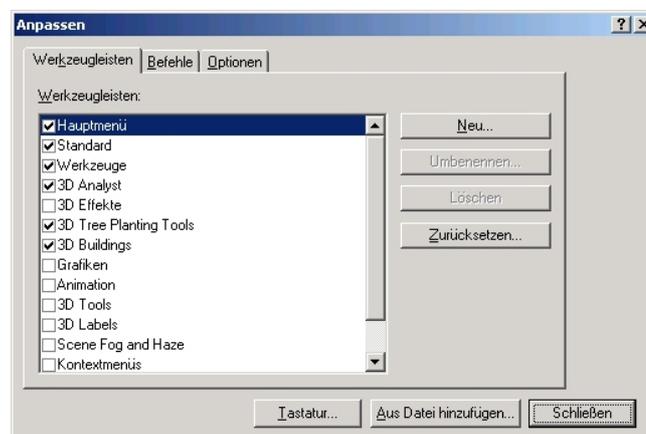


Abb. 52: Dialogfenster zum Anpassen der Menü- und Symbolleisten

In diesem lassen sich nun die verschiedenen Symbolleisten ein- und ausblenden sowie Anpassungen an diesen vornehmen. Einzelne Schaltflächen bzw. einzelne Menüeinträge lassen sich entfernen, indem sie bei geöffnetem Anpassungsdialog in diesen hineingezogen werden.

Neue Menüpunkte und Schaltflächen mit neuen Funktionen wurden mittels VBA-Programmierung unter Einbindung von ArcObjects-Objektmodellen integriert. Der VBA-Code kann ohne Kompilierung direkt genutzt werden.

Mit ArcGIS werden zusätzlich zu den Programmierbibliotheken auch einige ActiveX-Komponenten mitgeliefert. Von besonderem Interesse sind die beiden Komponenten „*MapControl.ocx*“ und „*SceneViewer.ocx*“. Das MapControl bildet ein Map-Fenster (*View*) von ArcMap nach und setzt auf dem auszuführenden Rechner eine Lizenz von ArcGIS voraus. Für die Darstellung von 3D-Inhalten wird die SceneViewer-Komponente mitgeliefert, für deren Betrieb allerdings zusätzlich eine Lizenz von ArcScene vorliegen muss.

Es gibt bereits einige freie Erweiterungen auf der Herstellerseite, die genutzt werden können, um das Kiosksystem zu erweitern. So ist es z. B. denkbar, kein reines 3D-System zu nutzen, sondern ein kombiniertes 2D-/3D-Kiosksystem. Dabei kann der 2D-Bereich als Hauptkomponente zum Bearbeiten, Organisieren und Analysieren der Grunddaten fungieren und die 3D-Komponente ausschließlich zum Visualisieren der Ergebnisse. Eine freie Erweiterung, die dieses Vorgehen veranschaulicht, ist der „ArcMap 3D Viewer“. Hier wurde unter Verwendung der SceneViewer-ActiveX-Komponente die Möglichkeit geschaffen, aus einem 2D-Projekt einen 3D-*viewer* zu öffnen, in dem automatisch die Datengrundlage aus dem 2D-Bereich geladen wird und in dem dann grundlegende Einstellmöglichkeiten zur 3D-Präsentation aufgezeigt werden. Der 2D- und der 3D-Bereich sind miteinander gekoppelt. So werden bei der Navigation im 3D-*viewer* die Standorte von „Beobachter“ und „Ziel“ sowie der Blickwinkel im 2D-Bereich dargestellt. Andersherum ist es auch möglich, diese im 2D-Bereich zu manipulieren, um so die Ansicht im 3D-*viewer* zu beeinflussen. Leider fehlen in dieser freien Erweiterung einige grundlegende Funktionen für den Bereich der 3D-Landschaftsvisualisierung (z. B. fehlt eine Möglichkeit ein Geländetexturbild einzubinden). Da für die Erweiterung kein Quellcode zur Verfügung steht, können benötigte Anpassungen nicht vorgenommen werden.

◦ *VisTree-viewer*

In der vorliegenden Arbeit wurde die Nutzung der ArcObjects-Programmiersbibliothek und der genannten ActiveX-Komponenten weitergeführt. Es wurde mit diesen ein Prototyp eines eigenständigen GIS-Browsers entwickelt. Bei diesem sind 2D- und 3D-Komponente in einer Anwendung und in einem Anwendungsfenster integriert. Diese wurde mit der Programmiersprache Visual Basic (VB) unter Einbindung der mit ArcGIS ausgelieferten Programmiersbibliothek ArcObjects sowie der vorgenannten ActiveX-Komponenten „*MapControl.ocx*“ und „*SceneViewer.ocx*“ entwickelt. Der *viewer* beinhaltet einige grundlegende GIS-Funktionen wie die in Abbildung 53 dargestellten Selektionsabfragen. Der Browser ist um beliebige GIS-Funktionen erweiterbar, da er eine Eigenentwicklung darstellt und somit der Quellcode zur Verfügung steht. Die Hauptfunktion des Browsers ist allerdings die Präsentation und Darstellung der 3D-Bestände, die aus den SILVA-erzeugten Baumlisten generiert werden. Dabei wurde bei der Entwicklung besonderes Augenmerk auf Benutzerfreundlichkeit und Übersichtlichkeit - auch bei der Navigation in der 3D-Szene - gelegt. Der Brow-

ser ist in drei Hauptteile gegliedert: einen Listenbereich mit den thematischen Ebenen, ein 2D-Übersichtsfenster und ein 3D-Präsentations- bzw. 3D-Navigationsfenster. 2D- und 3D-Fenster sind insofern miteinander gekoppelt, als bei der 3D-Navigation der Beobachter- und der anvisierte Zielstandpunkt parallel im 2D-Fenster angezeigt werden. Diese sind in der Ausschnittsvergrößerung von Abbildung 54 zu sehen. Beobachter- und Zielstandpunkt können aber auch im 2D-Fenster festgelegt werden, was sich dann auch auf die Darstellung im 3D-Fenster auswirkt. Außerdem können im 2D-Fenster noch der Zoomzustand und die „Area of Interest“ für die 3D-Szenen festgelegt werden. Abbildung 55 zeigt erste Eindrücke einer 3D-Darstellung innerhalb des GIS-Browsers.

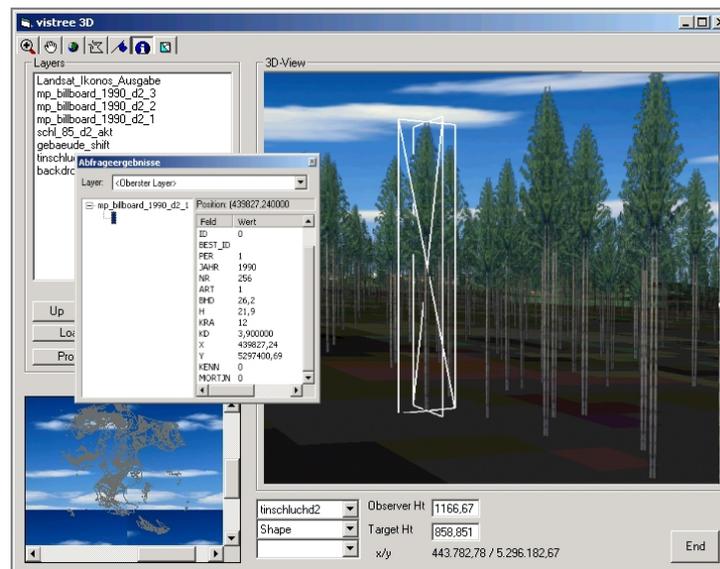


Abb. 53: GIS-Funktionalität im 3D-Visualisierungsmodul

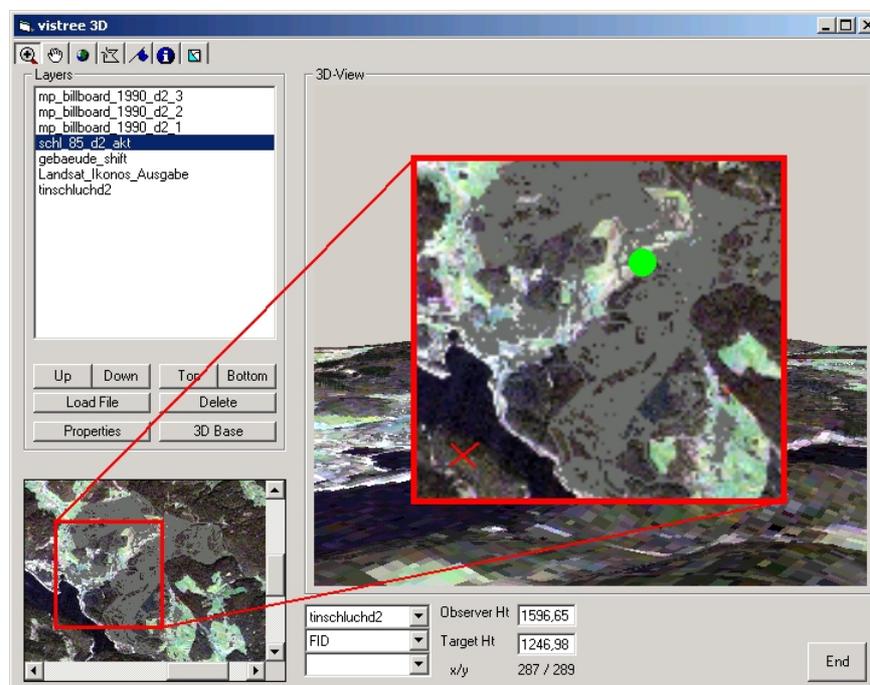


Abb. 54: 2D-Orientierung bei 3D-Navigation

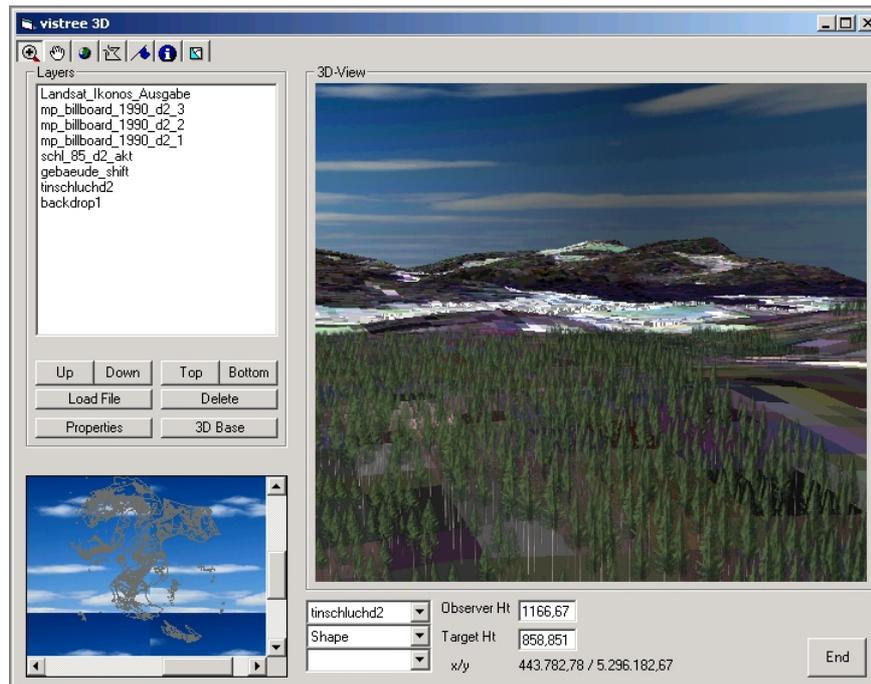


Abb. 55: 3D-Darstellung im VisTree-viewer

Ein weiterer großer Vorteil des separaten Browsers ist, dass er für die weitere Entwicklung als Testplattform eingesetzt¹ sowie als eigenständiger *viewer* bei der Anwendung des Visualisierungsmoduls genutzt werden kann. Um ihn nutzen zu können, ist aber aus **Lizenzgründen** trotzdem, wie bereits zuvor angemerkt, eine Installation von ArcGIS 8.x und der optionalen Erweiterung ArcScene erforderlich. Daraus folgt, dass es im Moment leider nicht möglich ist, den entwickelten Browser beliebig und unabhängig von vorhandenen ArcGIS-Lizenzen zu installieren und zu nutzen. Es ist aber zu erwarten, dass ESRI sein Lizenzmodell überarbeitet und die ActiveX-Komponenten über eine eigene Entwicklerlizenz vertreibt.

¹ Innerhalb der VB-Entwicklungsumgebung ist z. B. ein leichteres Debugging möglich als in der VBA-Entwicklungsumgebung von ArcView 8.x.

5.3 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und ihrer Entwicklung in dem externen Referenzsystem Enviro

Für die realitätsnahe Darstellung von Waldstrukturen und ihrer Entwicklung auf großer Fläche, wird zum gegenwärtigen Zeitpunkt in der Praxis selten auf GIS zurückgegriffen. Statt dessen bedient man sich „externer“ 3D-Visualisierungsprogramme, die in ihrer Programmierung auf die Darstellung und Präsentation von 3D-Szenen optimiert worden sind. Um nun das Potenzial der GIS-internen 3D-Visualisierung¹ abschätzen zu können und die Einsatzfähigkeit für den Praxisbetrieb bewerten zu können, wird solch eine „externe“ Visualisierungsumgebung als Referenzsystem herangezogen. Aus der Fülle dieser „externen“ Programme wird in der vorliegenden Arbeit der **interaktive Landschaftsgenerator „Enviro“** gewählt. Dies ist das Teilprogramm des „*Virtual Terrain Projects*“ (VTP)², welches zur Darstellung von 3D-Szenen dient. Das Programm **Enviro** ist, ähnlich SILVA, über ein **Interface** direkt aus der GIS-Lösung heraus ansteuerbar. Das programmierte Interface ist eine weitere innovative Leistung der vorliegenden Arbeit. Durch dieses Interface ist es möglich, die im GIS gespeicherte Datenbasis komfortabel in das Enviro-eigene Datenformat zu überführen und Enviro direkt aus dem GIS heraus mit der gewünschten Datenbasis zu starten. Dieses Interface wurde in dieselbe Oberfläche integriert, aus der heraus auch SILVA ansteuerbar ist. Über den Hauptdialog der Benutzeroberfläche³ ist ein Unterdialog aufrufbar, über den die Konvertierung der GIS-Datenbasis in das VTP-eigene Dateiformat komfortabel vorgenommen werden kann (Abbildung 56).

Die Organisation der Daten auf dem PC folgt strikten Vorgaben. Enviro braucht eine feste Ordnerstruktur, in der die thematischen Daten abzulegen sind. Das Interface öffnet daher beim Speichern immer den jeweils richtigen Ordner für den jeweiligen Datentyp. Dieser Pfad sollte durch den Benutzer nicht geändert werden, da die erzeugten thematischen Ebenen sonst nicht in Enviro angezeigt werden können. Die Pfade sind in dem VBA-Code *hardcodiert*. Es wird deshalb im Programmiercode festgelegt, dass VTP auf dem Laufwerk „E:\VTP“ installiert ist. Sollte dies nicht der Fall sein, so muss der VBA-Code angepasst werden, beispielsweise über die Funktion „Suchen und Ersetzen“. Im Export-Dialog werden Einstellungen zu den drei thematischen Ebenen „Gelände“, „Vegetation“ und „anthropogene Landschaftsmerkmale“ vorgenommen. Die im GIS vorliegenden Geodaten müssen in ein von Enviro lesbares Format überführt werden. Falls im GIS in einer thematischen Ebene mehrere *shapefiles* vorliegen, müssen diese beim Export in einer von Enviro lesbaren Datei zusammengefasst werden. Dies wird durch die selbst geschriebenen VBA-Makros beim Export gewährleistet.⁴ Die Informationen über die Dateinamen und den jeweiligen Speicherort der verschiedenen thematischen Ebenen werden nach dem Export in einer INI-Datei⁵ gespeichert. Diese wird durch das VBA-Makro, das dem Schalter „INI schreiben“ hinterlegt ist, erzeugt.

¹ vgl. Kapitel 5.2

² vgl. Kapitel 4.3.2

³ Der Dialog wird über die Schaltfläche „VTP-Szene“ im Interface-Hauptdialog (siehe Abbildung 33 in Kapitel 5.1) aufgerufen.

⁴ Der Export ist in den Kapiteln 5.3.1 bis 5.2.4 beschrieben.

⁵ INI = Initialisierungsdatei; diese wird beim Start von Enviro ausgelesen.

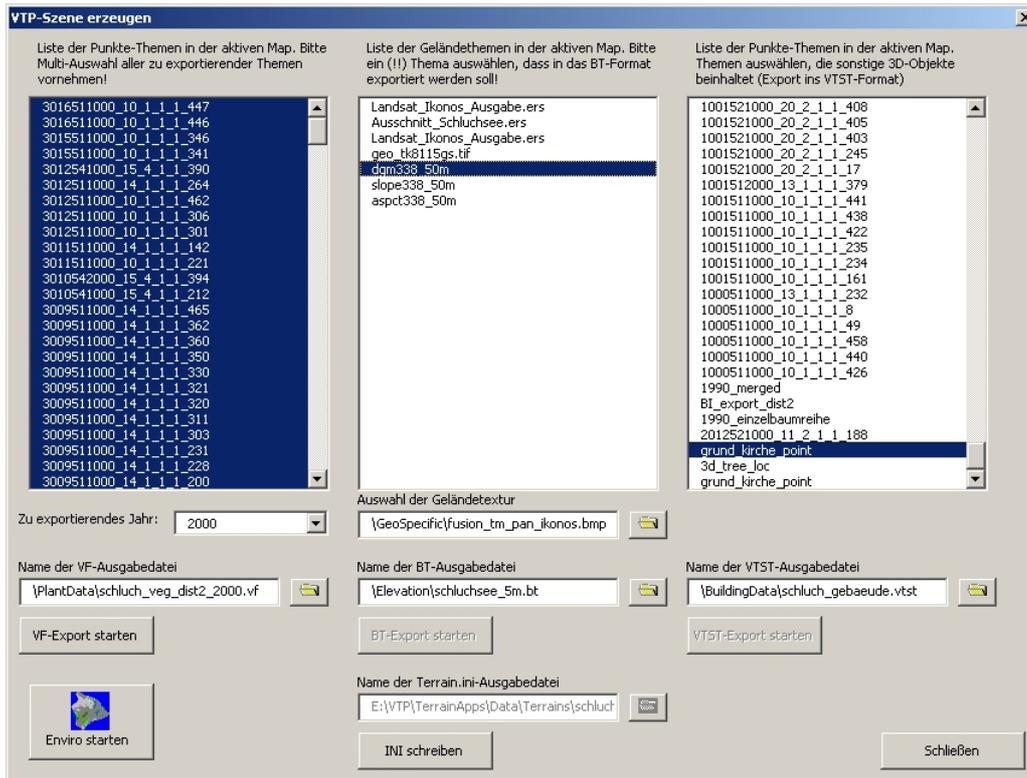


Abb. 56: Benutzerdialog zum Export der Geodaten-Basis in die VTP-eigenen Dateiformate

5.3.1 3D-Geländedarstellung mit Enviro

Zur Darstellung des Geländes wird wie in der GIS-internen Lösung ein digitales Geländemodell benötigt. Um die Realitätsnähe zu steigern, sollte zusätzlich mit einem Texturbild gearbeitet werden, das entweder aus einem Luftbild, einem Satellitenbild oder einer Kombination aus beiden bestehen kann.

Der vorgenannte Benutzerdialog erlaubt die Konvertierung sämtlicher relevanter Daten in die VTP-eigenen Dateiformate. Das VBA-Export-Skript für den Geländeexport funktioniert in der aktuellen Version nur mit einem Geländemodell im Rasterformat (GRID). TINs werden momentan nicht unterstützt. Die Darstellung des Geländes kann, wie schon im GIS, durch die Überlagerung mit einem Texturbild optisch aufgewertet werden. Die Angabe dieser Textur ist optional. Sollte keine Textur ausgewählt sein, so wird das Gelände in Standardfarben dargestellt (Abbildung 57 links).

Für eine optimale Verwendung in Enviro müssen das Geländemodell und die optionale Gelände-(Foto-)Textur vor dem Export in dem GIS aufbereitet werden.

Enviro unterstützt zur Darstellungsoptimierung (in Bezug auf die Darstellungsgeschwindigkeit) sechs verschiedene Algorithmen zum geländebezogenen „*level of detail*“ (LOD).¹ Tests haben allerdings gezeigt, dass nur zwei davon die gegebene Datengrundlage fehlerfrei darzustellen vermögen. Dies sind der voreingestellte McNally- und der Roettger-Algorithmus.

¹ Erläuterungen zum LOD vgl. Kapitel 4.5.4.

Um das geländebezogene LOD optimal in Enviro nutzen zu können, gilt es, die Größe des Geländes und der optionalen Geländetextur schon im GIS anzupassen. Die notwendigen Aufbereitungsschritte werden in Kapitel 4.2.1 und im Anhang A.14 behandelt.

Bei dem methodischen Vorgehen ist darauf zu achten, dass die optionale Geländetextur in ArcGIS in das TIFF-Format exportiert wird. So kann man sie in einem externen Bildverarbeitungsprogramm in ein von Enviro unterstütztes Format konvertieren: in das Bitmap- (BMP) oder das JPEG-Format (JPG). Die so erzeugte Textur muss manuell in dem richtigen Zielverzeichnis gespeichert werden. Dies ist bei der aktuellen Version des GIS-SILVA-Interfaces der Ordner „E:\VTP\TerrainApps\Data\GeoSpecific“.

Die entsprechend präparierten Rasterdaten für Gelände und Geländetextur können im Enviro-Export-Dialog (Abbildung 56) ausgewählt werden. Die Geländetextur wird nicht weiter über den Dialog aufbereitet. Dort müssen allerdings der Name und der Pfad zur Textur im Feld „Auswahl der Geländetextur“ angegeben werden. Die Angaben werden zum späteren Erstellen der INI-Datei benötigt, die beim Start von Enviro ausgelesen wird, um die darzustellenden Datensätze „wieder zu finden“.

Das vorbereitete Geländemodell kann in dem Dialog zum Export ausgewählt werden (**mittlere Auswahlliste**). Durch den Schalter „BT-Export starten“ wird das VBA-Makro gestartet, das für die Umwandlung der geländebezogenen Geodaten in das VTP-eigene Geländeformat geschrieben wurde. Das Makro muss dabei eine Umwandlung zwischen zwei Binärformaten bewerkstelligen. Der Zugriff auf das GIS-interne GRID-Rasterformat ist ohne Kenntnisse der eigentlichen Binärstruktur möglich, da mit der Installation von ArcGIS auch die Programmierbibliothek ArcObjects installiert wird, die auch Funktionen für den direkten Zugriff auf das GRID-Rasterformat ermöglicht. Diese Funktionen lassen sich in eigenen VBA-Programmen nutzen. Für den Export sind aber genaue Kenntnisse über die Struktur des Binärformats der VTP-Geländedaten notwendig, da dieses kein bekanntes Format innerhalb von ArcGIS ist. Diese Informationen sind im Internet zugänglich.¹ Die Binärdatei ist in zwei Bereiche unterteilt: einen beschreibenden Kopfbereich (*header*) und daran anschließend die eigentlichen Höhenwerte der „*Height-Map*“.

Im *header* wird der Aufbau des Geländemodells definiert. Hier finden sich die (Gauß-Krüger-)Koordinaten der Geländeausdehnung, die Anzahl der Rasterpunkte (Pixel) in Reihen und Spalten, die verwendete Maßeinheit (Meter, Grad oder Fuß), ein Höhenskalierungsfaktor (standardmäßig „1“), Angaben über den Speichertyp der Höhenwerte (Integer-GRID oder Floating-Point-GRID) und Informationen über das geografische Bezugssystem. Wird ein anderes als das UTM-System als Bezugssystem genutzt, so ist neben dem eigentlichen binären Geländemodell noch eine Textdatei zu erzeugen, in der das verwendete System näher spezifiziert wird (Name, verwendete Projektion und geodätisches Datum). Diese Datei muss den gleichen Namen wie das VTP-Geländemodell haben und die Endung *.prj aufweisen. Die im aktuellen Projekt verwendeten Geo-Daten nutzen das Gauß-Krüger-Koordinatensystem als Referenzsystem. In VTP ist dieses unter dem Namen „Deutsches Hauptdreiecksnetz“ zu finden. Dementsprechend wird beim Export der Geo-Daten in das VTP-Dateiformat eine Referenzdatei (*.prj) erstellt, die alle benötigten Angaben zu diesem Referenzsystem enthält.² Falls der Anwender die Einstellungen bezüglich des geografischen Bezugssys-

¹ Die Definition des VTP-internen Binärformats für Geländemodelle (*.bt) findet sich online unter der URL <<http://www.vterrain.org/Implementation/BT.html>> (13.03.2003).

² Eine Referenzdatei (*.prj) findet sich im Anhang A.11.

tems umstellen möchte, muss er die entsprechenden Stellen im Source-Code des VBA-Makros ändern, da diese Angaben hardcodiert sind.

An den *header* schließt sich der Datenbereich mit den eigentlichen Höhenwerten der „*Height-Map*“ an. Hier wird für jede Rasterzelle der zugehörige Höhenwert gespeichert. Die Zuordnung zu X- und Y-Koordinaten erfolgt bei der Darstellung in Enviro durch „automatisierte“ Zuordnung der Angaben aus dem *header*-Bereich. Die Anzahl an Höhenwerten ergibt sich aus dem Produkt der Rasterpunkte in Reihen und Spalten. Dabei ist wichtig, dass die Speicherung der Höhenwerte spaltenbezogen vorgenommen wird. Innerhalb der Spalten muss die Speicherung aufsteigend von Süden nach Norden vorgenommen werden. Der erste gespeicherte Höhenwert in dem VTP-Geländemodell entspricht also der „unteren linken Ecke“ des Geländemodells.

Nach dem Export stehen Geländemodell und Geländetextur für die Darstellung in Enviro zur Verfügung. Abbildung 57 zeigt das Resultat der Bemühungen: das Geländemodell ohne (links) und mit überlagerter Fototextur (rechts), dargestellt mit Enviro.

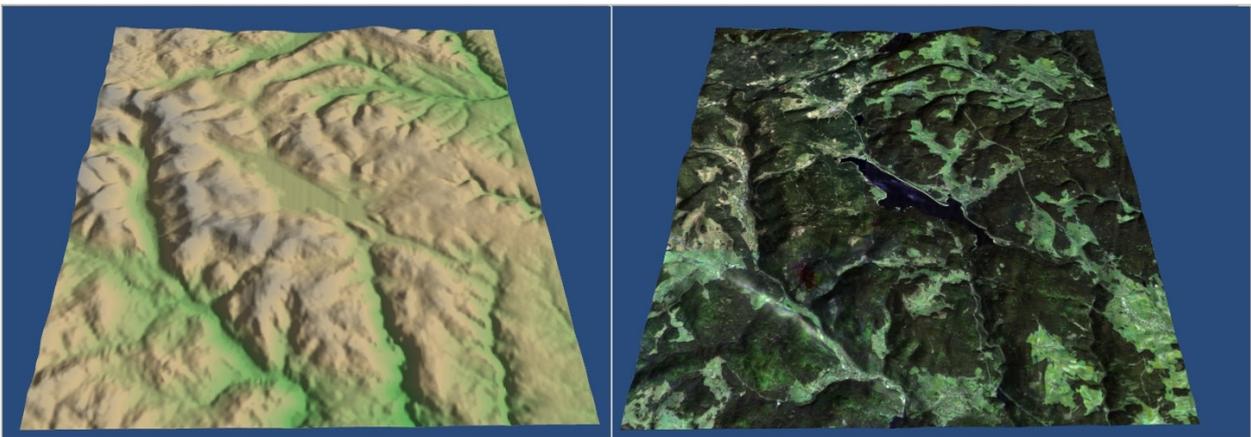


Abb. 57: Darstellung des Geländes in Enviro. Links mit Standardfarben, rechts mit Geländetexturbild

5.3.2 Einzelbaumbezogene 3D-Darstellung der Waldstrukturen mit Enviro

Die Einzelbaum-Geodatenbasis lässt sich in das Enviro-eigene Format konvertieren. Dazu ist die Datengrundlage allerdings neu zu organisieren. Zur Erinnerung: Bei dem Einsatz des GIS-SILVA-Interfaces zur Prognose und dem Reimport von mehreren Beständen und Perioden wird je prognostiziertem Bestand ein eigenes *shapefile* erzeugt, in dem sämtliche Baumlisten für alle Prognoseschritte gemeinsam vorliegen. Enviro aber kann nur ein einzelnes Thema zur Vegetationsdarstellung nutzen, das heißt, alle Bestände müssen in einer Datei zusammengefasst werden.

Auch ist es in Enviro nicht möglich, verschiedene zeitliche Zustände, die gemeinsam in einem Thema gespeichert sind, getrennt voneinander darzustellen. Enviro stellt immer den kompletten Inhalt eines Vegetationsthemas dar. Das bedeutet, dass die Prognoseschritte, die im GIS je Bestand in einem *shapefile* zusammengefasst vorliegen, einzeln extrahiert werden müssen.

Für die Neuorganisation und den Export der Geodatenbasis wurde ein VBA-Makro programmiert, welches in dem oben gezeigten Benutzer-Dialog (Abbildung 56) hinterlegt ist. Neben der Auswahl

der relevanten Baum-*shapefiles* durch den Benutzer (**linke Auswahlliste** im Benutzerdialog) muss dieser auch das gewünschte Prognosejahr angeben (Auswahlliste „Zu exportierendes Jahr“). Das VBA-Makro, das dem Schalter „VF-Export starten“ hinterlegt ist, extrahiert (über eine IF-Abfrage) aus allen gewählten Einzel-Bestandes-Baumlisten-*shapefiles* diejenigen Baumdatensätze, die dem gewünschten Prognosejahr entsprechen, und schreibt diese gemeinsam in eine durch Enviro lesbare Datei (Endung *.vf).¹ In der resultierenden Vegetationsdatei werden mit jedem Baumstandpunkt die zugehörige Baumart (numerisch kodiert) und die jeweilige Baumhöhe (in Metern) gespeichert.

Enviro nutzt zur Darstellung der Einzelbäume die *billboard*-Technik.² Die in der Vegetationsdatei gespeicherten (numerischen) Werte müssen für die Visualisierung in Enviro in repräsentative Baumtexturen umgesetzt werden. Hierzu benötigt Enviro neben der eigentlichen Vegetationsdatei eine zusätzliche Katalogdatei im XML-Format.³ In dieser wird unabhängig von der eigentlichen Vegetationsdatei eine Auflistung der möglichen Baumarten und eine Klassifikation innerhalb jeder einzelnen Baumart nach Baumhöhe und -breite vorgenommen. Jeder Höhe/Breite-Klasse wird nun ein repräsentatives Texturbild zugeordnet.

Die Zuordnung der Baumartenkodierung aus der erzeugten Enviro-Vegetationsdatei wird über die Reihenfolge der Auflistung in dem Baumtextur-Katalog (XML-Datei) bestimmt. Der erste Katalog-Baumeintrag entspricht dabei dem Wert „0“, der zweite dem Wert „1“ usw. Die Baumart Fichte, die in der Vegetationsdatei über die (aus SILVA stammend) Baumartennummer „1“ repräsentiert wird, muss in der Katalogdatei also an zweiter Stelle organisiert werden.

Die Zuordnung des eigentlichen Texturbildes wird über die Baumhöhe vorgenommen, die in der Vegetationsdatei mit jedem Einzelbaumeintrag gespeichert wird. Die Höhe wird automatisch der zugehörigen Höhenklasse zugeordnet. Dies geschieht getrennt nach Baumarten, die im Baumtextur-Katalog durch den Baumartencode bestimmt ist.

Für die vorliegende Arbeit wurden Baumtexturen für die wichtigsten im Untersuchungsgebiet vorkommenden Baumarten erzeugt. Je Baumart wurden dabei sieben verschiedene Texturen generiert, um unterschiedliche Entwicklungszustände (Alters- bzw. Höhenentwicklung) der jeweiligen Baumart darstellen zu können. Die einzelnen Baumtexturen müssen entsprechend der engen Vorgaben von Enviro als PNG-Bilder (Portable Network Graphics) gespeichert vorliegen.⁴ Der resultierende Baumtextur-Katalog im XML-Format ist im Anhang aufgeführt.⁵

Das Resultat ist eine qualitativ ansprechende 3D-Visualisierung der durch SILVA prognostizierten Waldstrukturen, wie dies in Abbildung 58 zu sehen ist.

¹ Die Definition des VTP-internen Binärformats für die Vegetationsschicht (*.vf) findet sich online unter der URL <<http://www.vterrain.org/Implementation/VF.html>> (13.03.2003).

² vgl. Kapitel 3.3.5

³ XML (eXtensible Markup Language) ist eine Metasprache für die Definition von Dokumententypen. Diese ermöglicht ein anpassungsfähiges Datenformat für den Austausch strukturierter Dokumente. Ist ursprünglich für den Austausch im Internet entwickelt worden, findet sich mittlerweile aber auch als Standardformat in verschiedenen Textverarbeitungsprogrammen.

⁴ Der Speicherort lautet: „E:\VTP\TerrainApps\Data\PlantModels“.

⁵ Ein Beispieltextrurkatalog (species.xml) entsprechend der SILVA-Baumartenkodierung findet sich im Anhang A.13. Der von Enviro erwartete Speicherort dieser Katalogdatei ist „E:\VTP\TerrainApps\Data\PlantData“.

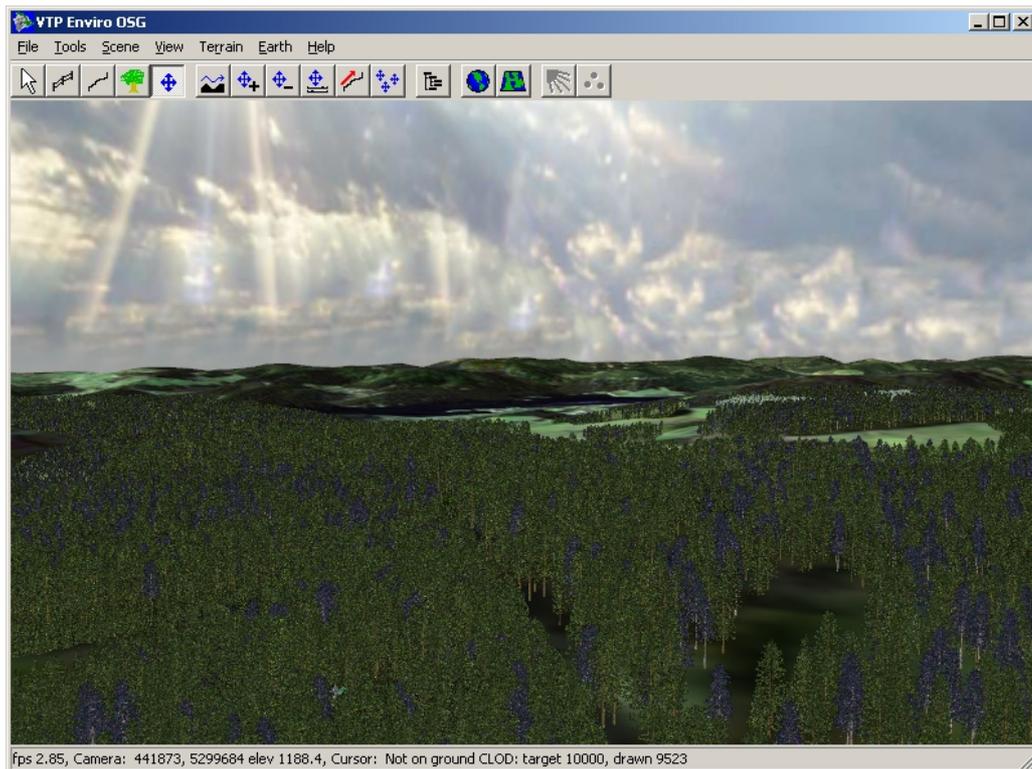


Abb. 58: Visualisierung der Waldstrukturen in Enviro

Bemerkenswert ist die gute Qualität der *billboard*-Darstellung innerhalb von Enviro. Erst bei einem senkrechten Blick von oben auf die Vegetation sind im Mittelpunkt der Szene einige wenig *billboards* als solche zu erkennen (vgl. Abbildung 59).

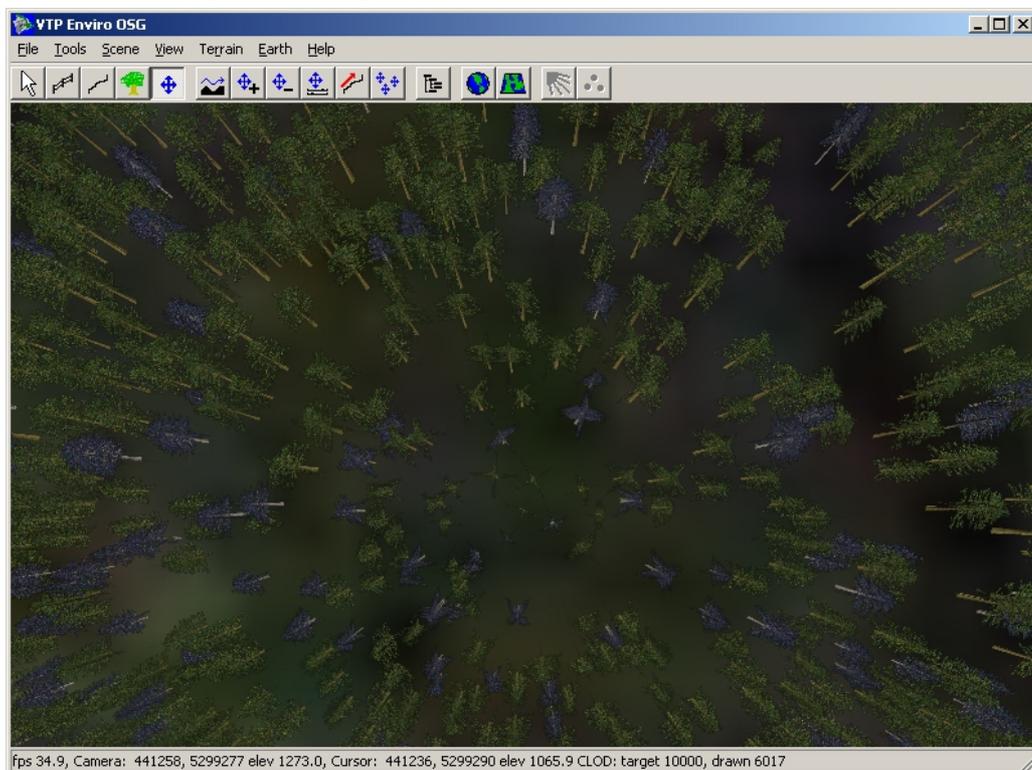


Abb. 59: Blick auf die *billboards* von Enviro aus der „Vogelperspektive“

Die Kriterien „Aktualisierbarkeit“ und „Flexibilität im Umgang mit den Vegetationsdaten“ spielen in der vorliegenden Arbeit eine besonders große Rolle. Das Gelände und die 3D-Strukturen sind im Allgemeinen starre, sich nur selten verändernde Größen. Sie müssen je Projektgebiet deshalb nicht so oft aus der GIS-Datenbasis in das Enviro-eigene Format konvertiert werden. Diese Konvertierung ist notfalls auch mit dem Teilprogramm *VTBuilder* aus dem VTP möglich. Bei der Vegetationsdatei sind demgegenüber häufige Aktualisierungen denkbar, da mehrere Prognosen, z. B. für verschiedene Durchforstungsvarianten und verschiedene Prognosezustände, dargestellt werden sollen.

Der VBA-Code, der für die Konvertierung der GIS-Einzelbaum-*shapefiles* in das Enviro-Vegetations-Dateiformat (VF-Format) geschrieben wurde, befindet sich in Anhang A.12.

5.3.3 3D-Darstellung anthropogener Landschaftsmerkmale mit Enviro

Genau wie in der GIS-gestützten 3D-Visualisierung¹ ist es auch in Enviro möglich, neben der Vegetation weitere Geodaten zur Gestaltung der „anthropogenen Umwelt“ einzubinden. Bei der Darstellung innerhalb von Enviro muss man dabei zwei Gruppen von 3D-Strukturen unterscheiden. Zum einen besitzt Enviro eine eigene 3D-Objekt-Bibliothek, zum anderen kann man in Enviro auch externe 3D-Modelle in verschiedenen Dateiformaten² direkt einbinden.

Im ersten Fall wird die GIS-Datenbasis in interne 3D-Modelle umgesetzt. So können Gebäudegrundrisse und Attributwerte in 3D-Hausmodelle umgesetzt werden, Punktobjekte mit Attributwerten in Strommasten, Linienobjekte mit Attributen in Straßen oder auch in Zäune.

Im zweiten Fall beinhaltet die GIS-Datenbasis (in Punktform) eine Referenz auf ein „externes“ 3D-Modell und lediglich die geografische Lage in der 3D-Szene wird aus dem GIS-Punkte-*shapefile* abgeleitet. Der GIS-Punkt entspricht dem Zentralpunkt des 3D-Modells, der bei Modellerstellung angegeben wird. Dieser sollte so gewählt werden, dass er in X/Y-Richtung dem Mittelpunkt des 3D-Modells und in Z-Richtung der gewünschten Höhe über dem Gelände entspricht. Dies wird in den meisten Fällen „0“ sein, da die 3D-Modelle im Allgemeinen direkt auf dem Gelände stehen. Ist dies nicht der Fall, so kann der Z-Wert variabel gewählt werden. In der vorliegenden 3D-Szene wurde beispielsweise ein 3DS-Modell³ eines „fliegenden“ Zeppelins eingebunden (Abbildung 62). Da dieser über dem Geländemodell schweben soll, wurde der Z-Wert des Zentralpunktes auf 60 Meter gesetzt. Bei der Modellerstellung ist darauf zu achten, dass die Größenskalierung des Modells den realen Verhältnissen entsprechend erfolgt. Bei der Darstellung in Enviro werden die Größenangaben des 3D-Modells als Meterangaben interpretiert.

Die Umwandlung der Geodatenbasis in Enviro 3D-Objekte wird normalerweise über das VTP-Modul „VTBuilder“ vorgenommen. Hier kann die Geodatenbasis als vordefinierte Objektklasse importiert werden und anschließend können zu den Einzelobjekten Einstellungen vorgenommen werden, die die spätere Form und Gestalt in Enviro betreffen. Für die importierten Gebäudegrundrissdaten (als Polygonthema) lassen sich so eine Reihe von Einstellungen vornehmen. Diese betreffen z. B. die Anzahl der Stockwerke, die Höhe eines Stockwerks, die Farbe der Wände und die Farbe

¹ vgl. Kapitel 5.2.3

² Zu den unterstützten Dateiformaten gehören FLT (Open Flight), 3DS (3D Studio), OBJ (Alias Wavefront), LWO/LW/GEO (LightWave) und DXF/DWG (AutoCAD).

³ 3DS ist das hochwertige 3D-Austauschformat der Modellierungssoftware 3D Studio.

und Form des Daches. Leider muss diese Einstellung für jedes einzelne Objekt getrennt vorgenommen werden, was bei verschiedenen Objektklassen und einer großen Anzahl von Einzelobjekten sehr zeitaufwändig ist.

Das dem Exportdialog (Abbildung 56) zum Erzeugen der Enviro-Strukturdateien hinterlegte VBA-Makro vereinfacht dieses Vorgehen sehr stark: Die Darstellungsparameter können bereits im GIS eingegeben werden und werden dann von dem Export-Makro in Enviro-lesbare Form gebracht. Der Vorteil dabei ist, dass gleich mehrere oder auch alle Einzelobjekte einer Objektklasse mit den GIS-typischen Funktionen auf einmal bearbeitet werden können. Über Abfragen oder auch grafisch am Bildschirm können alle Objekte ausgewählt werden, denen man ein oder mehrere gleiche Ausprägungen zuordnen möchte.

Da die verwendeten ALK-Grundrissdaten¹ keine für die 3D-Darstellung verwendbare Attributierung enthalten, wurden diese nachträglich erzeugt und auf „realistische“ Werte gesetzt. Auf die reale Erhebung der notwendigen Daten wurde verzichtet, da die Einbindung der Gebäudedaten nur exemplarisch erfolgen soll. Für die Gebäude wurde die Anzahl an Stockwerken entsprechend dem jeweiligen Gebäudetyp variiert. So wurden z. B. den Wohnhäusern des Untersuchungsgebietes über eine Zufallsauswahl zwei bis vier Stockwerke zugewiesen. Die Dachform wurde für alle Gebäude auf den Typ „flat“, die Dachfarbe auf „rot“ und die Wandfarbe auf „grau“ gesetzt. Der so aufbereitete Ort Schluchsee ist in Abbildung 60 zu sehen. Die Darstellung entspricht der Blockdarstellung im GIS. Soll die Dachform und -höhe geändert werden, so sollte dies nur für rechteckige Gebäudegrundrisse mit vier Gebäudeseiten vorgenommen werden, da bei Gebäuden mit mehr als vier Wänden unregelmäßige und „deformierte“ Dachkonstruktionen entstehen.

Die vorgenannten Vorgehensweisen sind aber nur für die Objektklassen relevant, für die Enviro eine eigene 3D-Objektbibliothek besitzt (s.o). Für die „externen“ 3D-Modelle müssen Farb- bzw. Textureinstellungen in einem externen Programm vorgenommen werden und mit dem 3D-Modell gespeichert werden. Für die vorliegende Arbeit wurden das Modell des Riesenbühlturns² mit Fototextur (Abbildung 61) und mehrere 3D-Modelle mit Farbtexur (Zeppelin: Abbildung 62; Schiff: Abbildung 63; GoldenGate-Bridge: Abbildung 64)³ eingebunden. Diese wurden für die Darstellung in Enviro aufbereitet.

Das für den Export geschriebene VBA-Makro berücksichtigt in seiner jetzigen Form nur zwei Objektklassen: Polygon-Geodaten für die Repräsentation von Gebäuden und Punkt-Geodaten für die Referenz auf externe 3D-Modelle. Für eine optimale Umsetzung in Enviro-Strukturelemente können dabei bestimmte Attribute genutzt werden. Bei den Punktereferenzdateien handelt es sich nur um den Pfad zu dem 3D-Modell, bei den Gebäudedaten um Angaben zu Gebäude- und Dachhöhe, Farbe⁴ von Wänden und Dach sowie um Angaben über die Dachform.

Für Zäune und Strommasten fehlt in der aktuellen Arbeit die Datengrundlage; ihre Darstellung kann aber mit Blick auf die der Arbeit zu Grunde liegende Zielsetzung vernachlässigt werden. Die Einbindung von Straßen und Wegen hingegen wäre sehr interessant. Für diese bietet Enviro sehr vielfältige Darstellungsoptionen. Leider liegt das Enviro-Straßenformat lediglich im Binärformat und dabei das

¹ vgl. Kapitel 4.2.2

² vgl. Kapitel 4.3.5

³ Die freien Modelle findet man online unter der URL <<http://www.3dcafe.com/models/>> (03.04.2003).

⁴ Die Farbe wird über RGB-Werte angegeben.

VTP-Format, das nicht offen gelegt ist. Ein automatisierter Export aus dem GIS kann von daher nicht gewährleistet werden. Ist die Darstellung von Straßen und Wegen wichtig, so können die GIS-Wege-daten immer noch über das VTP-Modul „VTBuilder“ importiert und aufbereitet werden. In diesem Modul ist es möglich, die verschiedenen Straßenklassen mit unterschiedlichen Texturen zu repräsentieren. Die jeweils zu verwendete Textur wird über die Anzahl der Fahrbahnen und den Straßenbelag (Kies, Erde, Schmutz, Teer oder Schienen) festgelegt. Außerdem kann als weiteres Merkmal angegeben werden, ob die jeweilige Straße durch Bürgersteige, Parkmöglichkeiten oder auch Leitplanken gesäumt wird. Des Weiteren können in VTBuilder auch noch Angaben über die erlaubte Fahrtrichtung bzw. Ampeln und Stoppschilder gemacht werden. Für die Bearbeitung in VTBuilder ist zu empfehlen, die Straßen als ARC/INFO-Coverages mit erstellter Topologie zu verwenden. Viele der Bearbeitungsfunktionen lassen sich so erleichtern. Liegen die Daten in diesem Format vor, so lassen sich - im Gegensatz zum Vorliegen der Straßen im *shapefile*-Format - zusammenhängende Straßenstücke in einem Arbeitsschritt (mit einem Mausklick) selektieren.

Diese ausgereiften Funktionen sind sicher im Logistikbereich sehr interessant; für die in der vorliegenden Arbeit verfolgte Zielstellung sind diese Parameter jedoch eher unbedeutend und können ignoriert werden.

Eine Alternative für die reine Visualisierung der vorkommenden Wegeinformation stellt die Verwendung von hochauflösenden Fernerkundungsdaten dar. Auf diesen sind Wege auch als solche zu erkennen. Da dieser Ansatz für die Projektzielsetzung ausreicht, wurde die Einbindung der Wege-Geodaten nicht weiter verfolgt und der interessierte Anwender sei auf die Dokumentation von VTBuilder verwiesen.¹

Für den Export der beiden unterstützten Objektklassen (Gebäude und externe 3D-Modelle, s. o.) werden die relevanten Geodaten im Exportdialog selektiert (Abbildung 56, rechte Liste). Das Export-Skript (Schalter „VTST Exportieren“) überprüft für jede gewählte Geodatei den Geometrietyp. Handelt es sich um ein Punkte-*shapefile*, so wird überprüft, ob ein Feld mit dem Namen „filenamen“ vorliegt. Ist dies der Fall, so wird angenommen, dass in diesem Feld eine Referenz auf ein extern abgespeichertes 3D-Modell in einem von Enviro lesbaren Format (z. B. 3D StudioMax-Format) mit absolutem Pfad abgelegt ist. Die Koordinaten des Referenzpunktes werden über das VBA-Makro aus dem *shapefile* ausgelesen und in die Exportdatei geschrieben. Ist der Geometrietyp der gewählten Datei vom Typ „Polygon“ (Fläche), so wird überprüft, ob alle zur Beschreibung der Gebäude notwendigen Felder vorhanden sind. Ist dies der Fall, so werden die Parameter für jedes Gebäude in die Exportdatei geschrieben. Sind mehrere Themen zum Export selektiert, so werden alle Einzelobjektinformationen in eine gemeinsame, von Enviro lesbare Exportdatei geschrieben. Diese Datei (mit der Endung *.vtst)² wird wiederum im XML-Format gespeichert (vgl. Vegetationsdatei in Kapitel 5.3.2). Der Name und Dateipfad zu der erstellten Datei wird beim späteren Erzeugen der Enviro-INI-Datei aus dem entsprechenden Textfeld ausgelesen und in dieser gespeichert.

¹ Diese ist in dem Programmpaket des VTP-Projektes enthalten; vgl. Kapitel 4.3.2.

² Ein Auszug aus einer 3D-Objektdatei im VTP-Format findet sich in Anhang A.11.

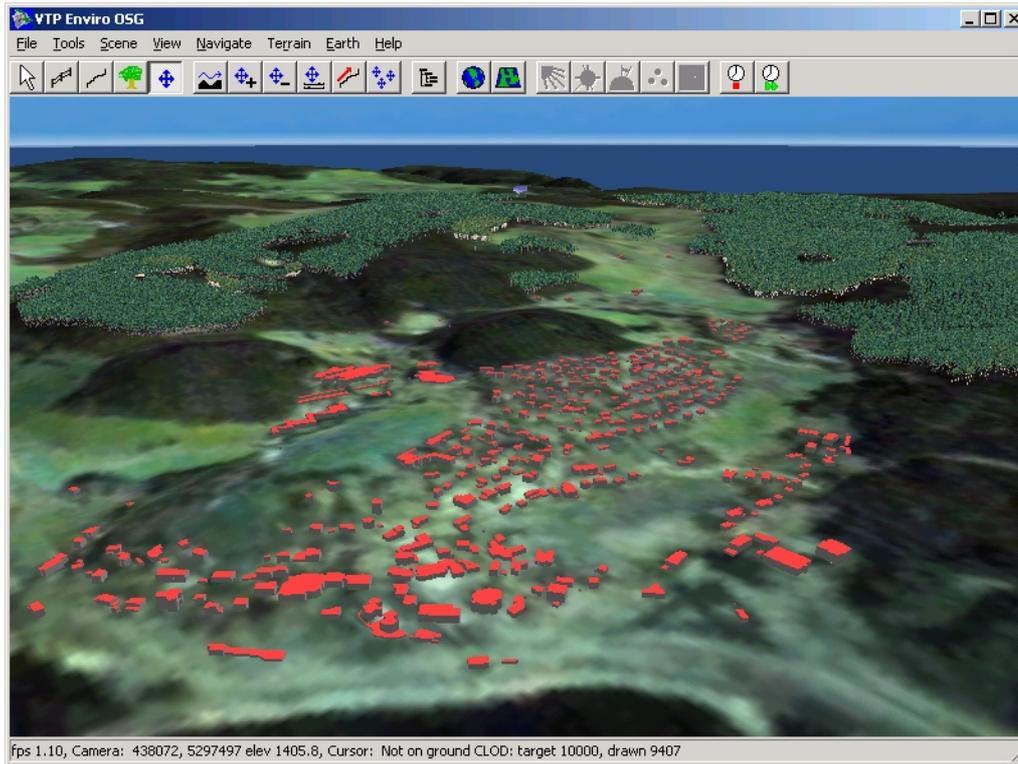


Abb. 60: Blockmodell des Ortes Schluchsee in Enviro

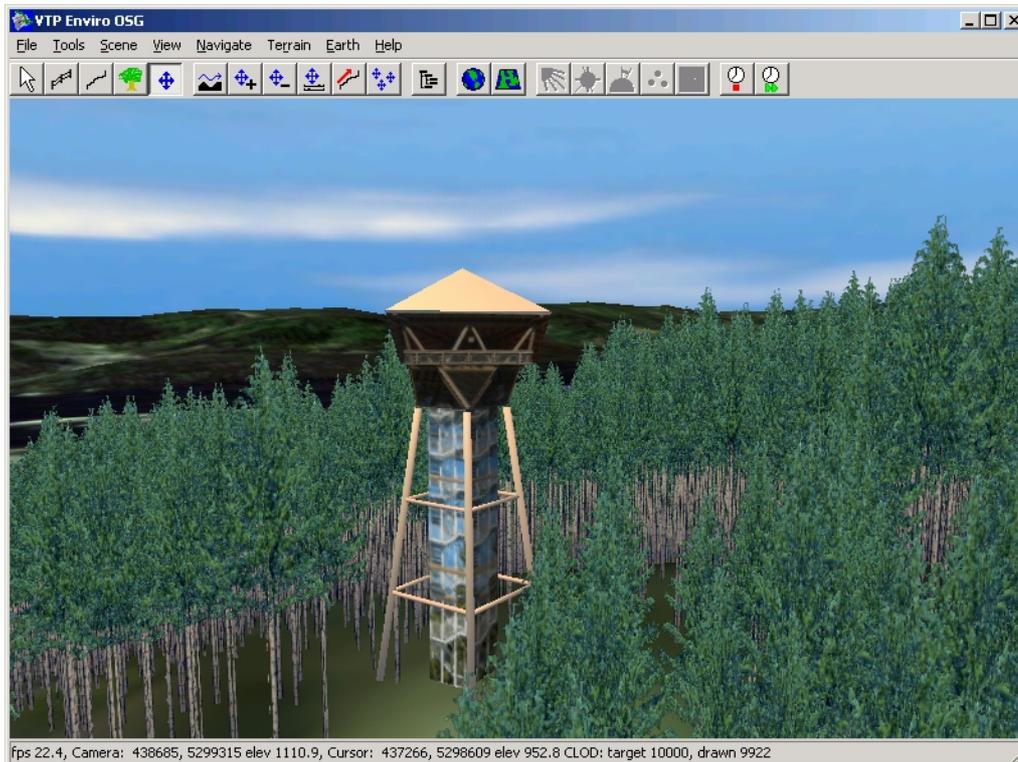


Abb. 61: Darstellung des Riesenbühlturns mit Foto-Textur innerhalb von Enviro

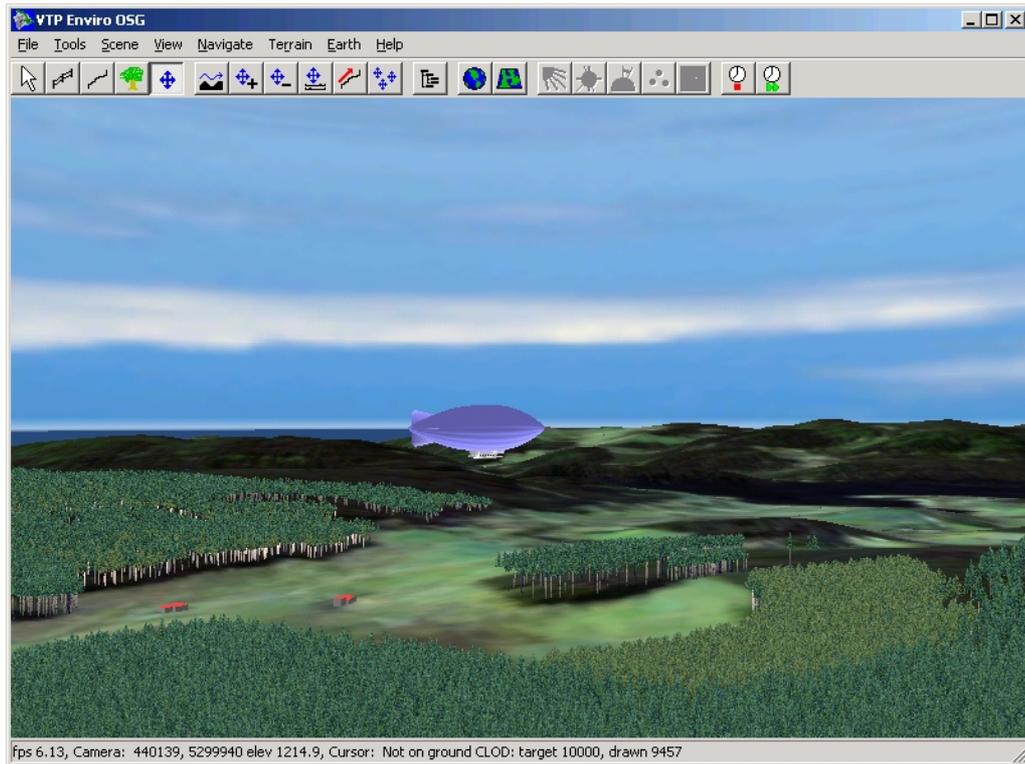


Abb. 62: Darstellung eines „fliegenden“ 3D-Modells in Enviro

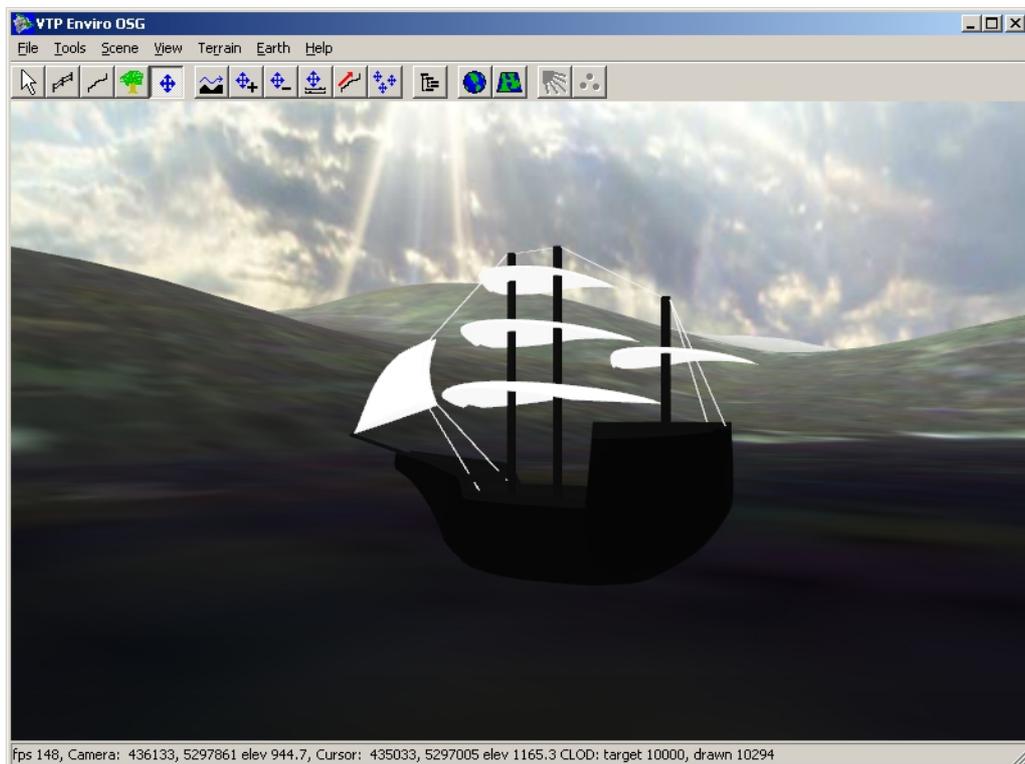


Abb. 63: 3D-Modell eines Schiffes auf dem Schluchsee, dargestellt mit Enviro

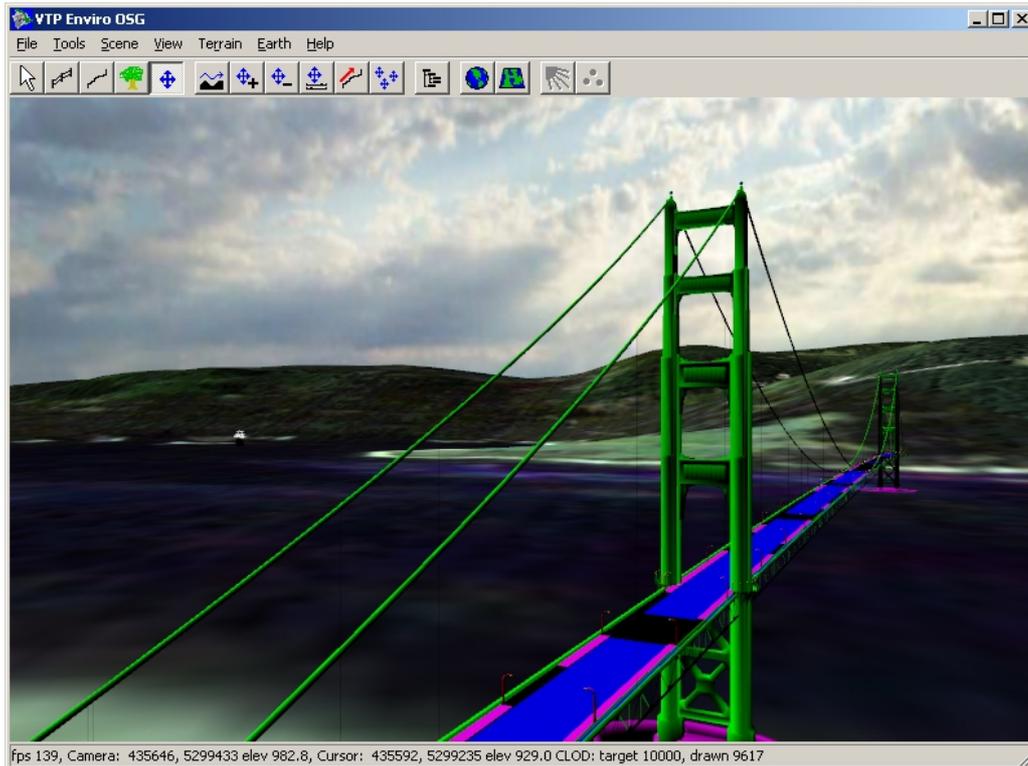


Abb. 64: 3D-Modell einer Brücke über dem Schluchsee, dargestellt mit Enviro

5.3.4 Weitere visuelle Aufbereitungsmöglichkeiten in Enviro

In Enviro kann genau wie im GIS ein Hintergrundbild für die 3D-Szene eingeblendet werden. Dieses wird im Export-Dialog (Abbildung 56) im Feld „Hintergrundbild“ ausgewählt. Das Bild kann im PNG- oder BMP-Format vorliegen, das Verhältnis von Breite zu Höhe des Bildes sollte jedoch 4:1 betragen, da es mit diesem Seitenverhältnis zu keiner Verzerrung (Stauchung) in der Darstellung kommen kann. Die maximal mögliche Bildgröße und die optimale Pixelanzahl ist wie bei der Geländetextur von der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Grafikkarte abhängig.¹ Auch das Hintergrundbild sollte in einer OpenGL-konformen Ausdehnung von $2^n \times 2^n$ Pixeln gespeichert werden, z. B. 2048x512. Bei der Bildgestaltung ist es wichtig zu wissen, dass die Bildränder in der 3D-Darstellung im Zenit und im Osten der Szene zusammenlaufen. Von daher ist es gegebenenfalls sinnvoll, einen weißen Rand zu erzeugen, der etwa das obere Drittel des Hintergrundbildes einnimmt. Außerdem sollten die vertikalen Ränder des dargestellten Inhalts genau aneinander passen, da sonst der Rand durch einen „Landschaftsknick“ deutlich sichtbar wird. Die meisten der in dem Enviro-Ergebniskapitel gezeigten Abbildungen enthalten ein Himmelbild zur Hintergrundgestaltung.

Ein weiterer visueller Effekt innerhalb von Enviro ist die Einblendung von Nebel. Dieser ist in der 3D-Szene an- und abschaltbar (über die Taste „F8“). Leider ist es nicht möglich, die Nebeldichte während der Laufzeit von Enviro zu variieren. Ist eine Anpassung erforderlich, so ist entweder die

¹ vgl. Kapitel 5.3.1

INI-Datei anzupassen¹ oder die Einstellungen im Startdialog von Enviro vorzunehmen.² In der über das VBA-Makro erzeugten INI-Datei ist der Nebel standardmäßig deaktiviert, die Sicht bei „eingeschaltetem“ Nebel (Taste „F8“) wird durch das Makro auf 3 km begrenzt (Abbildung 65).

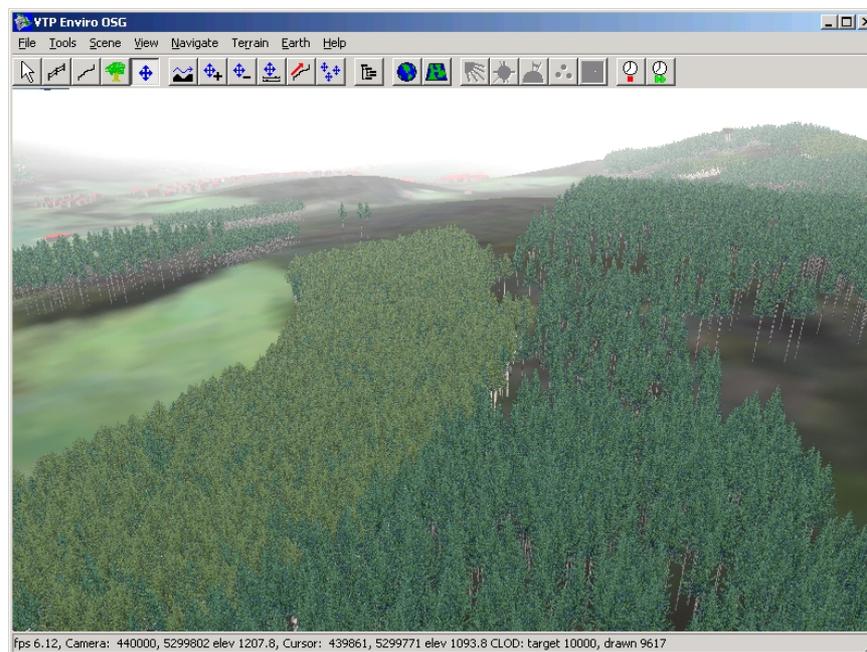


Abb. 65: Enviro 3D-Szene mit aktiviertem Nebel

5.3.5 Möglichkeiten der Darstellung von Waldstrukturentwicklungen mit Enviro

In der ursprünglichen Form von Enviro ist die Darstellung von Waldstrukturentwicklungen nur umständlich möglich. Wie in Kapitel 3.4 beschrieben, kann in die 3D-Szene von Enviro immer nur eine Vegetationsdatei geladen werden. Diese muss vor dem Start von Enviro definiert werden. Somit ist für einen Wechsel der darzustellenden Vegetation immer ein Neustart von Enviro notwendig. Hierbei ergibt sich der zusätzliche Umstand, dass nach dem Neustart der zuletzt gezeigte Ausschnitt der Szene nicht wieder hergestellt wird, sondern immer der gleiche Ausgangszustand der 3D-Darstellung angezeigt wird: Der Beobachter befindet sich im Zentrum der Szene auf der Höhe des Geländemodells. Hier bietet sich immerhin die Möglichkeit, einmal aufgesuchte Betrachterpositionen in einer Liste abzuspeichern und nach dem Neustart von Enviro wieder zu laden. Der zu diesem Zweck in Enviro integrierte Benutzerdialog (Abbildung 66) wird innerhalb von Enviro über den Menüpunkt „View“ -> „Store/Recall Locations“ aufgerufen. Er greift auf eine Textdatei zurück, in der die gewünschten Betrachterstandorte gespeichert werden. Der Name dieser zu Grunde liegenden Datei kann Enviro schon beim Start mitgeteilt werden. Es ist dann nicht notwendig, die Datei in den Benutzerdialog zu laden - auf die gespeicherten Standorte kann direkt über den Dialog zurückgegriffen werden (Schalter „Recall“).

¹ vgl. Kapitel 5.3: In der INI-Datei ist die Zeile anzupassen, die mit dem Eintrag „Fog_Distance“ beginnt. Dort kann ein numerischer ganzzahliger Wert angegeben werden (in Kilometern).

² über „Edit Properties“ -> „Culture“ -> „Fog“ -> „Distance (km)“ im Startdialog von Enviro

Auch beim Erzeugen der Enviro-Initialisierungsdatei¹ aus dem GIS heraus wird eine solche Standortdatei festgelegt. Als Name ist „Standorte.loc“ fest im VBA-Code definiert.² Diese Datei wird dann beim Start von Enviro über das GIS (Schalter „Enviro starten“ in Abbildung 56) automatisch geladen und bereits gespeicherte Standorte können nach Aufruf des o. g. Benutzerdialogs wieder hergestellt werden.



Abb. 66: Dialog zum Speichern und Laden von Betrachterpositionen in Enviro

Es ist dabei möglich, den Dialog permanent geöffnet zu lassen und dennoch in der 3D-Szene zu navigieren. So ist ein schneller Zugriff auf die Funktionen des Dialogs möglich. Bereits gespeicherte Standpunkte können schnell aufgesucht bzw. neue Standorte schnell gespeichert werden. Werden Standorte über den Dialog hinzugefügt (Schalter „Store As..“ um einen neuen Eintrag zu speichern; Schalter „Store“ um den momentan gewählten Standort mit der aktuellen Position zu überschreiben) oder gelöscht (Schalter „Remove“), so ist der geänderte Inhalt des Dialoges vor dem Schließen von Enviro explizit in der Datei „Standorte.loc“ zu speichern (Schalter „Save“). Ansonsten gehen die Änderungen verloren.

Um nun die im GIS prognostizierten Waldentwicklungen in Enviro darstellen zu können, muss jeder prognostizierte Zustand (jeder Prognoseschritt) in eine eigene Enviro-Vegetationsdatei konvertiert werden.³ Nachdem die Geodatenbasis ausgewählt ist, braucht lediglich das Prognosejahr (Listenfeld „Zu exportierendes Jahr“ in Abbildung 56) angepasst und für die resultierenden Enviro-Vegetationsdateien müssen eindeutige Namen angegeben werden.

Alle anderen Einstellungen müssen bei kontinuierlich geöffnetem Export-Dialog (Abbildung 56) nur einmal vorgenommen werden. Der in Enviro darzustellende Zustand wird durch Auswahl einer der exportierten Vegetationsdateien im Feld „Name der VF-Exportdatei“ festgelegt. Vor dem Start von Enviro muss eine aktuelle INI-Datei (Schalter „INI-schreiben“) erzeugt werden. Nach Start von Enviro über den Schalter „Enviro starten“ wird der ausgewählte Zustand dargestellt. Sollen nun bestimmte Bestände in ihrer zeitlichen Entwicklung beobachtet werden, so werden diese in der Szene aufgesucht und der Standort wird über den oben beschriebenen Benutzerdialog gespeichert. Dies kann für mehrere Bestandesbilder erfolgen. Um den nächsten Prognosezustand darstellen zu können, muss Enviro geschlossen, die zugehörige Vegetationsdatei in dem Export-Dialog ausgewählt, die INI-Datei aktualisiert und Enviro erneut gestartet werden. Nach Aufruf des Standort-Dialogs (s. o.) können die zuvor gespeicherten Standpunkte wieder hergestellt und die Veränderungen im Bestandesbild aus der gleichen Perspektive betrachtet werden. Abbildung 67 zeigt die zeitliche Entwicklung des Beispielbestandes aus Kapitel 5.2.5, die über 50 Jahre prognostiziert wurde.

¹ vgl. Kapitel 5.3

² Diese Datei wird, falls nicht vorhanden, als leere Datei im Verzeichnis „E:\VTP\TerrainApps\Data\Locations“ angelegt.

³ vgl. Kapitel 5.3.2

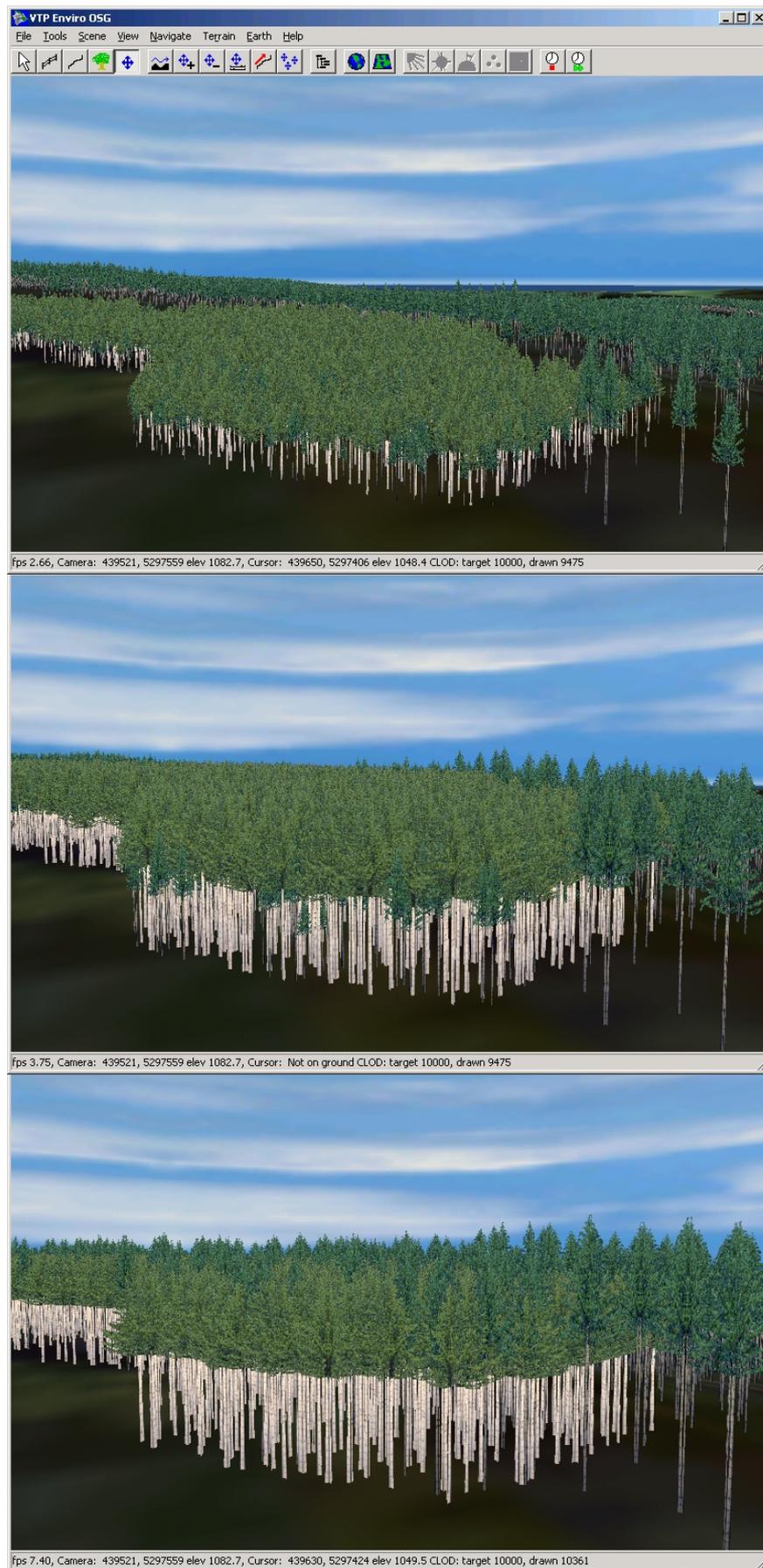


Abb. 67: Darstellung der Waldentwicklung in Enviro (oben IST-Zustand, in der Mitte nach 40 J. und unten nach 100 J.)

5.3.6 Präsentationsmöglichkeiten mit Enviro

Enviro ist an und für sich schon als Präsentationsprogramm konzipiert worden. Eine Automatisierung der Navigation oder der Generierung von Animationen sucht man in der ursprünglichen Fassung allerdings vergebens. Reicht die vorhandene Funktionalität nicht aus oder soll die Oberfläche angepasst werden, so ist dies nur über eine eigene Programmierung möglich. Dazu sollte man allerdings über umfassende Programmierkenntnisse in C++ verfügen. Änderungen sind jederzeit zulässig, da der *source code* von Enviro freigegeben ist und keinen Restriktionen bei der Verwendung unterliegt.

So ist es z. B. schon auf Grundlage des Quelltextes von Enviro möglich, eine ActiveX-Komponente (OCX) zu kompilieren, um diese dann in Office-Anwendungen (z. B. Powerpoint) oder in eine HTML-Seite einzubinden und so eine fertig gestellte 3D-Szene zu präsentieren oder im Internet zu veröffentlichen.

6. Diskussion

6.1 Übergreifende Diskussion des entwickelten Systems - „Systemvergleich“

Ziel der Arbeit war es, eine möglichst „reine“ GIS-Lösung zu erarbeiten, um für die erweiterte forstliche Planung die 3D-Visualisierung von (Wald-)Landschaften zu realisieren, die neben der reinen Visualisierung all die Funktionen bereitstellt, die für den Einsatz im Planungs- und Kommunikationsbereich benötigt werden.¹ Ergebnis ist ein Lösungsansatz auf der Grundlage von ArcView 8.2, der Erweiterung 3D Analyst für ArcGIS und SILVA 2.2 (Kapitel 5.1 und 5.2).

In der Einleitung (Kapitel 1.) wurden die „erwarteten Vorteile eines hochintegrierten GIS-basierten Verfahrens“² formuliert. An dieser Stelle muss nun darauf eingegangen werden, ob diese Erwartungen auch erfüllt wurden und inwieweit sich bei der Projektdurchführung zusätzliche Erkenntnisse über Vorteile und Nachteile eines solchen Ansatzes im Vergleich zu bestehenden Ansätzen (vgl. Kapitel 3.1) ergeben haben.

Ein wesentlicher Vorteil des GIS-basierten Lösungsansatzes (im Folgenden als **3D-GIS** bezeichnet) ist die **Verfügbarkeit sämtlicher GIS-Funktionalitäten in der 3D-Ansicht**. Dieser Vorteil ist in keinem der recherchierten 3D-Visualisierungssysteme, die sich auf die Darstellung von Wäldern und Waldentwicklungen spezialisiert haben, in diesem Umfang vorhanden. Die bisher realisierten Module sind teilweise rein zur Darstellung konzipiert (wie ViWa und EnVision), einige bieten zusätzlich die Möglichkeit, interaktiv in die Bestände einzugreifen und die (Durchforstungs-) Ergebnisse wieder in den gekoppelten Wachstumssimulator zurückzuführen (wie SVS und TREEVIEW). Da die bestehenden Systeme nicht direkt in ein GIS integriert sind, fehlt ihnen „naturgemäß“ ein vergleichbarer Umfang an GIS-Analysefunktionen. Aus Benutzersicht geforderte umfassendere Interaktionsmöglichkeiten (vgl. Kapitel 2.2.2) in größerem Umfang bietet allein die 3D-GIS-Lösung. In einer Studie³ wurden die von Nutzern geforderten Anforderungen an 3D-Interaktionen in geovirtuellen Visualisierungsumgebungen ermittelt. Diese entsprechen im Wesentlichen den Grundfunktionen eines Geografischen Informationssystems.

Durch die zentrale Datenverwaltung im GIS kann in der 3D-Umgebung **auf alle verfügbaren Geodaten zurückgegriffen werden**. Die meisten anderen Verfahren bieten jeweils nur eine genau definierte Datenbasis zur Anzeige an. Das können wie in MONSU neben den Geländedaten nur die Vegetationsdaten sein. Dies geht im Allgemeinen nicht über die typischen Landschaftsmerkmale hinaus (Vegetation, Straßen, Gebäude und Gewässer). Dort ist die Einbindung und Darstellung eher abstrakter Daten, wie Exposition und Biotopdaten, meist nicht vorgesehen. Im GIS können Vegetationsdaten auch auf der Grundlage von Informationen ausgewählt werden, die gar nicht in dem eigentlichen Vegetationsthema gespeichert sind, sondern durch die Analyse anderer mit in die 3D-Umgebung eingeladener Geodaten generiert werden („Analytische Navigation“).

Durch die Integration der 3D-Visualisierungsumgebung in das GIS stehen Bearbeitungsergebnisse sowohl aus der 2D-Ebene, wie auch der 3D-Ebene direkt für das gesamte System zur Verfügung.

¹ Anforderungen die sich aus diesen Anwendungszielen ergeben sind in Kapitel 2.3 benannt worden.

² Der entsprechende Abschnitt in Kapitel 1. trägt auch genau diese Überschrift.

³ vgl. FUHRMANN ET AL. 2001

Die Daten müssen nicht aus dem GIS in ein spezielles Format konvertiert werden, um in die 3D-Szene integriert werden zu können. Nur wenige der bestehenden Ansätze bieten eine direkte Unterstützung für die Geodatenbasis, speziell der Geometriedaten (EnVision). Für die anderen Ansätze müssen die Geodaten in ein bestimmtes, von der 3D-Visualisierungseinheit lesbares Format gebracht werden. Entweder müssen hierzu die Daten vorab vom Benutzer konvertiert werden (z. B. MONSU, L-VIS, ViWa, SmartForest) oder nutzen eine „*on-the-fly*“-Konvertierung (Virtual Forest). Werden Geometrien bearbeitet, müssen die Ergebnisse wiederum durch Konvertierung in das GIS gebracht werden. Etwas besser sieht es bei dem Austausch von reinen Sachinformationen aus. Hier besteht verschiedentlich die Möglichkeit, eine Datenbank (z. B. Inventurdatenbank bei TREEVIEW, SmartForest, MONSU) zu nutzen, die auch an das GIS angebunden ist oder auf den Geodaten des GIS beruht.

Im GIS können **mehrere Themen zu einem Objekttyp parallel** vorgehalten werden. So ist es möglich, mehrere Entwicklungszustände der Waldvegetation (den Objekttyp „Vegetation“) oder auch die Ergebnisse von verschiedenen Durchforstungsvarianten gleichzeitig in der 3D-Ansicht vorzuhalten und so flexibel ein- und ausblenden zu können. Dies vereinfacht den Vergleich verschiedener Zustände/Varianten, und mehrere Zustände können sogar, falls dies als sinnvoll erachtet wird, gleichzeitig angezeigt werden. Kaum eines der anderen Systeme beinhaltet diese Funktionalität. Nur das System „Virtual Forest“ scheint ähnliche Möglichkeiten zu bieten. Einige andere Programme (wie SVS) ermöglichen zumindest das direkte Aufzeigen und Vergleichen von Entwicklungen, die meisten der bestehenden Systeme können aber immer nur ein Vegetationsthema (einen Zustand) auf einmal darstellen. Um ein anderes Vegetationsthema darstellen zu können, muss dieses nachgeladen werden und ersetzt dann den vorigen Zustand, was einen direkten Vergleich erschwert. Der scheinbare Ausweg, auf das Erzeugen von Einzelbildern auszuweichen und diese dann am Bildschirm oder als analogen Ausdruck zu vergleichen¹, ist zeitaufwändig und nicht so gut für das „spontane“ Erzeugen und Diskutieren von Szenarien geeignet.

Von der GIS-Software aus sind alle Komponenten steuerbar. Es existiert somit eine **zentrale Einheit**, die als „Ausgangsbasis“ sowohl für die (Wald-)Strukturgenerierung und die Waldwachstumssimulation, als auch für die 3D-Visualisierung der daraus entstandenen Ergebnisse anzusehen ist. Der Strukturgenerator bzw. Waldwachstumssimulator wurde an das GIS durch eine neue Schnittstelle angekoppelt, um den Datentransfer und die Steuerung des Programms vom GIS aus zu ermöglichen. Ein ähnlicher Gedanke wurde auch bei Virtual Forest verfolgt. Dieses Programm lässt sich aus ArcInfo heraus starten, muss allerdings die benötigten Daten in ein anderes Format konvertieren, bevor diese angezeigt werden können. LMS verfolgt den Gedanken der zentralen Steuerung, indem es die Steuerung sämtlicher benötigter Module in seine grafische Benutzeroberfläche integriert. Hier liegt allerdings kein GIS zu Grunde, was wiederum andere Nachteile mit sich bringt. Eine enge Verzahnung nur mit einem Waldwachstumssimulator lässt sich hingegen häufiger finden (z. B. TREEVIEW und SVS).

Das 3D-GIS beinhaltet viele **Präsentationsformen**. Während sich die meisten der bestehenden Systeme auf wenige Präsentationsformen beschränken, bietet die GIS-Lösung alle bei den bestehenden Systemen genannten Präsentationsmöglichkeiten (Bild, Bildfolge [z. B. zur Darstellung von Wachstumsentwicklung], Animation [Film], geführte Kamerafahrt durch die *live*-Szene und die interaktive Navigation). Dabei sind unterschiedliche Perspektiven wählbar, vom bodengebundenen Wald-

¹ Solche Bildserien finden sich z. B. bei KNAUFT 2000, S. 76.

spaziergang (*walkthrough*) zur freien Bewegung in allen Richtungen im und über dem Bestand (*fly-through*).

Die **Darstellung der Vegetation** bei der Einzelbaum-bezogenen, großräumigen Waldlandschaftsvisualisierung ist bei der gegenwärtigen Hardware- und Softwareleistung grundsätzlich eine Kompromisslösung. Es ergibt sich das hierbei typische technische Problem, dass, je größer der darzustellende Landschaftsausschnitt ist, desto einfacher die Darstellung oder die Präsentationsform sein muss. Dieses Problem trifft auch auf GIS zu. Für die 3D-Visualisierung wurde die *billboard*-Technik auf das 3D-GIS übertragen, um die Waldvegetation Einzelbaum-bezogen und dennoch Ressourcen schonend in der entsprechenden GIS-Erweiterung darstellen zu können. Die so repräsentierten Bäume entsprechen nicht dem hohen Detailreichtum, der auf der Basis botanisch orientierter Baummodelle z. B. von ViWa erreicht wird, stellen aber einen höheren Realitätsgrad dar als in den Programmen, die auf reine Primitiven (AUFRISS), auf zusammengesetzte Primitiven mit Textur (TREEVIEW, L-VIS) oder auch auf detaillierte aber stilisierte Baummodelle (SVS) zurückgreifen. Die gleiche Technik, die in dieser Arbeit verwendet wurde, wird auch bei einem Großteil der restlichen Systeme zur großräumigen Darstellung (MONSU, EnVision) oder auch im Nahbereich verwendet (SmartForest).

Die Nutzung von Primitiven kann aber auch Vorteile gegenüber der hier genutzten Texturdarstellung von Bäumen bieten. All jene Programme, die Volumenkörper verwenden, können gegenüber der einfachen Texturdarstellung den Vorteil bieten, dass ein besserer Eindruck über die Volumina vermittelt wird. Bei diesen Programmen werden die einzelnen Bäume individuell auf der Grundlage von Kronenansatzpunkt, Kronenbreite usw. konstruiert. Demgegenüber müssen bei Texturbäumen (*billboards*) und hochdetaillierten 3D-Baummodellen wie AMAP-Bäumen (derzeit noch) gröbere Klassifizierungen vorgenommen werden, da nicht für jedes individuelle Baumbild eine Textur / ein 3D-Baummodell vorgehalten werden kann.

GIS bleibt in Bezug auf die 3D-Darstellung der Bäume allerdings erweiterbar. Prinzipiell lassen sich alle Typen von Einzelbaumtechniken im GIS realisieren. Bei steigender Hardwareleistung und besserer Unterstützung von Fototexturen können hier auch leicht 3D-Baummodelle eingebunden werden und somit im GIS eine Qualität der Einzelbaumdarstellung erreicht werden, die derzeit nur von ViWa verwirklicht wird.

In der vorliegenden Arbeit wurden Grundlagen zur Entwicklung eines hochintegrierten GIS-basierten forstlichen Visualisierungsmoduls erarbeitet und Vorschläge und Anleitungen zur technischen Umsetzung gegeben (Kapitel 5.). Die Arbeit versteht sich als technische Referenz, aus deren Ableitung neue Ansätze entwickelt und in einsatzfähige Programmpakete umgesetzt werden können. Die technische Entwicklung des präsentierten Ansatzes wird nachfolgend detaillierter diskutiert. Zunächst wird hierbei auf die Aspekte eingegangen, die zur Erstellung des Ausgangszustandes für 3D-Visualisierung notwendig waren (Ausgangsdaten, Erstellung der Einzelbauminformationen, Eignung des GIS zur Datenhaltung). Anschließend wird die eigentliche Bewertung des 3D-GIS in Bezug auf Qualität der Visualisierung und des Funktionsumfanges vorgenommen. Hierzu werden die Ergebnisse der parallel entwickelten GIS-basierten Referenzlösung mit dem auf 3D-Visualisierung spezialisierten Programm Enviro herangezogen.

6.2 Diskussion der Datengrundlage

Die benutzten Daten werden in dieser Diskussion zwei Gruppen zugeordnet. Die erste Gruppe bezieht alle forstlichen und waldwachstumsrelevanten Daten ein. Durch die Nutzung und Aufbereitung dieser Datengruppe sollte der IST-Zustand von Waldstrukturen erfasst sowie deren Dynamik aufgezeigt werden. In diesem „quantitativen“ Anwendungsbereich konnte eine möglichst genaue Datengrundlage¹ und auch eine möglichst optimale Zusammensetzung (vor allem bezüglich des Aufnahmedatums) der Daten erreicht werden.² Diese Daten dienen als Grundlage zur Darstellung der Bestände und deren potenzielle Entwicklung.

Die zweite Gruppe der Daten diene dazu, die Waldbestände visuell mit einer möglichst realitätsnahen, virtuellen Landschaft zu umgeben. In diesem Anwendungsbereich besitzt die vorliegende Studie den Charakter einer Machbarkeitsstudie. Der Hauptanspruch an diese Datengruppe ist die leichte und kostengünstige Verfügbarkeit für den Forstbereich.³ Um eine maximal erreichbare Realitätsnähe in der Wiedergabe der den Wald umgebenden Landschaft zu erhalten, können genauere Angaben zu

- a) Gebäudedaten erhoben werden und
- b) optimierte Inputdaten für das Fusionsbild

vorliegen.

◦ *ad a) Gebäudedaten*

Für die 3D-Modellierung der im Untersuchungsgebiet liegenden Gebäude wurde auf Daten aus der „Automatisierten Liegenschaftskarte“ (ALK) zurückgegriffen. Für die 3D-Darstellung fehlen in dieser Datenbasis allerdings die erforderlichen Parameter, vor allem die Höhe einzelner Gebäude. Da diese für die Zielsetzung der vorliegenden Studie keine Relevanz haben, sind diese aus pragmatischen Gründen auch nicht nachträglich gemessen worden, sondern es sind „real mögliche“ Werte eingetragen worden. Für einen Einsatz des 3D-Modells im Kommunikationsprozess, in dem auch die Öffentlichkeit involviert ist, sollten die Gebäudedaten allerdings möglichst den tatsächlichen Werten entsprechen. Dies ist ein sehr aufwändiger Vorgang, der möglichst rationalisiert durchgeführt werden sollte. Liegen die Gebäudehöhen nicht bereits bei der örtlichen Verwaltung vor, können sie durch stereoskopische Messungen oder gegebenenfalls über einen Ortsbezug hergeleitet werden. Sollen demgegenüber nicht nur simple Blockmodelle zur Darstellung genutzt werden, so sollte auf die Aufbereitung der ALK-Daten verzichtet werden und die Gebäudemodelle über eine spezielle Software⁴ zur Generierung von 3D-Stadtmodellen halbautomatisch (aus Luftbildern oder Laserscannerdaten) generiert werden.⁵

¹ Zur Datengrundlage vgl. Kapitel 4.2; für den Einsatz im Bereich der Waldwachstumsprognose vgl. Kapitel 5.1.

² Die für diesen Anwendungsbereich zur Verfügung stehende Datengrundlage ist nicht ganz unproblematisch. Diese Problematik wird aber erst nachfolgend im Zusammenhang mit der erstellten GIS-SILVA-Schnittstelle (Kapitel 6.4) besprochen.

³ Zu den eingesetzten Daten vgl. noch einmal Kapitel 4.2.

⁴ Die derzeit bekannteste Software hierfür ist der „CyberCity Modeler“; vgl. online unter der URL <http://www.cybercity.tv/cc_modeler_d.htm> (24.08.2003).

⁵ Zur halbautomatischen Generierung von Stadtmodellen vgl. GRÜN u. WANG 1999; BRENNER u. HAALA 2000.

◦ *ad b) Fusionsbild*

Ein weiterer kritisch zu beleuchtender Punkt betrifft die Auswahl der Rasterdaten zum Erstellen des Fusionsbildes.¹ Dieses wurde aus einer leicht verfügbaren Datengrundlage erstellt, um für das Projekt keine zusätzlichen Kosten entstehen zu lassen. Dieses Vorgehen reicht zur Verwendung als Anwendungsbeispiel aus. Für einen Praxiseinsatz sollten die Fernerkundungsdaten allerdings bestmöglich aufeinander abgestimmt sein. Dies betrifft vor allem den Zeitpunkt der Bildaufnahmen. Dabei sollte der Zeitpunkt so gewählt werden, dass er möglichst das Jahr und die Jahreszeit wiedergibt, die dem Zeitpunkt der gewünschten 3D-Visualisierung entspricht. Außerdem sollte möglichst eine einheitliche Datengrundlage für die gesamte darzustellende Szene gewählt werden², um Unterschiede in der Schärfe und der Farbgebung zu verhindern. Für den Forstfachbereich bieten sich als geometrisch hochauflösende Komponente Schwarz-Weiß-Luftbilder an, die an den Landesvermessungsämtern bereits als digitale Orthobilder vorliegen und auf die die Landesforstverwaltungen einen leichten Zugriff haben bzw. dort häufig bereits z. B. für die Forsteinrichtung vorliegen. Bei diesen Bilddaten sind sämtliche Vorbereitungsschritte (wie Digitalisierung, Georeferenzierung und [Ortho-]Rektifizierung) bereits erfolgt, was die weitere Verwendung erleichtert.

Bei der Fusionierung sollten außerdem „moderne“ Verfahren wie der AIF-Filter eingesetzt werden, um die visuelle Qualität der Ergebnisse durch eine „Schärfung“ der Geometriestrukturen zu verbessern.³ Optimale Ergebnisse lassen sich bei der gewählten Datenzusammensetzung aber dennoch nicht erzielen. Die Landsat Daten sind zwar häufig bereits vorhanden und zudem vergleichsweise günstig,⁴ ihre Auflösung von 30x30 m ist aber zu grob, um im großen Maßstab noch gute Ergebnisse zu erzielen. Kleine Objektstrukturen werden u. U. nicht mit ihrer natürlichen Farbe wiedergegeben (vgl. Abbildung 68).



Abb. 68: Unrealistische Farbwiedergabe bei kleinen Objekten nach der *imagefusion*

¹ Die Erzeugung des Fusionsbildes ist einschließlich der eingesetzten Rasterdatengrundlage in Kapitel 4.2.1 beschrieben.

² vgl. Kapitel 4.2.1

³ Hierzu wurden bereits in Kapitel 4.2.1 „Fusionsbild (über *imagefusion*)“ Ausführungen gemacht.

⁴ So kostet eine komplette Szene (185 km² Ausdehnung und alle Kanäle) des Landsat-7-TM, der als Nachfolge des Landsat-5-TM anzusehen ist und die gleiche Auflösung von 30 m im multispektralen Bereich bietet, nur zwischen 300 und 600 €.

Abhilfe wäre durch die Verwendung höher auflösender Satellitendaten zu erreichen. So gibt es heute bereits Sensoren mit einer Auflösung im multispektralen Bereich (somit auch im sichtbaren elektromagnetischen Spektrum) von bis zu 2,5 m.¹ Eine noch höhere Auflösung erzielt man derzeit nur durch eine in Auftrag gegebene „Farbluftbildbefliegung“. Diese ist für den Großeinsatz allerdings zu teuer und in näherer Zukunft sicherlich nicht praxisrelevant. Aber auch die hochauflösenden multispektralen Satellitendaten sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch relativ teuer. Ein zukünftiger Einsatz dieser ist daher nur dann wahrscheinlich, wenn diese gleichzeitig noch weiteren Verwendungszwecken der Forstverwaltung zugeführt werden können. Generell wäre es in diesem Zusammenhang denkbar, auf der Grundlage hochauflösender Bildmaterials die Bestandesgeometrien aus dem FOGIS zu validieren und zu verfeinern (z. B. das Ausscheiden von Gruppenstrukturen), sodass für die Simulation der Bestandesstrukturen möglichst homogene Einheiten geschaffen werden.

◦ *Fazit*

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist zu erreichen, indem zum einen typische forstliche Daten und zum anderen leicht zugängliche bzw. bereits vorliegende Daten für die Landschaftsvisualisierung genutzt und aufbereitet werden. Eine Erhöhung der Qualität und eine Vereinfachung der Nutzung von Fernerkundungsdatensätzen ist durch neue Entwicklungen in diesem Segment zukünftig möglich. Hochauflösende, multispektrale Satellitendaten und Laserscannerdaten sind allerdings noch sehr teuer.

6.3 Bewertung der GIS-Software ArcGIS als zentraler Bestandteil der entwickelten Lösungsansätze

Das Hauptziel der vorliegenden Studie war es zu untersuchen, inwieweit sich GIS als zentraler Bestandteil eines Systems zur (3D-)Visualisierung von Waldstrukturen und deren Dynamik eignet. Dabei sollte untersucht werden, inwieweit sich GIS generell als Basis für die Visualisierung, auch in 3D, eignet und alle hierfür benötigten Funktionen zur Verfügung stellt bzw. sich diese in dem GIS integrieren lassen. In bisherige Ansätze wird GIS im Allgemeinen rein zur Bereitstellung der Daten eingesetzt - die mächtigen Funktionen des GIS werden dabei jedoch nicht konsequent genutzt.² Es hat sich gezeigt, dass alle Aufgaben, die entsprechend der **Zielsetzung** an das GIS gestellt worden sind, gut **zu erfüllen** sind, was noch genauer ausgeführt werden soll.

Als GIS wurde die „Quasi-Standard-Software“ der forstlichen Praxis in Baden-Württemberg, die Produkte der Firma ESRI, erprobt.³ Die Wahl der GIS-Software ist damit zu begründen, dass das zu entwickelnde (3D)-Visualisierungs-Modul praxisnah sein sollte. Diese Praxisnähe ist nur dann gegeben, wenn auch der „Praktikabilitätsfaktor“ Wirtschaftlichkeit erfüllt ist.⁴ Daher sollte sich an den gegebenen Strukturen in der Softwareausstattung des Landes orientiert werden, damit keine unnötigen Zusatzkosten bei einem etwaigen Einsatz entstehen. Außerdem ergibt sich eine weitere Ein-

¹ QuickBird ca. 2,5 m und Ikonos 4 m gegenüber 30 m bei Landsat-5-TM; im panchromatischen Bereich sogar bis zu 0,61 m beim QuickBird; für eine Gegenüberstellung der aktuell verfügbaren Satellitendaten vgl. online unter der URL < <http://www.eduspace.esa.int/eduspace/subtopic/default.asp?document=299> > (20.08.2003).

² vgl. Kapitel 3.1

³ Zu den eingesetzten GIS vgl. 4.3.1.

⁴ vgl. Kapitel 2.1

sparung dadurch, dass Mitarbeiter bei einer lediglichen Erweiterung dieser bereits bekannten Software nicht gesondert geschult werden müssen.

◦ ***Bewertung von ArcGIS innerhalb der ESRI-Produktpalette***

In der vorliegenden Arbeit wurde hauptsächlich mit der aktuellsten Programm-Version, ArcView 8.2 aus der ArcGIS-Produktpalette, gearbeitet. Das Zurückgreifen auf dieses Paket hat sich bewährt, da hier einige neue Funktionen integriert worden sind, die in den älteren Versionen von ArcView (bis einschließlich 3.2) nicht beinhaltet waren. Dies betrifft vor allen Dingen den Aspekt der Programmierung. In der aktuellen Version hat ein Wechsel von AVENUE zu Visual Basic (bzw. Visual Basic for Applications) stattgefunden.¹ In diesem Zusammenhang ist es als besonders positiv zu bewerten, dass im Zuge der Umstellung das Programmierkonzept für die gesamte „neue“ ArcGIS-Produktpalette vereinheitlicht wurde. Anpassungen und Programmerweiterungen, die für ein bestimmtes Paket der Produktpalette geschrieben wurden, sind nun in der gesamten Produktpalette nutzbar. In den früheren Versionen waren Programmierungen für ArcView 3.x inkompatibel mit der Workstation-Version ARC/INFO. Außerdem besteht durch den Einsatz des neuen Programmierkonzeptes die Möglichkeit, auch „dll“-Programmierungen vorzunehmen, die den Einsatz sowohl in ArcGIS als auch in einem „Standalone“-GIS-Browser ermöglicht.²

Die durch das neue Programmierkonzept bereitgestellten Funktionen erhöhen die Möglichkeiten zur Erweiterung des GIS immens. Erst hierdurch konnten bestimmte Teile bei der Entwicklung der Lösungsansätze überhaupt erst realisiert werden.³ Dabei ist die gravierendste Neuerung im Zusammenhang mit der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit die Möglichkeit, durch die Programmierung Texturen auf senkrechte Flächen aufzubringen. Diese Funktionserweiterung ist zwingend notwendig, um eine großflächige Einzelbaum-basierte Vegetationsdarstellung durch Umsetzung der *billboard*-Technik auf das GIS realisieren zu können.⁴

GIS ist durch die Verfügbarkeit der internen Programmierumgebung flexibel genug, um eine automatisierte Verarbeitung der Datengrundlage zu erlauben und eine Schnittstelle zu externen Programmen aufzubauen. Dieser Sachverhalt ist nachfolgend noch auszuführen.

◦ ***GIS zum Umwandeln typischer forstlicher (mittelwertsbezogener) Daten zu einer Einzelbaum-basierten Ausgangslage für die GIS-basierte 3D-Visualisierung***

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit haben gezeigt, dass sich GIS sehr gut als Träger der Ausgangsdaten sowohl für die GIS-interne als auch für die GIS-basierte externe 3D-Visualisierung großflächiger (einzelbaumbezogener) Vegetationsdarstellungen eignet,⁵ da GIS als Träger großer Datenmengen fungieren kann und alle Funktionen besitzt, um diese speichern, verwalten und analysieren zu können. Die Vegetationsdaten lassen sich im GIS den gewünschten Erfordernissen entsprechend aufbereiten. Das Vorhalten und Verarbeiten von tausenden von Einzelbäumen war, wie dies zu erwarten war, kein Problem - sind diese Anwendungsaspekte doch die eigentliche Stärke von GIS.

¹ vgl. auch Kapitel 4.3.4

² Der Prototyp eines Standalone-viewers ist in Kapitel 5.2.6.3 näher beschrieben.

³ vgl. Kapitel 5.1 und 5.2.2

⁴ Die Umsetzung der *billboard*-Technik in ArcGIS ist in Kapitel 5.2.2 beschrieben.

⁵ vgl. Kapitel 5.2.2 und 5.3.2

Um diese Einzelbaum-basierte Datengrundlage aus dem normalerweise mittelwertsbezogenen forstlichen Dateninput generieren zu können, war allerdings die Anbindung eines Strukturgenerators bzw. eines Waldwachstumssimulator an das GIS notwendig. Auch diese Anbindung und die Rückführung und Manipulation der Prognoseergebnisse ließen sich hervorragend innerhalb von ArcGIS (wiederum durch die Programmiererweiterung) umsetzen. Die Probleme, die sich bei dieser Anbindung ergeben haben, werden noch ausführlich in einem späteren Kapitel besprochen.

◦ ***Bewertung von GIS als Basis zur 3D-Visualisierung (GIS-basierte 3D-Visualisierung)***

In der vorliegenden Arbeit wurden zwei parallele Lösungsansätze entwickelt.¹ Bei beiden wurde das GIS ArcView 8.2 als Basis für die Datenhaltung genutzt. Dieser „enge“ GIS-Bezug ist, wie oben bereits angemerkt, der wesentliche Forschungsansatz der vorliegenden Arbeit. Die Verwendung von GIS als zentrale Einheit für die Simulation und Visualisierung großräumiger Zusammenhänge findet sich so nicht bei den anderen derzeit zur Verfügung stehenden forstlichen Visualisierungsmodulen.² Die Komplexität kann bereits im GIS reduziert, und Nachbarschaftsbeziehungen können aufgezeigt werden.

Ein weiterer Vorteil der GIS-gestützten 3D-Visualisierung liegt in der Erweiterbarkeit der 3D-Szene durch zusätzliche Geo-Informationen. Hier zählt es sich vor allem für die Erhöhung der Realitätsnähe und Abstraktionsnähe³ aus, dass sämtliche anthropogene Landschaftsmerkmale „leicht“ mit in die 3D-Szene eingebunden werden können. Für den Betrachter ergeben sich dadurch Assoziationspunkte, über die er einen leichteren „Einstieg“ in die dargestellte Szene bekommt - und somit auch in die zu vermittelnden Vorgänge.

◦ ***Automatisierte Steuerung einer „externen“ 3D-Visualisierung aus dem GIS heraus***

Auch die Anbindung und automatisierte Steuerung einer externen 3D-Visualisierungsumgebung aus dem GIS heraus ließ sich sehr gut realisieren.⁴ Die hierzu notwendigerweise zu programmierende Schnittstelle ließ sich durch das neue Programmierkonzept von ArcGIS in idealer Weise umsetzen. Der in der vorliegenden Arbeit gezeigte Ansatz in Form einer programmierten Schnittstelle zwischen ArcGIS und dem Visualisierungspaket Enviro lässt sich auch auf andere Visualisierungsumgebungen übertragen. Dabei ist die zentrale Datenaufbereitung und Ansteuerung des Visualisierungsmoduls aus dem GIS heraus einer der innovativen Ansätze der vorliegenden Studie. Die zentrale Ansteuerung aus dem GIS heraus ist selbst dann vorteilhaft, wenn das externe Visualisierungsmodul einen Importfilter für die GIS-Daten besitzt,⁵ da durch die automatisierte Ansteuerung keine Notwendigkeit besteht, sich tief in das Visualisierungsprogramm einzuarbeiten. In diesem ist es eventuell umständlich, die Daten „mühsam“ auf der Festplatte zu suchen. Im GIS sind die Daten bereits organisiert und lassen sich so leicht an die Visualisierungsumgebung übergeben. Voraussetzung ist natürlich, dass das anzusteuernde Visualisierungsprogramm entweder direkt mit GIS-Daten im vorhandenen Dateiformat arbeiten kann (also keine Konvertierung notwendig ist) oder aber das Dateiformat des Visualisierungspaketes offen gelegt ist, sodass Konvertierungsroutinen für die GIS-

¹ Eine Übersicht über die beiden Lösungsansätze gibt die Einleitung von Kapitel 5.

² Die bereits existierenden forstlichen Visualisierungsmodule werden in Kapitel 3.1 vorgestellt.

³ Zur Abstraktionsnähe vgl. auch Kapitel 2.2.2 und 5.2.3.

⁴ Zur Anbindung der externen 3D-Visualisierungsumgebung Enviro an das GIS vgl. Kapitel 5.3.

⁵ So kann z. B. Enviro das *shapefile*-Format importieren.

Schnittstelle geschrieben werden können - wie dies in der vorliegenden Arbeit für die offen gelegten Dateiformate von Enviro vollzogen wurde.

Die eigentliche Bewertung des verwendeten GIS als 3D-Visualisierungssystem wird noch nachfolgend in der Diskussion in Form einer Gegenüberstellung mit dem „externen“ Visualisierungssystem Enviro erfolgen.

◦ **Fazit**

Wie gezeigt werden konnte, eignet sich das GIS ArcView 8.x sehr gut als zentrales Modul für das entwickelte Lösungskonzept. Wie nicht anders zu erwarten, lassen sich alle Bereiche des Datenmanagements in idealer Weise mit diesem Programm durchführen - ist doch das Datenmanagement die eigentlich Stärke von GIS. Aber auch die Erweiterung für spezielle Aufgaben lassen sich (spätestens) durch die in ArcView 8.x implementierte Programmierumgebung erreichen. Eine Aufbereitung der im GIS gespeicherten Daten für Waldwachstumssimulation und für die angestrebte 3D-Visualisierung lässt sich genauso gut realisieren, wie auch die automatisierte Steuerung der zu verknüpfenden Module Wachstumssimulator und 3D-Visualisierungsumgebung aus dem GIS heraus (GIS als Steuerzentrale).

6.4 Kritische Stellungnahme zum GIS-SILVA-Interface

GIS kann als Basis zur Simulation von Waldstrukturentwicklungen genutzt werden. Durch die Verfügbarkeit der internen Programmierumgebung und Programmierbibliotheken lassen sich Vorgänge automatisieren und die Daten für einen „externen“ Simulator aufbereiten. Das Vorgehen wurde in der vorliegenden Arbeit durch die Programmierung einer bis dahin nicht vorhandenen Schnittstelle (*Interface*) zwischen ArcGIS und dem Waldwachstumssimulator SILVA aufgezeigt.¹

Dabei ist das modulare Konzept des Lösungsansatzes (vgl. Kapitel 5.) als sehr vorteilhaft zu bewerten, da man durch Anpassungen im Programmcode des erstellten *Interfaces* flexibel auf Änderungswünsche reagieren kann. In der vorliegenden Arbeit wurde zwar auf SILVA 2.2 zurückgegriffen - durch das modulare Konzept ist es aber jederzeit möglich, auf einen anderen Simulator umzusteigen, oder aber auf Änderungen an SILVA, z. B. im Steuerdateiformat, zu reagieren.

Die momentane Version des Interfaces ist ein Prototyp und ist vor einem Praxiseinsatz noch einmal mit Forstfachleuten zu diskutieren. Der Aspekt, der bei der Programmierung der automatisierten Steuerung von SILVA die größten Schwierigkeiten gemacht hat, war die Zuordnung der SILVA-Prognoseparameter zu einer der drei Gruppen „GIS“, „Konstante“ bzw. „Benutzereingabe“. Bei den nicht eindeutig zuzuordnenden Parametern wurden die meisten der hier getroffenen Entscheidungen auf Grundlage eigener „Experimente“ mit SILVA und auch durch Diskussionen in der Arbeitsgruppe SDSS² festgelegt.³

¹ vgl. Kapitel 5.1

² vgl. „Rahmenbedingungen“ in Kapitel 1.

³ Ein Beispiel hierfür ist die Ermittlung des Wuchsgebietes. In der jetzigen Version des GIS-SILVA-Interfaces wird dieses über einen Benutzerdialog abgefragt. Es wäre hier aber auch möglich, den Wert aus der GIS-Datenbasis (der digitalen Standortkarte) automatisiert zu ermitteln. Dies wurde aus Gründen der Inkompatibilität der vorhandenen, für Baden-Württemberg gültigen Datengrundlage mit den Definitionen in der zuständigen SILVA-Wuchsbezirksdatei unterlassen. In dieser fehlen, zumindest für Baden-Württemberg, relevante Wuchsbezirke. Eine Anpassung dieser Datei ist notwendig, da in ihr auch grobe Standortparameter mit enthalten sind.

Die Zuordnung von Parametern zu der Gruppe der „Konstanten“ (wie die möglichen Eingabewerte zu Stoffeinträgen, Koeffizienten zur Berechnung der Höhenleitkurve usw.) macht die größte Schwierigkeit. Ihr Zusammenspiel ist sehr komplex und das Setzen von Werten bei Nichtbeachten von Abhängigkeiten kann zu unerwünschten Ergebnissen führen. Für das methodische Vorgehen der vorliegenden Studie wurden die meisten dieser Parameter von daher auf Standardwerte eingestellt, durch welche diese bei den Prognoseläufen von SILVA nicht weiter berücksichtigt wurden. In diesen Konstanten steckt allerdings das Potenzial, die Prognoseergebnisse von SILVA noch zu verbessern - dieses Potenzial könnte durch den Dialog mit den entsprechenden Fachleuten, vorzugsweise den SILVA-Entwicklern¹, zukünftig genutzt werden.

Es wäre eine weitere Erleichterung, wenn zusätzlich GIS-spezifische Daten an SILVA übergeben werden könnten. Dazu gehören Anforderungen, wie eine Koordinatenhaltung im Gauß-Krüger-Koordinatensystem innerhalb von SILVA² und die Aufhebung der maximal von SILVA zu verarbeitenden Anzahl von Einzelbaumdaten innerhalb einer Fortschreibungsperiode³.

Im Zusammenhang mit dem GIS-SILVA-Interface muss auch auf die Ausgangsbasis zur Abgrenzung homogener Simulationseinheiten (Bestände) eingegangen werden. Hier wurde in der vorliegenden Arbeit einzig auf die Bestandesgeometrien aus der Forsteinrichtung zurückgegriffen. Es wäre eine Verfeinerung der Geometrien denkbar, die zu einer Homogenisierung der Ausgangsdaten für die SILVA-Prognose und zu einer Qualitätserhöhung der Simulationsergebnisse führen könnte: In den Bestandeskarten findet sich als kleinste Einheit der Bestand - Besonderheiten in der Bestandesstruktur, wie lokalisierte Baumgruppen oder eine partiell „ankommende“ Naturverjüngung werden oft nur in der verbalen Bestandesbeschreibung gekennzeichnet. Diese Informationen gehen bei der ausschließlichen Verwendung der Bestandesstrukturen der digitalen Forsteinrichtungskarte (FOGIS-Datensatz) verloren. Dies ist auch in der momentanen Version des GIS-SILVA-Interfaces der Fall.

Abhilfe könnte erzielt werden, wenn die verbalen Bestandesbeschreibungen in Bestandesgeometrien vor der Simulation eingeflochten würden. Eine andere Möglichkeit würden Fernerkundungsdatensätze darstellen, wie z. B. die Schwarz-Weiß-Luftbilder, die an den Vermessungsämtern und Forstdirektionen vorliegen. Die genaueren Bestandesstrukturen könnten durch Digitalisierung erfasst werden. Hier ist allerdings ein erheblicher Aufwand zu befürchten. Für die Zukunft sind für diesen Ansatz allerdings erhebliche Erleichterungen durch derzeit erprobte Verfahren zu erwarten. So lassen sich die Bestandesgeometrien (halb-)automatisiert aus hochauflösenden Satellitendaten oder Laserscannerdaten über Segmentierungsverfahren erfassen. Als Beispiele lassen sich aktuelle Projekte aus der Sturmflächenerfassung⁴ aber auch aus dem Bereich der Forstplanung anführen⁵.

¹ Bei den Entwicklern handelt es sich um eine Arbeitsgruppe um Prof. Pretzsch am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TU München.

² Hierdurch könnte z. B. bei der Übergabe GIS-gespeicherte Mittelwerte an SILVA ein Referenz-Nullpunkt im Gauß-Krüger-Koordinatensystem mit übergeben werden. Derzeit bezieht SILVA seine Ergebnisse immer auf den Nullpunkt. Der Referenzpunkt aus dem GIS muss also erst auf den Nullpunkt umgesetzt werden und bei dem Reimport in das GIS wieder auf „reale“ Gauß-Krüger-Koordinaten.

³ SILVA kann derzeit nur maximal 3000 Einzelbäume berücksichtigen (vgl. SEIFERT 1998, S. 13). Dies führt zu dem Problem, dass bei einer Manipulation der reimportierten Einzelbaumdaten innerhalb des GIS und der anschließende Export der manipulierten Einzelbaumdaten für einen erneuten SILVA-Prognoselauf derzeit nur sehr aufwändig zu erreichen ist: Die während des ersten Prognoselaufs aus Mittelwerten bereits erzeugte bestandesbezogene Einzelbaumstruktur kann nicht direkt an SILVA übergeben werden (in Form der kompletten Baumliste), sondern es muss ein Ausschnitt ermittelt werden, der die maximale Baumzahl nicht übersteigt. Nach der Prognose muss der fortgeschriebene Ausschnitt wieder auf die gesamte Bestandesgeometrie übertragen werden. Vgl. hierzu das Vorgehen in Kapitel 5.1 „Anpassen der SILVA-Baumlisten auf die „reale“ Bestandesgeometrie“.

⁴ vgl. DEES ET AL. 2002; RAMMINGER ET AL. 2002; SCHRADER 2003

⁵ vgl. KOCH ET AL. 2002; SCHRADER 2003

Für die vorgenommene Stratenbildung¹ sind zwei Problembereiche zu diskutieren. Der erste betrifft das momentane Vorgehen zur Bestimmung des dominierenden Standorts je Einzelbestand. Momentan wird dort der Standort verwendet, der als Teilfläche den größten Flächenanteil im Bestand besitzt. Dabei wird nicht berücksichtigt, dass möglicherweise mehrere Standorte sinnvoll zusammengeführt werden könnten und dann als Summe den größten Flächenanteil ausmachen. Um dieses Problem zu vermeiden, könnten in der digitalen Standortskarte ähnliche Standortseinheiten bereits vor der SILVA-Prognose durch Klassifizierung zusammengeführt und über ein Klassenattribut definiert werden.

Der zweite Problembereich bezüglich der momentanen Vorgehensweise zur Stratenbildung liegt in der Nutzung der BI-Daten zur Bildung der von SILVA benötigten Stratenmittelwerte (dg, hg und m²/ha oder N/ha).² Diese entsprechen nicht den tatsächlichen Bestandesmittelwerten, weshalb es nicht gelingt, von den Straten auf den jeweiligen Bestand zu schließen. Optimal wäre die bestandesweise Aufnahme der benötigten Mittelwerte während der periodischen Forsteinrichtung, was allerdings in der Praxis wegen des Zeitaufwandes nicht durchführbar ist. Ein Ausweg hierfür bieten möglicherweise neue Aufnahme-/Inventurverfahren. So existiert z. B. mit der „typenorientierten Kontrollstichprobe“ ein Ansatz, um trotz Stichprobenverfahren eine bestandesbezogene Informationsbasis zur Verfügung zu stellen.³

Eine Alternative für die Mittelwertsproblematik könnte sich allerdings auch aus dem Bereich der Fernerkundung ergeben. Im Zusammenhang mit den zuvor schon genannten Laserscannerdaten werden derzeit Verfahren entwickelt, um aus diesen Daten Einzelbaumdaten ableiten zu können.⁴ Direkt lassen sich die Baumstandpunkte, die individuellen Baumhöhen⁵ und die Kronenflächen ableiten. In Kombination mit terrestrischen Probemessungen (zur Ableitung von Konstanten) lässt sich aus diesen Angaben zusätzlich der BHD für jeden Einzelbaum errechnen.⁶ Durch Heranziehen von hochauflösenden Satellitendaten⁷ kann auch die automatische Bestimmung der jeweiligen Baumart erfolgen.⁸

Diese Daten lassen sich - auf Mittelwerte verdichtet - als (verbesserte) Eingangsdaten für Waldstrukturgeneratoren nutzen oder sie können durch ihren Detailgrad direkt zur Beschreibung der Bestandesstruktur Verwendung finden. Die Strukturgenerierung über einen Simulator könnte zukünftig somit ganz entfallen und der IST-Zustand als „Quasi-Vollaufnahme“ aus den Fernerkundungsdaten abgeleitet werden.

¹ Zur Stratenbildung vgl. Kapitel 4.4 und 5.1

² vgl. Kapitel 4.4

³ Bei dieser Inventur werden über eine Typenkriterienansprache wichtige Variablen für die Ausscheidung von Bestandestypen miterfasst. Über eine „Post-Stratifizierung“ werden Straten gebildet, die ausreichend groß und homogen sind, um statistisch abgesicherte Ergebnisse liefern zu können. Die Ausscheidung von Beständen und Zuordnung zu einem Stratum wird über die Kombination von Stichprobenergebnissen, der Lage der Stichprobenpunkte und Informationen aus Fernerkundungsdaten (Luftbildern) erzielt. Aus den Luftbildern lässt sich die Waldeinteilung vornehmen sowie Typenkriterien erfassen bzw. durch Vergleich mit an nahe liegenden Stichprobenpunkten aufgenommenen Typenkriterien zu den (neu) ausgeschiedenen Teilflächen zuordnen. Zur Absicherung der Ergebnisse ist bei diesem Verfahren ein Planungsbegang vorgesehen, der vor allem der Kontrolle und Bestätigung bzw. Anpassung der Ergebnisse dienen soll. Vgl. ausführlich bei BITTER u. MERREM 1998.

⁴ vgl. FRIEDLAENDER u. KOCH 2000; THIES ET AL. 2002; WEINACKER ET AL. 2002

⁵ Aus den Laserscannerdaten lassen sich sowohl die Geländehöhe als auch Höhenpunkte des Kronendaches von Waldbeständen ableiten. Aus der Differenz können die Baumhöhen berechnet werden.

⁶ vgl. ZIEGLER ET AL. 2001

⁷ wie QuickBird und Ikonos; vgl. Anmerkungen und Fußnote auf Seite 138

⁸ vgl. ZIEGLER ET AL. 2001

Historische Zustände lassen sich derzeit nur für Bestände simulieren, für die die notwendigen Mittelwerte in den Forsteinrichtungswerken vorliegen. Zusätzliche Informationen zu deren Berechnung, wie aus einer Stichprobeninventur gleich der o. g. BI, sind nicht vorhanden.

◦ *Fazit*

Eine technische Referenz zur Anbindung des Waldwachstumssimulators SILVA 2.2 an ArcGIS ist durch diese Arbeit gegeben - diese ist vor einem produktiven Einsatz in nachfolgenden Projekten noch zu verfeinern. Für eine Vereinfachung zur Erfassung des IST-Zustandes von Waldstrukturen und somit für eine Qualitätserhöhung der Ergebnisse könnten schon bald fernerkundungsbasierte Verfahren ausreichend erforscht sein, um die derzeit nur bedingt vorhandenen Baumarten-bezogenen Parameter (Mittelwerte) zu ermitteln oder dem Waldwachstumssimulator sogar komplette Baumlisten, entsprechend einer Vollaufnahme, als Ausgangsdatenbasis zuführen zu können.

6.5 Diskussion der Ergebnisse zur 3D-Visualisierung

6.5.1 Vegetationsdarstellungsformen als (ein) Kernproblem der 3D-Visualisierung von großen Landschaftsausschnitten

Für die landschaftsbezogene 3D-Visualisierung ist die Waldvegetation einer der wesentlichen Darstellungsinhalte. Die zur Repräsentation dieser Vegetation gewählte Methode hat dabei einen entscheidenden Einfluss auf die Darstellungsgeschwindigkeit. In Hinblick auf den Realitätsgrad, der in allen Anwendungszwecken der vorliegenden Arbeit eine gewichtige Rolle spielt, ist jede Vereinfachung ein abzuwägender Kompromiss. Zur Vegetationsdarstellung wurde für die vorliegende Studie die *billboard*-Technik ausgewählt. Diese entspricht dem derzeit optimalen Kompromiss zwischen Realitätsgrad und, beim momentanen Stand der Technik, vertretbarem Ressourcenverbrauch.¹ Da diese Technik nicht in dem verwendeten GIS implementiert ist, musste die Übertragung in der vorliegenden Studie erfolgen - ein sehr anspruchsvolles Unterfangen, das aber erfolgreich durchgeführt werden konnte.² Dabei sind aber die typischen Schwächen der *billboard*-Technik auch im GIS sichtbar geworden: bewegt sich der Betrachter durch den Bestand, so erkennt er u. U. die Rahmengenometrien der *billboards*. Auch verliert sich bei einer Nahbetrachtung auch die Plastizität in Abhängigkeit von der Auflösung der verwendeten Baum-Fototextur. Auch wenn die 3D-Szene senkrecht von oben betrachtet wird, werden die *billboards* als solche erkennbar - man erkennt deutlich die gekreuzten Rahmen. Hier ließen sich Verbesserungen durch eine höhere Rahmenzahl je *X-billboard*³ oder auch durch Übertragung und Verwendung der Schichtmodelltechnik⁴ in das GIS erzielen.

¹ Die Auswahl der zur Repräsentation der Vegetation ist in Kapitel 4.6 begründet.

² Zur Übertragung der *billboard*-Technik in das gewählte GIS vgl. Kapitel 5.2.2 „3D-Darstellung der Vegetation mittels *X-billboards* (gelöst durch MultiPatches)“.

³ So erbringt schon eine Verdoppelung der Rahmenzahl von 2 auf 4 eine deutlich höhere Plastizität.

⁴ vgl. Kapitel 3.3.6

Ein weiterer Nachteil von *billboards* ist, dass es sich bei diesen um keine echten Volumenkörper handelt. Sie können so nicht genutzt werden, um Konkurrenz-Modelle aus den Geometrien zu berechnen. Die Morphologie der Einzelbäume wird nur über klassifizierte Texturbilder abgebildet. Eine Modellierung von Interaktionen zwischen verschiedenen Einzelbäumen ist von daher nur schwer darstellbar. Allerdings berücksichtigt SILVA bei der Bestandessimulation die Konkurrenz in Grenzen - durch die Zuordnung aussagekräftiger/geeigneter Texturbäume darstellbar.

Die genannten Nachteile sind für die großräumige Darstellung von Waldlandschaften allerdings nicht relevant. Einzelbaumdetails, wie Kronenlänge und BHD, lassen sich in dieser Darstellungsform nicht wahrnehmen.

Alternativen bieten hier Volumenkörper, die aus Primitiven zusammengesetzt sind (Styroporkörper, vgl. SEIFERT 1998; PRETZSCH u. SEIFERT 1999), allerdings nicht sehr realitätsnah wirken, oder auch hochdetaillierte 3D-Baummodelle¹, die aber aufgrund ihrer Komplexität und damit verbundenen Speichergröße nicht in „Echtzeit“ in großer Anzahl dargestellt werden können, wie dies bei einer großräumigen Landschaftsdarstellung notwendig wäre.

Der deutlich erhöhte Ressourcenbedarf gegenüber den vereinfachten Darstellungsformen wird zukünftig durch die weitere Entwicklung im Software- (hier vor allem durch Optimierung der Darstellungsalgorithmen) und Hardwarebereich zu vernachlässigen sein. In naher Zukunft wird es von daher möglich sein, auch komplexe 3D-Baummodelle und auf großer Fläche mit in ein GIS einzubinden. Neben der Verbesserung der 3D-Darstellungsalgorithmen (Sichtweitenbeschränkung und „*level of detail*“-Unterstützung) muss in dem GIS vor allem eine bessere Unterstützung für 3D-Standardformate (im Speziellen solche, die Fototexturen nutzen) integriert werden. Erst hierdurch lassen sich auch in dem GIS qualitativ hochwertige Darstellungen im Nahbereich erzielen, die derzeit z. B. mit dem Ansatz von KNAUFT 2000 erreicht werden. Bei der Verwendung hochauflösender und detailgetreuer 3D-Objekte zur Vegetationsdarstellung ergibt sich zurzeit aber das zusätzliche Problem, dass die aus den zurzeit marktgängigen Baum-Simulationsprogrammen keine Anpassung in ihrer Morphologie (entsprechend der durch den Simulator SILVA errechneten Baumattribute) möglich ist. Bäume, die z. B. aus AMAP in das GIS überführt werden, lassen sich zwar in Gestalt und Höhe variieren, aber Parameter wie Kronenform und BHD lassen sich nicht ohne weiteres manipulieren. Hier bleibt abzuwarten, ob Ansätze, wie sie z. B. durch KURTH 1999 mit den stochastischen, sensitiven L-Systemen verfolgt werden, in 3D-Modellen resultieren, die sich auch in Standard-Visualisierungssoftware einbinden lassen.

◦ **Fazit**

Momentan ist die *billboard*-Technik die Lösung der Wahl, wenn es um die Darstellung großer Landschaftsausschnitte mit einer Vegetationsdarstellung auf Einzelbaumebene geht. Die *billboard*-Technik stellt den zurzeit besten Kompromiss zwischen Abbildungsqualität und Darstellungsgeschwindigkeit dar. Es ergeben sich aber auch im GIS die für diese Technik typischen Nachteile - je nach gewähltem Betrachterstandort sind die *billboards* als solche zu erkennen, d. h., die Plastizität der Baumdarstellung geht verloren. Bei der großflächigen Visualisierung spielt eine genaue Darstellung von Einzelbaumparametern wie Kronenlänge und BHD aber nur eine untergeordnete Rolle - diese können aus der Distanzeinstellung nicht wahrgenommen werden.

¹ vgl. KNAUFT 2000

Mit der rasanten Weiterentwicklung auf dem Computermarkt und einer abzusehenden Weiterentwicklung der „3D-renderengine“ innerhalb von GIS-Umgebungen können zukünftig „echte“ 3D-Baummodelle zur Vegetationsdarstellung genutzt werden. Hierdurch lassen sich dann komplexe, sehr detailliertere und realistisch wirkende Vegetationsdarstellungen in einer GIS-Umgebung verwirklichen - und dies für große Landschaftsausschnitte.

6.5.2 Gegenüberstellung der beiden (entwickelten) Lösungsansätze zur GIS-gestützten (3D-)Visualisierung

Für die GIS-gestützte¹ 3D-Visualisierung wurde die „reine“ GIS-Lösung durch Verwendung der optionalen 3D-Komponente ArcScene² sowie die Kombination der GIS-Basis mit dem „externen“ Visualisierungsmodul Enviro³ erfolgreich erprobt. Das Ergebnis sind zwei verschiedene Lösungsansätze, die mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen zu bewerten sind.

Die Vorteile der räumlichen Informationssysteme sind heute allgemein anerkannt, insbesondere auch im Hinblick auf die Darstellung und Analyse räumlicher Muster.⁴ Im Punkt der 3D-Darstellungen sind hier jedoch noch immer Defizite zu verzeichnen. Das Problem reiner GIS-Lösungsansätze wurde schon vor einigen Jahren von BUCKLEY 1998 diskutiert. Der Autor zeigt, dass die aktuellen GI-Systeme noch keine realistische Darstellungsmöglichkeit der 3D-Landschaft bieten. GIS-gestützte Visualisierungsmodule sind nach BUCKLEY 1998 vor allem in den grafischen Darstellungsmöglichkeiten eingeschränkt. Demgegenüber werden verschiedene Visualisierungsmodule aus dem Wissenschaftsbereich vorgestellt, die bisher aber nicht in professionelle GI-Systeme integriert worden sind. Der Artikel zeigt die funktionellen Ansprüche an eine 3D-Visualisierung auf. Diese Aussagen lassen sich zum großen Teil auch heute noch bestätigen. Allerdings hat es deutliche Verbesserungen gegeben, schon alleine durch die Tatsache, dass mittlerweile fast alle GIS-Hersteller optionale 3D-Module anbieten, die immer mehr Funktionalitäten erhalten. Auch derzeit haben die GIS-Lösungen noch einige Schwächen. Es ist aber zu erwarten, dass die Entwicklung schnell voranschreiten wird. Die Einschränkungen aber auch Vorteile, die durch eine 3D-Visualisierung innerhalb einer GIS-Umgebung (3D-GIS) gegeben sind, werden durch den nachfolgenden Vergleich deutlich.

Die Ausführungen, die nachfolgend gemacht werden und dabei explizit als Vergleich der GIS-internen 3D-Visualisierung (3D-GIS) mit dem GIS-gestützten „externen“ Visualisierungsansatz mittels Enviro formuliert sind, lassen sich auch auf viele der existierenden forstlichen Visualisierungsansätze⁵ übertragen, die sich im Detail unterscheiden werden.

◦ *Vorteile der Visualisierung im GIS*

Der Hauptvorteil des GIS-internen Lösungsansatzes mit ArcScene liegt in der Tatsache begründet, dass man sich auch bei der 3D-Visualisierung im GIS befindet. Dadurch steht auch bei der (3D-) Visualisierung die GIS-Funktionalität zur Verfügung. Die große Stärke von GIS bleibt hier dann

¹ Der enge GIS-Bezug wird in Kapitel 6.3 diskutiert.

² Zu ArcScene vgl. Kapitel 4.3.1.

³ Enviro ist in Kapitel 4.3.2 beschrieben.

⁴ vgl. COULSON ET AL. 1991, BRIDGEWATER 1993, LAVERS u. HAINES-YOUNG 1993

⁵ Ein grundlegender Vergleich des 3D-GIS-Lösungsansatzes mit den existierenden forstlichen Visualisierungsansätzen ist bereits in Kapitel 6.1 erfolgt.

auch im Visualisierungsmodul erhalten: die Datenhaltung, -analyse, -aktualisierung, -verwaltung und -manipulation räumlicher Daten - auch bei großen Datenmengen. Nur durch die integrierte Lösung ist es möglich, die resultierenden 3D-Szenen mit der Fülle an Funktionen des verwendeten GIS zu analysieren. Dies bietet weder Enviro noch einer der anderen zur Zeit existierenden forstlichen Simulationsprogramme bzw. Visualisierungsmodule. Hierdurch ergeben sich Vereinfachungen in der „analytischen Navigation“ durch die 3D-Szene - so ist es z. B. möglich eine Ortsfindung in der Szene vorzunehmen, um die zu visualisierenden Bestände mit bestimmten Merkmalsausprägungen aufzusuchen. Die Suche und Anzeige von (3D-)Beständen ist dabei über Standard-GIS-Analyse-Funktionen möglich. Dies ist begrenzt auch bei dem kombinierten Ansatz möglich - dies aber nur, wenn die Lokalisierung im GIS stattfindet und die Koordinaten der „Fundstellen“ mit an das externe Visualisierungsmodul übergeben werden - im konkreten Fall durch Speicherung der Koordinaten in der „Lage-Datei“ von Enviro.¹ Ein weiteres Beispiel für die Nutzung der GIS-Analysefunktionen in der 3D-Szene ist die mögliche Berücksichtigung der Vegetation (Bestandeshöhe) bei 3D-Raumanalysen (wie Lärm-, Schmutz-, Sichtschutzanalysen). Grundsätzlich können auch noch einmal die Vorteile angeführt werden, die bereits in der Einleitung dieser Arbeit² angeführt wurden. Dies sind:

- ein schnellerer Zugriff auf die Datenbasis
- eine direkte Aktualisierung der bearbeiteten Datenbasis
- eine Manipulation an den Daten im 2D- oder 3D-Bereich des GIS ist sofort auch in der jeweils anderen „Bearbeitungsdimension“ verfügbar
- die flexible Auswahl der zu visualisierenden Daten auf Grundlage der im GIS existierenden Datenbasis.

Des Weiteren können im 3D-GIS Einzelobjekte (-bäume) ermittelt, selektiert und die verbundenen Attributwerte angezeigt werden (Abbildung 69).

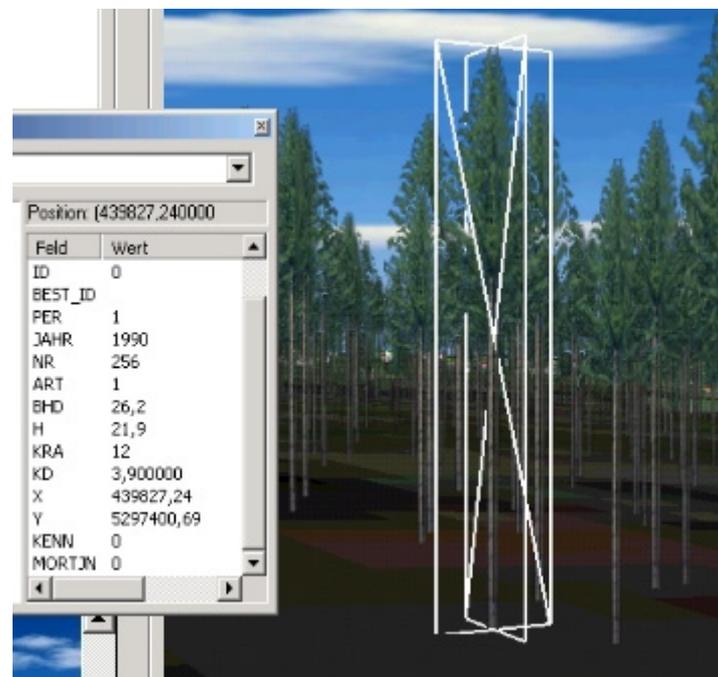


Abb. 69: Selektion von Einzelbäumen und Abfrage der Bauminformationen im 3D-GIS

¹ vgl. Kapitel 5.3.5

² siehe Kapitel 1. „Neuheit des Verfahrens“

Wie gezeigt werden konnte, eignet sich GIS nicht nur als Planungsgrundlage, sondern kann auch gleichzeitig als Präsentationsplattform genutzt werden. So bleiben bei der Präsentation sämtliche Funktionen der Planungssoftware erhalten.

Im GIS ist neben der 3D-Visualisierung zusätzlich bzw. parallel eine 2D-Visualisierung möglich, was vor allem bei der großräumigen Orientierung durchaus von Vorteil sein kann. Die Analyse und Visualisierung von 2D-Informationen kann im 2D-Bereich visualisiert werden und mit einer detaillierten 3D-Darstellung kombiniert werden. Bei der integrierten GIS-Lösung ist es somit unnötig, für unterschiedliche Perspektivdarstellungen, die sich aus unterschiedlichen Zielsetzungen ergeben können, einen Applikationswechsel vorzunehmen.

Durch den integrierten Lösungsansatz vereinfacht sich auch der Schulungsaufwand. Wird bei der Einführung eines „zusätzlichen“ 3D-Visualisierungsmoduls auf bereits vorhandener Software aufgebaut, wie dies bei dem vorgestellten GIS-internen Lösungsansatz der Fall ist, so ist die grundsätzliche Bedienung bereits bekannt, da im Allgemeinen bei Produkten aus der gleichen Produktpalette die Oberfläche und Menüführung sehr ähnlich aufgebaut sind.

Auch bei der Generierung von 3D-Modellen ergeben sich im GIS Erleichterungen. Da alle Daten datenbankgestützt vorliegen, kann bei der Modellierung auf sämtliche Attributwerte zurückgegriffen werden; im GIS lassen sich diese mit dessen Funktionen flexibel handhaben (Kronenansatz, -breite, Mortalität, Bonität mit wechselnden Attribut-Feldnamen) und entsprechend der gegebenen Zielsetzung (wechselnd) repräsentieren. Durch den datenbankgestützten Ansatz ergeben sich bei großräumiger Darstellung vor allem Vorteile bei der Aktualisierung von Daten. Diese geht viel schneller von statten als im externen Ansatz, da dort z. B. bei Änderungen in der Vegetations-Schicht der komplette Vegetations-Layer neu erzeugt werden muss (über Export und Umwandlung in das spezifische Dateiformat von Enviro). Dies ist ein Schwachpunkt, der sich auch bei den meisten anderen aktuellen forstlichen Visualisierungsansätzen findet.

Eine weitere Stärke des reinen GIS-Ansatzes ergibt sich aus der hervorragenden Datenhaltung des GIS. Die leichte Visualisierung von Waldstrukturentwicklungen ist eine weitere hervorzuhebende Stärke der GIS-internen Visualisierung. Im GIS können die unterschiedlichen Zustände der Vegetationsentwicklung in unterschiedlichen Themen (Layern) gleichzeitig vorgehalten werden - man kann zwischen den verschiedenen Entwicklungszuständen einfach hin und her schalten. Dies ist möglich, ohne den Betrachterstandort verlassen zu müssen und/oder ihn wieder aufsuchen zu müssen (vgl. Kapitel 5.2.5). In externen Visualisierungs-Programmen kann demgegenüber oft nur ein Zustand je Objekttyp (Vegetation, Gebäude, Gelände, ...) geladen werden. Dies trifft auch auf Enviro zu. Hier ist ein Neustart der Applikation notwendig, um den Vegetationslayer „auszutauschen“. Bei einem Neustart wird der Beobachterstandort auf einen Standardwert zurückgesetzt. Immerhin ist es in VTP möglich, einen Kamerastandort zu speichern und diesen bei Bedarf nach dem Neustart wieder zu laden. Dies ist recht umständlich und zeitaufwändig: bei Präsentationen ergeben sich erhebliche Wartezeiten. Auch ist es durch den erforderlichen Neustart und die Notwendigkeit, den gewünschten Standort erst wieder herstellen zu müssen, nur schwer möglich, einen vergleichenden Eindruck über die Entwicklung der Vegetation zu bekommen, da der Eindruck des Vorzustandes schnell verloren geht. Dieser Nachteil von Enviro ließe sich über einen Programmiereingriff lösen - dies wäre durch den freien Quellcode von Enviro, möglich.

Das GIS ist zudem flexibler bei der Auswahl der darzustellenden Ausprägungstypen (z. B. Baumbilder) durch die gleichzeitige Berücksichtigung mehrerer beschreibender Attribute. So ist im GIS eine sehr flexible Zuordnung von repräsentativen Baumbildern zu den *billboards* möglich - die Zuordnung kann dabei über wechselnde Attribute und über eine wechselnde Anzahl an Attributen vorgenommen werden (dies über Standardfunktionen des GIS - in diesem Fall dem Symboleditor). Ein Beispiel hierfür ist die Zuordnung der Baumtexturen durch Klassifikation nach Baumart, Höhenklasse und Schicht (herrschend, unterständig) oder Schadensmerkmalen (mit gebrochener Krone, Käferbefall, ...). Die Klassifikation kann dabei jederzeit nach den aktuellen Erfordernissen der Visualisierung geändert werden. In Enviro ist die Zuordnung starr und muss gegebenenfalls durch Programmierung angepasst werden.

Die Navigation im GIS kann zusätzlich durch das Einbinden von optionalen, aber freien Erweiterungen erweitert werden - so z. B. durch die Erweiterung „*Fly Tool with Collision Detection*“¹ die es erlaubt, die Navigationseinstellungen zu optimieren (z. B. konstante Höhe über Gelände, was auch den Fußgängermodus simulieren kann). Von Vorteil ist auch die Option, Navigationen zu automatisieren und somit (*live*-) Animationen in der 3D-Szene zu verwirklichen (z. B. mit der Erweiterung „*ArcScene Animation*“²). Die Navigation in Enviro ist auf die Standardnavigationsmittel eingeschränkt. Um diese zu erweitern, wäre wiederum ein tiefer Eingriff in den Quellcode von Enviro notwendig.

◦ *Vorteile der Visualisierung mit Enviro*

Der momentan größte Vorteil der externen Visualisierung mit Enviro gegenüber der mit ArcScene ist die hervorstechende Bildqualität durch die sehr gut programmierte 3D-*renderengine*. Die erzeugten Szenen wirken hier natürlicher, da die Texturen genauer dargestellt werden. So zeigt sich z. B. im GIS eine Kachelung des Geländetexturbildes durch das darunter liegende Geländemodell. In Enviro ist die Darstellung viel „glatter“ (vgl. Abbildung 70).

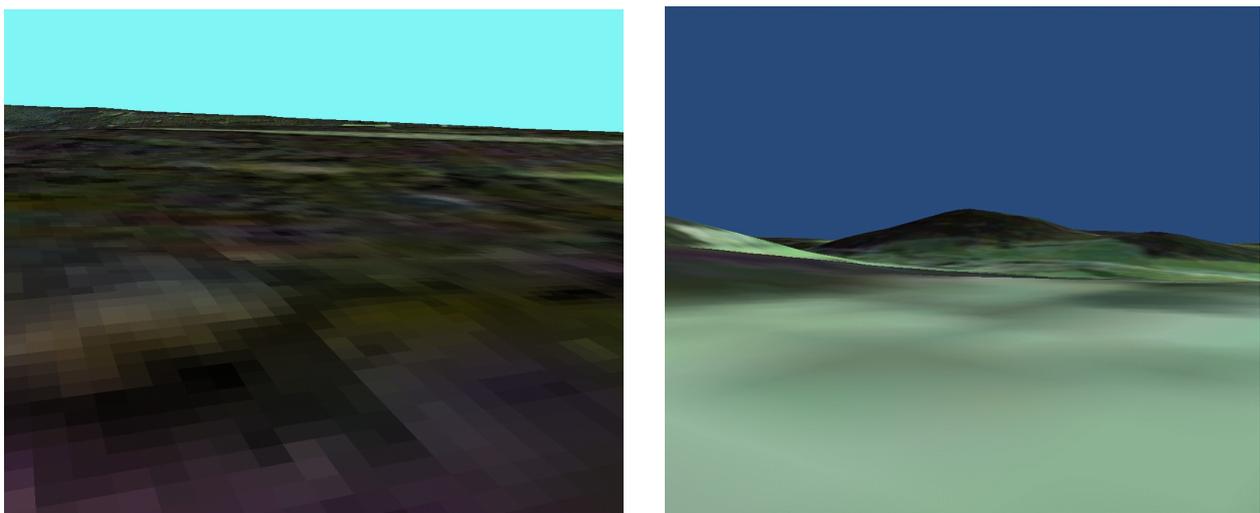


Abb. 70: Vergleich der Darstellungsqualität des Geländetexturbildes: links im GIS; rechts in Enviro

¹ vgl. Kapitel 5.2.6.1

² vgl. Kapitel 5.2.5

Auch die Darstellung der Billboards ist in Enviro besser realisiert als im GIS. Hier merkt man, dass die *billboard*-Technik nicht von dem GIS-Hersteller vorgesehen und optimiert wurde. In Enviro sind spezielle Algorithmen integriert, die die Verwendung von *billboards* optimiert. So ist in diesem Programm auch das Hautproblem bei der Verwendung der *billboard*-Technik minimiert: auch bei der Betrachtung der 3D-Szene von oben werden die *billboards* sehr gut dargestellt. Diese sind als solche kaum zu erkennen. Im GIS dagegen tritt das typische *billboard*-Problem klar hervor - bei der Ansicht von oben sind deutlich die gekreuzten Rahmen erkennbar (vgl. Abbildung 71).

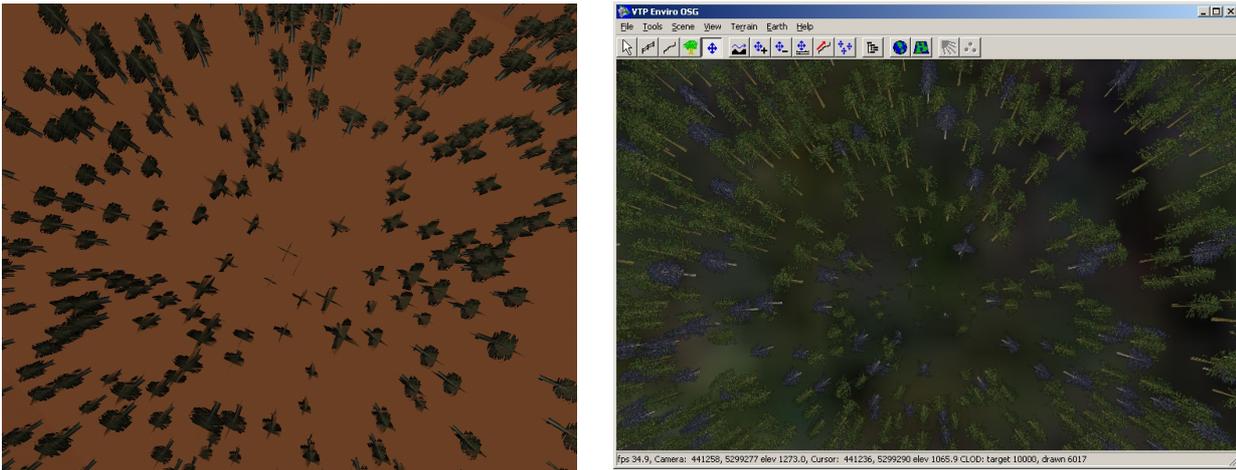


Abb. 71: Blick von oben auf die *billboard*-Bäume im GIS (links) und in Enviro (rechts).

Ein weiterer Vorteil der Visualisierung mit Enviro ist die sehr gute Unterstützung von Standard-3D-Formaten. Hierdurch können hochwertige 3D-Modelle, auch direkt mit Fototextur, in die 3D-Szene eingebunden werden. Dies ist ein wesentliches Manko der GIS-Lösung. In dieser gehen die Fototexturen beim Import verloren und lassen sich nur mit viel Aufwand wieder herstellen, da dies nur durch Programmierung realisierbar ist.¹ Dies gilt umso mehr, je komplexer ein Modell ist. Eine automatische Konvertierung und somit praktikable Lösung steht derzeit nicht zur Verfügung, wäre aber in einem Folgeprojekt realisierbar. Dies wäre ein sehr zukunftsweisender Ansatz mit großem praktischen Nutzen, da die Aufwertung mit realistischen 3D-Modellen die Akzeptanz des Betrachters für die dargestellte 3D-Szene erhöht - erhält er doch durch die 3D-Modelle zusätzliche Orientierungs- und Assoziationspunkte.

Der zweite wesentliche Vorteil der externen Visualisierung gegenüber der GIS-internen Lösung mit ArcScene betrifft die zur Visualisierung notwendige Hardware. Hier reicht eine „bessere“ Spielgrafikkarte mit OpenGL-Unterstützung durch den Grafikkartentreiber für die großräumige Visualisierung aus. Für die großflächige Visualisierung mit ArcScene ist demgegenüber eine sehr teure Grafikkarte notwendig, die OpenGL hardwaremäßig unterstützt (Kosten ab ca. 900 €). Dieses Phänomen wirkt sich aber erst bei einer großen Anzahl von Einzelbäumen aus. So ergab sich in den vorgenommenen Tests, dass in ArcScene selbst mit der genutzten Spielgrafikkarte der Oberklasse (ATI Radeon 9700 Pro mit 128 MB Grafikspeicher) nur maximal 200000 Einzelbäume dargestellt werden konnten. Diese wurden dann aber sehr flüssig dargestellt und in Echtzeit durch die 3D-Szene navigiert. Überstieg die Baumanzahl diese Grenze, so kam es zu einem Programmabsturz von ArcScene. Demgegenüber konnten mit einer älteren OpenGL-Karte (3DLabs Oxygen GVX1 mit

¹ vgl. „MultiPatches“ in Kapitel 5.2.2

32 MB Grafikspeicher und 256 Mbyte virtuellem Texturspeicher) alle Bäume (ca. 300000) dargestellt werden. Hier ergab sich allerdings das Problem, dass der Rechner, in den die Karte eingebaut war, viel leistungsschwächer war, als jener mit der Spielekarte. Als Folge daraus ergab sich, dass der Aufbau und die Navigation in der ArcScene-Szene nur sehr langsam verlief. Im 2D-Teil von ArcGIS, ArcMap, konnten sämtliche *billboard*-Bäume auf allen Systemen ohne Probleme geladen und visualisiert werden. Hier liegt also die Vermutung nahe, dass die 3D-*renderengine* noch nicht optimal programmiert ist. Dies zeigt sich auch an dem Umstand, dass in ArcScene keine echte „*level of detail*“-Unterstützung (LOD) vorliegt. Der komplette Szeneninhalte wird permanent im Grafikkartenspeicher gehalten anstatt, wie dies z. B. bei Enviro der Fall ist, nur diejenigen Objekte in die Szene und somit in den Grafikkartenspeicher zu laden, die innerhalb einer bestimmten Sichtdistanz zum Beobachter liegen. Die Visualisierung mit Enviro ging folglich generell flüssiger von statten.

Als letzter zu nennender Vorteil von Enviro gegenüber ArcScene ist die Verfügbarkeit von Enviro im Quellcode. Dieser darf beliebig manipuliert und ohne (Lizenz-)Beschränkungen genutzt werden. Enviro kann dadurch „komplett“ individuell angepasst werden - und dies ist der gravierendere Vorteil - es ergeben sich Einsparungen bei den Lizenz-Kosten. Der erste genannte Vorteil relativiert sich jedoch dahingehend, dass der Quelltext von Enviro derart komplex ist, dass eine Änderung und Erweiterung nur für den erfahrenen Programmierer möglich ist. Demgegenüber lässt sich ArcScene zwar nicht in der grundlegenden Programmstruktur ändern, aber durch die Verfügbarkeit von ActiveX-Komponenten und die offene COM-Architektur durch eigene Programmierungen erweitern. Für ArcScene liegen schon eine große Anzahl freier Erweiterungen vor, während für Enviro Änderungen grundsätzlich am Programmcode durchgeführt werden müssen. Durch die Integration der VBA-Entwicklungsumgebung ist eine Anpassung für einen Laien eher möglich, als unter Enviro. Für beide Systeme ist aber eine Unterstützung bei Programmierproblemen (oder auch generell bei Programmproblemen) durch die jeweils sehr offene und kooperative Anwendergemeinde möglich.

Der zweite Vorteil, der sich aus der „freien“ Verfügbarkeit von Enviro ergibt, ist für viele Anwendungszwecke ein sehr gewichtiger Vorteil: die Einsparung von (Lizenz-)Kosten. Entstehen bei Enviro nur Kosten, wenn man Personalmittel in eine Weiterentwicklung (Erweiterung von Funktionen) investiert, schlägt beim GIS jede einzelne Lizenz beträchtlich zu Buche. Dies gilt im besonderen Maße auch für das Visualisierungsmodul ArcScene - bedarf es doch für dessen Installation auch immer einer Lizenz des Basis-GIS, ArcMap. Auch die erforderliche Hardware für eine möglichst optimale 3D-Visualisierung mit ArcScene ist sehr teuer. Allein die erforderliche Hardware unterstützende OpenGL-Grafikkarte kostet mindestens 900 €.

Immerhin bietet sich für eine Kosten sparende Verbreitung der erstellten 3D-Szenen die in ArcScene integrierte Exportoption in das VRML-Format als „Ausweg“. Dabei ist allerdings wieder darauf zu achten, dass auch das VRML-Format Beschränkungen in der Anzahl maximal darstellbarer Einzelobjekte besitzt. Dafür sind *viewer* für das VRML-Format weit verbreitet und sehr leicht zu installieren. Bei einem notwendigen Export ist also zwischen dem Komfort des Nutzers (VRML) und der gewünschten Komplexität der Szene abzuwägen. Für den letzteren „Bedarfsfall“ bietet sich wiederum der Export der 3D-Szenen in das Enviro-Format an. Hierbei müsste allerdings Enviro „mitgeliefert“ werden, da der Bezug und die Installation der Originalsoftware über die Entwicklerseite für den „unbedarften“ Anwender als problematisch einzustufen ist.

◦ *Fazit*

Es zeigte sich, dass durch die in dieser Arbeit geleisteten Übertragung der *billboard*-Technik in das GIS ArcScene sehr ansprechende 3D-Visualisierungen innerhalb einer „Standard“-GIS-Umgebung realisiert werden können. *billboards* lassen sich nun auf Grundlage der aus SILVA „reimportierten“ Ergebnisse erzeugen, wobei die Einzelbaum-beschreibenden Attributwerte wie Art, Höhe und BHD berücksichtigt werden können.

Dabei zeigt die 3D-GIS-Lösung allerdings noch Schwächen gegenüber einem Spezialprogramm zur 3D-Visualisierung. Die *renderengine* des 3D-GIS ist derzeit nicht so leistungsstark wie die der externen Visualisierungsprogramme. Letztere arbeiten vor allem mit einer besseren „*level of detail*“ (LOD-) Unterstützung. Insgesamt ist es mit externen Visualisierungsprogrammen möglich, in gleicher Rechenzeit ausgedehntere Vegetationsbestände mit höherer Bildqualität darzustellen.

Bei der externen Visualisierung ergeben sich allerdings Nachteile gegenüber der GIS-internen Lösung dadurch, dass:

- kein Zugriff auf die GIS-Funktionalität aus der externen Anwendung heraus möglich ist,
- kein direkter Zugriff auf die Geodaten aus der externen Anwendung heraus besteht,
- bei Änderung der Geodatenbasis der entsprechende Layer immer aufs Neue exportiert werden muss.

6.5.3 Bewertung der Lösungsansätze in Bezug auf die Anwendungsziele der (erweiterten) forstlichen Planung

Im vorangegangenen Kapitel wurde eine Gegenüberstellung der beiden Lösungsansätze zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen angestellt. Die Vorteile, die sich für die beiden Lösungsansätze ergeben, müssen für die Überprüfung der Praxistauglichkeit aber noch anhand der gewünschten Einsatzgebiete bewertet werden.

In Kapitel 2.3 wurde eine Gewichtung verschiedener Kriterien, die an eine Software entsprechend der genannten Anwendungsbereiche - Forstplanung, Partizipation und Umweltbildung - gestellt werden müssen, in einer Tabelle gegenübergestellt (Tabelle 2).¹ Fasst man nun die im vorangegangenen Kapitel (Kapitel 6.5.2) gemachten Ausführungen bezüglich der beiden Softwarelösungen auf diese Kriterien zusammen, so ergibt sich die Gegenüberstellung gemäß Tabelle 11:

¹ Für eine Erläuterung der Kriterien vgl. die Ausführungen in Kapitel 2.3.

| Kriterium | 3D-GIS | Enviro |
|--|--------|--------|
| Wirtschaftlichkeit | ✓ | ✓✓ |
| Genauigkeit (der Daten) | ✓✓ | ✓✓ |
| Benutzerfreundlichkeit | ✓ | ✓✓ |
| Kommunizierbarkeit | ✓ | ✓✓ |
| Präsentation | ✓✓ | ✓ |
| Realitätsnähe (der Darstellung) | ✓ | ✓✓ |
| Interaktion | ✓✓ | ✓ |
| Manipulierbarkeit der Daten | ✓✓ | 0 |
| Leistungsfähigkeit | ✓✓ | ✓ |
| Leistungsfähigkeit in Bezug auf die Anzahl darstellbarer Objekte | ✓ | ✓✓ |
| dabei auch in Bezug auf Darstellungsgeschwindigkeit | ✓ | ✓✓ |
| Flexibilität | ✓✓ | ✓ |
| Funktionalität | ✓✓ | ✓ |
| Modularität | ✓✓ | 0 |

Tabelle 11: Spezielle Anforderungen und Kriterien an ein computertechnisches Verfahren, gewichtet nach den Lösungsansätzen (0: erfüllt dies nicht, ✓: erfüllt dies, ✓✓: erfüllt dies sehr gut)

Die in Tabelle 11 vorgenommene Bewertung in Bezug auf die genannten Kriterien soll hier noch einmal erläutert werden:

Wirtschaftlichkeit: Wie bereits in Kapitel 2.1 dargelegt, ist die Wirtschaftlichkeit eher ein relatives Kriterium. Trotzdem kann objektiv betrachtet, behauptet werden, dass Enviro wirtschaftlicher ist, als das GIS. Ersteres liegt als *open source* vor, und es entstehen daher keine Kosten für die Beschaffung der Software. Das GIS ist relativ teuer - müssen doch für jedes installierte System entsprechende Lizenzen bezahlt werden. Die Kosten für das GIS und Enviro gleichen sich etwas aneinander an, wenn davon ausgegangen wird, dass das GIS bereits eingesetzt wird. Hier fallen die Kosten für eine Einarbeitung möglicherweise geringer aus, als für ein neu eingesetztes System wie Enviro.

Die **Genauigkeit** sollte bei beiden Systemen in etwa identisch sein - wird doch für beide die gleiche GIS-gespeicherte Datenbasis verwendet. Aber nur im GIS lassen sich, im Gegensatz zu Enviro, auch quantitative Aussagen machen, in der die Genauigkeit eine Rolle spielt. So sind die Daten hier analysierbar und für Berechnung nutzbar, was in Enviro nicht der Fall ist.

Die objektive **Benutzerfreundlichkeit** (also die **Einfachheit** der Bedienung) ist in Enviro höher zu bewerten, als im GIS. Die Benutzeroberfläche des GIS bietet wesentlich mehr Funktionen, als Enviro ist dadurch aber auch wesentlich komplexer und schwieriger zu bedienen. Dies gilt aber nur unter dem Vorbehalt, dass ein Anwender beide Systeme noch nicht kennt. Geht man demgegenüber davon aus, dass das GIS bereits von der Zielgruppe der 3D-Lösung genutzt wird, so ist der Umgang mit dem System bereits bekannt, und die Benutzerfreundlichkeit spielt keine so große Bedeutung mehr.

Etwas schwierig ist die Bewertung der beiden Softwarelösungen in Bezug auf die **Kommunizierbarkeit**. Diese ist eigentlich nicht von der verwendeten Software, sondern von der Gestaltung der dargestellten Inhalte abhängig. Hier zeigt sich aber, dass im 3D-GIS mehr Funktionen vorhanden sind als in Enviro, um eine optimale Gestaltung und Aufbereitung des Inhaltes vorzunehmen und diese damit besser kommunizierbar zu machen. Im 3D-GIS lassen so z. B. Beschreibungen (Texte) oder Abbildungen mit den dargestellten Inhalten verbinden oder auch die mit den dargestellten räumlichen Informationen gespeicherten Attribute abfragen und anzeigen. Auch bietet das GIS mehr Möglichkeiten Präsentationen (siehe nachfolgenden Punkt) zu gestalten und diese optimal auf die jeweilige Zielgruppe auszurichten - auch dies erhöht die Kommunizierbarkeit erheblich.

Die **Präsentationsmöglichkeiten** sind im GIS vielseitiger, als in Enviro. Hier können neben den interaktiven 3D-Szenen auch automatisierte Animationen durch die Szenen individuell und flexibel gestaltet und abgespielt werden. Außerdem sind über entsprechende Benutzererweiterung die Erstellung von Filmen sowie die Navigation aus verschiedensten Perspektiven (Flug, Spaziergang, ...) möglich. Außerdem ist im GIS neben der 3D-Ansicht eine Übersicht in 2D möglich, in der auch verschiedene Aktionen Ressourcen schonend durchgeführt werden können. Hier ist auch die Einbindung verschiedenster Medien wie Bild und Ton möglich.¹

Demgegenüber ist die im Zusammenhang mit der Präsentation sehr wichtige **Realitätsnähe** in Enviro höher zu bewerten, als im GIS. Die hier entscheidende Bildqualität wird in Enviro durch die bessere *renderengine* gegenüber dem GIS erreicht. Aber auch die grundsätzlich mögliche Einbindbarkeit von 3D-Modellen mit Fototexturen erzielt eine höhere Realitätsnähe.

Die Möglichkeiten zur **Interaktion**, vor allem durch die Möglichkeit, **Daten zu manipulieren** (Verwalten, Analysieren, Ändern und Austauschen bereits vorhandener Datenbasis), sind im GIS wesentlich besser als in Enviro. Auch die Möglichkeit, einzelne Objekte (über die Maus oder über Abfragen) zu selektieren und zu diesen dann die gespeicherten Attribute anzeigen zu lassen, sprechen für das GIS. Eine hohe Interaktion zeichnet sich aber auch durch vielseitige Navigationsmöglichkeiten und einer hohen Beeinflussbarkeit der dargestellten Szeneninhalte aus. Auch hier sind die Möglichkeiten im GIS vielseitiger, als in Enviro.

Aus der benötigten Kombination von Präsentationsform, Realitätsnähe und Interaktionsgrad sowie der zu verwaltenden Datenmenge ergeben sich die Anforderungen an die **Leistungsfähigkeit** des Systems. Diese sind für einen Ad-hoc-Einsatz und zum Erstellen von *live*-Szenarien besonders hoch. In Bezug auf Interaktionsgrad und Präsentationsform ist zwar das GIS leistungsfähiger, in Bezug auf die für die *live*-Präsentation von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen überaus wichtige Leistungsfähigkeit bezüglich der maximal darstellbaren **Anzahl von Einzelobjekten**, deren **Darstellungsgeschwindigkeit** sowie der Realitätsnähe, ist aber Enviro eindeutig leistungsfähiger.²

Auch bezüglich der **Flexibilität** ist das GIS klar im Vorteil. Verschiedenste Datengrundlagen können integriert werden (Enviro unterstützt eigentlich nur sein eigenes Format und über Import ein zweites). Es gibt bereits unzählige Möglichkeiten das GIS zu erweitern und Programme, die sich in Form eines **modularen Konzeptes** an das GIS anbinden lassen (Enviro ist [nur] über eigene Programmierung erweiterbar, da es keine Schnittstelle zur Integration zusätzlicher Module bietet), was positiv bezüglich der **Funktionalität** des GIS zu bewerten ist. Alle für die Zielsetzung benötigten Funktionen sind im GIS vorhanden oder lassen sich in dieses integrieren. In diesem Zusammenhang ist auch das standardisierte Datenformat des GIS zu nennen, während Enviro sein eigenes - aber offen gelegtes - Format verwendet.

¹ Zu den Präsentationsmöglichkeiten des GIS vgl. auch Kapitel 5.2.5 und 5.2.6.

² vgl. hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 6.5.2 „Vorteile der Visualisierung mit Enviro“

Stellt man diesen Vergleich den Ansprüchen an die jeweiligen Anwendungsgebiete aus Kapitel 2.3 (Tabelle 2) gegenüber, so ergibt sich die Aufgliederung gemäß Tabelle 12. Aus dieser kann abgeleitet werden, welche Software sich am Besten mit den Ansprüchen, die sich aus dem jeweiligen Anwendungszweck ergeben, deckt.

| Kriterium | Forstplanung | Umweltbildung | Partizipation | 3D-GIS | Enviro |
|---|--------------|---------------|---------------|--------|--------|
| Wirtschaftlichkeit | ! | !! | ! | ✓ | ✓✓ |
| Genauigkeit (der Daten) | !! | ! | !! | ✓✓ | ✓✓ |
| Benutzerfreundlichkeit | ! | !! | ! | ✓ | ✓✓ |
| Kommunizierbarkeit | ! | !! | !! | ✓ | ✓✓ |
| Präsentation | ! | !! | !! | ✓✓ | ✓ |
| Realitätsnähe (der Darstellung) | ? | !! | !! | ✓ | ✓✓ |
| Interaktion | !! | ! | !! | ✓✓ | ✓ |
| Manipulierbarkeit der Daten | !! | ? | !! | ✓✓ | 0 |
| Leistungsfähigkeit (speziell auch in Bezug auf Objektanzahl und Darstellungsgeschwindigkeit; vgl. Tabelle 11) | !! (!!) | ? (!!) | !! (!!) | ✓✓ (✓) | ✓ (✓✓) |
| Flexibilität | !! | ! | !! | ✓✓ | ✓ |
| Funktionalität | !! | ! | !! | ✓✓ | ✓ |
| Modularität | !! | ? | !! | ✓✓ | 0 |

Tabelle 12: Gegenüberstellung von ArcScene und Enviro in Bezug auf praxisrelevante Bewertungskriterien (? : eher unbedeutend, ! : wichtig, !! : sehr wichtig, 0 : erfüllt dies nicht, ✓ : erfüllt dies, ✓✓ : erfüllt dies sehr gut)

Die Übersicht zeigt (Tabelle 12), dass momentan keiner der beiden Lösungsansätze alle Anforderungen aus allen Anwendungszwecken erfüllt. Momentan erfordert die Erreichung aller Anwendungsziele noch die Kombination der internen und der externen 3D-Visualisierung. Dabei ist je nach Einsatzziel (und damit den Anforderungen für den jeweiligen Anwendungszweck) zu entscheiden, welcher Lösungsansatz anzuwenden ist.

Wie die Übersicht zeigt, sind für die „interne“ Forstplanung die technischen Ansprüche (wie eine hohe Funktionalität, Interaktionsmöglichkeiten, Manipulierbarkeit der Daten) sowie die Genauigkeit der Daten und der Ergebnisse von herausgehobener Stellung, während im Bereich der waldbezogenen Umweltbildung die Ansprüche an die Bedienerfreundlichkeit und die Realitätsnähe in Kombination mit einer möglichst kostengünstigen Lösung wichtiger sind. Die meisten Anforderungen werden an ein Modul für den partizipativen Bereich gestellt. Hier treffen die hohen technischen Anforderungen aus der Forstplanung mit den hohen Benutzeranforderungen aus der Umweltbildung zusammen.

Sowohl für die interne Planung, als auch für den Bereich der waldbezogenen partizipativen Planung ist ein Expertensystem notwendig. Dieses muss sehr **leistungsstark** sein und eine hohe **Flexibilität** aufweisen. Im Planungsbereich werden vielfältige Funktionen zur Datenmanipulation und -analyse,

Bewertungs- und Präsentationsfunktionen. Im Bereich der forstlichen Partizipation ergeben sich die höchsten Ansprüche aus dem anzustrebenden „live“-Einsatz des Systems. Hier sollen Szenarien aufgezeigt, diskutiert und abgewandelt werden können.

Bei beiden Einsatzgebieten spielen eine schnelle **Datenaktualisierung** und ein hoher **Interaktionsgrad** eine große Rolle.

Bei diesem Profisystem steht eine hohe **Funktionalität** vor der **Benutzerfreundlichkeit**: Diese spielt nur eine untergeordnete Rolle, da in den Planungsbereichen das Modul wohl eher durch einen „Profi“ bedient wird, der sich auch leichter in ein etwas komplizierteres System einarbeiten kann. Auch bezüglich der Kommunizierbarkeit können in beiden Anwendungsbereichen Abstriche gemacht werden. Im Bereich der internen Forstplanung werden ohnehin Profis miteinander kommunizieren, und im Partizipationsbereich können die Ansprüche an die Kommunizierbarkeit dadurch reduziert werden, dass das Modul im Praxisbetrieb (im Diskussionsprozess) durch einen Profi moderiert wird, der bei Missverständnissen erläuternd eingreifen kann. Im Bereich der Partizipation, aber gerade auch in der internen forstlichen Planung, ist es unbedingt erforderlich, dass Möglichkeiten zur quantitativen Beschreibung der Ergebnisse mit in die Präsentation aufgenommen werden können (wie Tabellen und Grafiken). Diese ergänzen das visuelle Landschaftsbild mit Zahlenmaterial, welches für die Entscheidungsfindung äußerst wichtig ist.

Auch in Bezug auf die **Funktionalität** werden hier sehr hohe Anforderungen gestellt. So spielen die Möglichkeiten zur **Interaktion**, vor allem auch in Bezug auf die **Manipulierbarkeit der Daten** (Verwalten, Analysieren, Ändern und Austauschen bereits vorhandener Datenbasis), in den Planungsbereichen eine sehr große Rolle.

Für den Bereich der partizipativen Planung ist es sehr wichtig, möglichst auch *live*-Szenarien erstellen zu können, um Handlungsalternativen und neue Vorschläge diskutieren zu können. Aus der benötigten Kombination von Präsentationsform, Realitätsnähe und Interaktionsgrad sowie der zu verwaltenden Datenmenge ergeben sich die Anforderungen an die **Leistungsfähigkeit** des Systems. Hier sind in den Bereichen Forstplanung und Partizipation sehr hohe Anforderungen zu stellen. Gerade für einen möglichen **Ad-hoc**-Einsatz wird ein sehr komplexes System benötigt. In den Planungsbereichen ist zudem eine hohe **Flexibilität** gefordert. Hier müssen verschiedenste (reale) Daten genutzt werden können, um alle relevanten Faktoren (z. B. Risikofaktoren, Naturschutzfaktoren, waldbauliche Faktoren, ...) bei einer Entscheidungsfindung zu kennen und berücksichtigen zu können. Auch muss das System bei neuen Anforderungen erweiterbar sein. Das System ist möglichst „offen“ zu halten, um zusätzliche Informationen „einspielen“ zu können. Die Kombination aus Einzelbaumgenerator, Waldwachstumssimulator und interaktivem 3D-Visualisierungssystem ist hier notwendig, um im Ad-hoc-Einsatz neue Szenarien erzeugen zu können. Um das System auch um mögliche zukünftige Anforderungen erweitern zu können, sollte es möglichst **modular** gehalten werden. Hierfür wäre eine **Standardisierung** hilfreich. Diese ist auch notwendig, um ein System in einer so großen Organisation wie der Forstverwaltung einführen zu können. Dabei sollte an bereits bestehende Standards angeknüpft werden.

Die Anforderungen, die an ein solches Expertensystem gestellt werden, scheinen durch den vorgestellten GIS-internen Lösungsansatz sehr gut abgedeckt werden zu können. Viele der Ansprüche werden am besten (zum Teil überhaupt nur) durch diese Lösung erfüllt. Es sind dabei allerdings sehr hohe Investitionen pro laufendem System (bestehend aus einer leistungsfähigen Hardware und den GIS-Lizenzen) erforderlich. Sind diese für den internen Planungsbereich getätigt, lassen sich die beschafften Systeme auch für die partizipative Planung nutzen - es bedarf hierfür also keiner zusätzlichen Systeme. Ein sehr großes Problem besteht derzeit aber noch in der Leistungsfähigkeit bezüglich der maximal darstellbaren Anzahl an Einzelobjekten (zur Einzelbaum-bezogenen Vegetations-

darstellung). Bei der großflächigen, landschaftsbezogenen 3D-Visualisierung der Waldvegetation werden Anforderungen gestellt, die derzeit noch nicht durch das 3D-GIS erfüllt werden können. Ist diese großflächige 3D-Landschaftsdarstellung gefordert, kommt man derzeit auch in den Planungsdisziplinen nicht am Einsatz des kombinierten Verfahrens - GIS plus externes 3D-Visualisierungsmodul - vorbei.

Für einen Einsatz im Bereich der Umweltbildung wird im Gegensatz zur forstinternen Planung eine größere Anzahl an Systemen (Hard- und Software) gebraucht. Die Zahl richtet sich nach der Anzahl der gewünschten Präsentationsorte. Es ist eine möglichst kostengünstige (Software-)Lösung anzustreben, da der Erwerb einer größeren Anzahl von GIS-Lizenzen und der entsprechend leistungsfähigen Hardware in der Summe zu teuer und somit nicht praktikabel ist.

Im Fall der Umweltbildung ist eine starke Verbreitung beabsichtigt. Hierfür ist gegebenenfalls eine große Anzahl von Lizenzen notwendig, die in der Summe noch finanziell tragbar sein müssen (**Wirtschaftlichkeit**). Außerdem widerspricht der Einsatz von sehr teuren Systemen in der Umweltbildung auch der ökonomischen Forderung, dass diese dann auch sehr stark ausgelastet sein müssen - dies ist aber im Einsatzgebiet Umweltbildung eher unwahrscheinlich. In diesem Bereich ist die **Genauigkeit** per se nicht ganz so wichtig. Hier geht es eher darum, glaubhafte Szenarien aufzuzeigen, die den realen Vorgängen nahe kommen. Dabei ist es aber z. B. nicht so wichtig, dass ein idealisierter Bestand und dessen Entwicklung räumlich exakt zu lokalisieren wäre. Viel wichtiger ist die **Benutzerfreundlichkeit** (also die **Einfachheit** der Bedienung), da der Benutzer hier im Allgemeinen auf ein System trifft, das er selbstständig bedienen muss. Dabei stellen auch die mit der Benutzerfreundlichkeit verbundenen Kriterien wie Robustheit, Verlässlichkeit und Schnelligkeit eine unverzichtbare Anforderung dar. Auch die **Kommunizierbarkeit** des Moduls an sich ist für die Umweltbildung unverzichtbar, da hier der Benutzer, wie bereits zuvor erwähnt, im Allgemeinen auf „stand-alone“-Systeme trifft, deren Informationsgehalt er selbstständig erfassen können muss. Im Bereich der Umweltbildung und der Partizipation sind die Anforderungen an die **Präsentationsformen** sehr wichtig, um einen Zugang zu den Ergebnissen zu ermöglichen. Hier sind neben einer adäquaten Präsentationsart (als Film, als interaktive Modellwelt), in der möglicherweise verschiedenste Medien (Bild und Ton) miteinander verknüpft werden, vor allem auch sehr hohe Ansprüche an das Kriterium der **Realitätsnähe** zu stellen. Diese nimmt eine herausgehobene Stellung in den „kommunikativen“ Anwendungsbereichen „Partizipation“ und „Umweltbildung“ ein. Die Realitätsnähe wirkt sich entscheidend auf die Akzeptanz der Visualisierung aus, da nichtprofessionelle Nutzer im Allgemeinen aus den abstrakten Waldstrukturdaten kaum konkrete (bildhafte) Vorstellungen ableiten können. Im Bereich der Umweltbildung spielt die **Interaktion** insofern eine Rolle, als interaktive Systeme den Nutzer stärker fesseln und auch der „Lernerfolg“ bei aktiver Beteiligung des Benutzers höher ist, als bei statischen Präsentationen. Dies ist mit Sicherheit ein entscheidender Aspekt, wenn im Rahmen der waldbezogenen Umweltbildung Kinder und Jugendliche angesprochen werden sollen. Im Bereich der Umweltplanung müssen keine so hohen Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Systems gestellt werden, da es hier möglicherweise ausreicht, nur Filmsequenzen abzuspielen, bei deren Erstellung auf „vorgefertigte“ veranschaulichende Szenarien zurückgegriffen werden kann.

Auf GIS-Lizenzen kann hier verzichtet werden, da für die reine Präsentation keine GIS-Funktionalitäten benötigt werden. Es wird empfohlen, den GIS-basierten Lösungsansatz vorbereitend zum Erstellen der zu präsentierenden Szenarien zu nutzen. Die eigentliche Präsentation der erstellten Szenarien an den verschiedenen Einsatzorten kann dann mit der modifizierten Version der freien 3D-Visualisierungsumgebung Enviro durchgeführt werden. Diese Kombination erzielt eine sehr hohe Darstellungsqualität und damit eine hohe Realitätsnähe der dargestellten (Wald-)Landschaftsszenarien, die für den Umweltbildungsbereich ja eine besonders große Bedeutung haben.

6.5.4 Zusammenfassende Bewertung

In der vorliegenden Studie wurde ein Lösungskonzept erarbeitet, durch das Methoden zur GIS-basierten 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und deren Dynamik bereitgestellt werden. Durch die Kombination eines GIS mit einem Waldwachstumssimulator und einer 3D-Visualisierungseinheit steht nun ein Prototyp für die benutzergeführte 3D-Visualisierung typischer forstlicher Daten auf Einzelbaumbasis zur Verfügung. Dabei konnte gezeigt werden, dass eine 3D-Visualisierung von Landschaftsausschnitten - auch auf Einzelbaumebene - mit den aktuell zur Verfügung stehenden Werkzeugen sehr gut möglich ist.

Die größte Schwierigkeit einer realistischen Einzelbaum-basierten Walddarstellung ist die geeignete Technik zur 3D-Darstellung der Einzelbäume. Hierfür stellt die *billboard*-Technik den zurzeit besten Kompromiss zwischen Abbildungsqualität und Darstellungsgeschwindigkeit dar. Diese konnte in der GIS-basierten Lösung umgesetzt werden, wobei allerdings die Erstellung von größeren Landschaftsausschnitten hier schnell sehr hohe Rechenzeiten erfordert. Bessere bzw. schnellere Ergebnisse werden derzeit mit (GIS-)externen Visualisierungsprogrammen erzielt. Diese haben teilweise deutlich leistungsstärkere *renderengines* mit einer besseren „*level of detail*“ (LOD)-Unterstützung. Dadurch ist es möglich, dort ausgedehnte Vegetationsbestände mit hoher Bildqualität darzustellen.

Aus den Erkenntnissen der vorliegenden Arbeit lässt sich ableiten, dass **eine reine GIS-Lösung eigentlich der Optimalfall wäre**. Viele der Ansprüche, die für die angestrebten Anwendungsgebiete benötigt werden, lassen durch das in vorliegender Studie entwickelte GIS-interne Lösungskonzept abdecken. Das 3D-GIS ist flexibel genug, um auf der Basis, einer „realen“ Datenbasis Szenarien spontan darzustellen und stellt Funktionen für Analysen in der Visualisierungsumgebung (in der 3D-Ansicht) zur Verfügung.

Die reine GIS-Lösung ist aber für viele Anwendungszwecke derzeit noch zu teuer und weist auch noch einige technische Schwächen auf.

Die GIS-interne Visualisierung kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt (noch) nicht ganz die Bild-Qualität und „*Performance*“ externer, auf die 3D-Visualisierung optimierter Programme erreichen. Darstellungen, wie die Abbildungen 61 und 62 (die mit Enviro erzeugt wurden) lassen sich mit GIS (noch) nicht erzielen. In diesen zeigen sich derzeit Schwächen in der Unterstützung gängiger 3D-Formate sowie bei der Unterstützung von rechenzeitverkürzenden (performanten) Algorithmen (wie LOD). Eine Repräsentation großer Vegetationsbestände (wie z. B. mehrere Distrikte) auf Einzelbaumebene ist dadurch im GIS momentan noch nicht möglich. Eine Darstellung der Vegetation kleinerer Ausschnitte (z. B. eines Distriktes auf Abteilungsebene) bedeutet hingegen keine Probleme. Die maximal darstellbare Anzahl an Einzelbäumen ist sehr stark von der verwendeten Hardware abhängig. Gerade bei der „reinen“ GIS-Lösung sind ein großer Arbeitsspeicher (mindestens 1 GB) und eine professionelle 3D-Grafikkarte (mit hardwareunterstütztem OpenGL) erforderlich, um die notwendige *Performance* für *live*-Visualisierungen zu erhalten. Die „mangelnde“ *Performance* der GIS-internen Lösung steht allerdings dem Vorteil gegenüber, hier interaktiv die abgebildeten Geo-Daten beeinflussen und analysieren zu können.

Außerdem ist der reine GIS-Ansatz wohl eher ein „Profisystem“. Da die Notwendigkeit besteht, die Daten für die Anbindung an den verwendeten Waldwachstumssimulator aufzubereiten, ist ein großes Fachwissen notwendig, und das System ist in seiner Komplexität nur durch den „Forstprofi“

nutzbar. Dieser kann aber Szenarien gestalten, abspeichern und in eine Form bringen, sodass das System auch durch den Laien nutzbar wird.

Momentan bietet sich eine Kombination der internen und der externen 3D-Visualisierung zur Erreichung aller Anwendungsziele an. Dabei ist je nach Einsatzziel (und damit den Anforderungen für den jeweiligen Anwendungszweck) zu entscheiden, welches Visualisierungsmodul zu verwenden ist. Sowohl für die interne Planung, als auch für den Bereich der waldbezogenen partizipativen Planung ist ein System mit „professionellen“ Funktionen notwendig. Dieses muss sehr leistungsstark sein und eine hohe Flexibilität aufweisen, wenn *live*-Szenarien erzeugt werden sollen. Außerdem spielen eine schnelle Datenaktualisierung und eine vielfältige Analysefunktionalität eine große Rolle. Für diese Anforderungen scheint ein GIS-interner Lösungsansatz (wie der vorgestellte) optimal. Es sind dabei allerdings höhere Investitionen pro laufendem System (bestehend aus einer leistungsfähigen Hardware und den GIS-Lizenzen) erforderlich. Sind diese für den internen Planungsbereich getätigt, lassen sich die beschafften Systeme auch für die partizipative Planung nutzen - es bedarf hierfür also keiner zusätzlichen Systeme.

Für den breiten Einsatz für die waldbezogene Umweltbildung ist der Erwerb und Einsatz einer großen Anzahl von GIS-Lizenzen aus finanziellen Gründen nicht praktikabel. Außerdem sind hier keine „Profifunktionen“ notwendig, sondern Haupteinsatz ist der Präsentationsmodus. Hierbei besteht auch ein besonders hoher Anspruch an Realitätsnähe bei der Darstellung der Vegetation. Hier ist zu überlegen, ob nicht die gewünschten Szenarien mit einer angepassten Version von Enviro präsentiert werden. Szenarien für verschiedene Waldentwicklungen (z. B. durch Simulation verschiedener Durchforstungsvarianten) müssten bereits berechnet sein und dem Nutzer durch einen Auswahldialog angewählt werden (Szenario 1: Niederdurchforstung - nach 10, 20, 30, ... Jahren; Szenario 2: Naturverjüngung - nach 10, 20, 30, ... Jahren, usw.).

Es ist zu erwarten, dass die meisten der angesprochenen Probleme durch zukünftige Hardwareentwicklungen gelöst werden. Für die globale Anwendung ergeben sich Anforderungen an die Weiterentwicklung von ArcScene, die mit einer fortschreitenden Hardwareentwicklung einhergehen wird (Darstellungsqualität von Hardwareentwicklung abhängig). Gerade für einen Einsatz in dem Bereich der Partizipation muss der Hersteller nachbessern (LOD, Objektanzahl, Fototexturen). Diese Weiterentwicklung ist aber absehbar. So schreiben HERWIG ET AL. 2000:

„Die moderne Computertechnik und dabei besonders die sich gegenwärtig mit hoher Geschwindigkeit entwickelnden Möglichkeiten grafischer Darstellungen auf PC-Basis werden es in Kürze erlauben, mit sehr hoher, realitätsnaher Qualität auch komplexe Objekte - wie einen Landschaftsausschnitt - dreidimensional darzustellen. Es ist zu unterstellen, dass damit in Zukunft eine bisher noch nicht mögliche realitätsnahe, bildhafte Darstellung von zukünftigen Landschaftszuständen entwickelt werden kann.“¹

Auch bei dem verwendeten 3D-GIS sollen laut Herstellerankündigung zukünftige Versionen von ArcScene beispielsweise eine verbesserte Importunterstützung von extern erzeugten 3D-Modellen aufweisen.² Um das System aber für alle Anwendungszwecke optimal weiter zu entwickeln, muss mit den Herstellern über Standards diskutiert werden, die dann in die GIS-Software zu implementieren sind. Dass das Prinzip grundsätzlich funktioniert, zeigen die Ergebnisse mit Enviro.

¹ HERWIG ET AL. 2000, S. 134

² vgl. hierzu auch die Diskussion in der ESRI-Newsgroup online unter der URL <<http://forums.esri.com/Thread.asp?c=93&f=1149&t=98608&mc=6#msgid277899>> (26.08.2003)

6.6 Diskussion zum Einsatz von 3D-Visualisierungs-Verfahren auf der Basis von GIS im Kommunikationsbereich der Forstwirtschaft

Nachdem die technische Umsetzung in Form von zwei Lösungsansätzen zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen aufgezeigt und diskutiert wurde, müssen in diesem Kapitel noch einige Aspekte diskutiert werden, die bei einer Einführung eines technischen computergestützten Verfahrens (einem „Neuen Medium“) in den Forstbereich Beachtung finden müssen.

Es ist festzuhalten, dass „Neue Medien“ Realität sind und bereits häufigen Einsatz im Umweltbereich finden. Die Medien Fernsehen (Film), Internet und Computersimulation werden intensiv genutzt, was die Vermutung nahe legt, dass sie auch im Forstbereich Erfolg versprechend eingesetzt werden können, evtl. sogar früher oder später von der Öffentlichkeit erwartet oder sogar ausdrücklich gewünscht werden.

Im Informationsbereich, der Werbung und im Film spielen Visualisierungen und Animationen eine große Rolle. Dazu einige Beispiele:

- Der Wetterbericht wird durch Computersimulation und durch Animationen verdeutlicht.
- In Dokumentarfilmen werden historische Zustände (z. B. antike Gebäude) oder auch seltene Ereignisse (wie z. B. ein Vulkanausbruch) dem Zuschauer durch Simulation und Computeranimation veranschaulicht.
- Viele Werbespots sind durch Computeranimationen gekennzeichnet (fliegende Autos, Cybermenschen, ...).
- Bei der „Tour de France“ werden über aufwändige Computersimulationen Animationen der jeweiligen Tagesetappe gezeigt (Flug über Sendegebiet, Etappe wird aus Vogelperspektive gezeigt).
- Im Spielfilmen werden große Teile durch Trick- und Computertechnik verwirklicht - bis hin zu komplett computeranimierten Filmen.

Der allgemeine Trend geht dabei zur fotorealistischen Animation als besonders für Laien überzeugende Präsentationsform über.¹

Es ist zu erwarten, dass die tägliche „Konfrontation“ mit hochwertigen Animationen die Ansprüche an die Form und Qualität „Neuer Medien“ auf ein hohes Niveau hebt und sich dies auch auf andere Bereiche, wie z. B. die forstliche Planung auswirkt. So schreibt KNAUFT 2000:

„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 anthropogener Umweltveränderungen erklärt.“²

Wie in diesem Zitat betont, muss auch die Forstwirtschaft versuchen, mit den neuen Methoden zu arbeiten, um sowohl den im Kommunikationsprozess an sie gestellten Erwartungen als auch ihrem

¹ vgl. LOBST 1997

² KNAUFT 2000, S. 84

Selbstanspruch, als ein moderner und zukunftsfähiger Dienstleister anerkannt zu werden und auch zukünftig im Kommunikationsbereich (durch die Wahl adäquater Mittel) „mitreden“ und überzeugend argumentieren zu können. Das in der vorliegenden Arbeit entwickelte Lösungskonzept zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen kann solch ein adäquates Mittel sein.

Detaillierte Visualisierungen in Form von interaktiven Landschaftsdarstellungen können zur Akzeptanz und zum Verständnis von komplexen Zusammenhängen und erforderlichen forstlichen Maßnahmen beitragen.¹ Dabei bringt gerade der GIS-gestützte Ansatz entscheidende Vorteile, die in verschiedenen Abschnitten der Arbeit aufgezeigt wurden. **Durch GIS und neue digitale Medien werden bestehende Methoden der waldbezogenen Planung sinnvoll ergänzt**, weil nahezu alle verfügbaren Daten eines Darstellungsraumes in die Planung mit einbezogen, dargestellt und verwaltet werden können und durch neue Analyse- und Präsentationsverfahren eine neue Sichtweise der Umwelt möglich wird. So ist auch die Einbindung, Verknüpfung und Darstellung verschiedener Medien-/Datentypen (wie Tabellen, Videos, Bilder und Ton) möglich, um unter anderem durch die Untermalung mit Ton einen noch natürlicheren Eindruck zu erwecken (Vogelgezwitscher, Baumrauschen, ...) oder auch um gewünschte Stimmungen aufzubauen. Es bietet sich die Chance, eine auf die Zielgruppe optimal abgestimmte Präsentationen zu gestalten. Hierdurch wird auch eine umfassende Bürgerbeteiligung und eine bessere Kommunikation ermöglicht.²

Für den Planungsbereich bietet das GIS zusätzlich die Möglichkeit, herkömmliche, konservative Planungsmittel zu erzeugen. Die Überführung der digitalen in konventionelle Medien (Karten) hat dabei den Vorteil, dass dies vielen am Planungsprozess Beteiligten bereits bekannt ist und von daher nach bekanntem Verfahren genutzt werden kann. Hier rauf darf sich der Nutzen des Systems jedoch nicht beschränken - das Potenzial der digitalen Daten sollte voll ausgeschöpft werden indem bei Präsentationen am Bildschirm oder über einen Projektor (Beamer) alle Funktionen des Präsentationsprogrammes zum Einsatz kommen. Wird direkt mit einem GIS präsentiert, so lassen sich z. B. während der Präsentation auch dessen Analysefunktionen nutzen - die Möglichkeiten sind dabei nur durch den Funktionsumfang der Präsentationssoftware (im konkreten Fall des GIS) begrenzt.³

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der in der vorliegenden Arbeit vorgestellte GIS-gestützte Ansatz die Möglichkeit zur Erstellung überzeugender digitaler Präsentationen bietet, in denen eine Analyse, Simulation und Manipulation der zu diskutierenden Datengrundlage und die Simulation von Zukunftsszenarien möglich ist.⁴ Wichtig ist, dass dieses System im partizipativen Kommunikationsbereich lediglich als eine zusätzliche, hilfreiche Komponente angesehen wird, die eine Diskussion vor Ort nicht ersetzen - wohl aber ergänzen kann.

Es ist weiterhin darauf zu achten, nur die Funktionen zu nutzen, die sich sinnvollerweise für das Erreichen eines definierten Präsentationszieles eignen. Ein zu viel lenkt von den eigentlichen Inhalten ab, ein sparsamer Einsatz kann demgegenüber zur Glaubwürdigkeit verhelfen. Die Bedienung muss darüber hinaus auch professionell von statten gehen, da auch bei Fehlbedienung oder unsicherem Umgang mit dem Präsentationsmedium die Gefahr besteht, dass schnell die Glaubwürdigkeit der dargestellten Informationen angezweifelt wird.

¹ Vorteil der Reduktion von Komplexität, vgl. auch Kapitel 1.

² WEIDENBACH 1998, S. 210

³ Zu den Möglichkeiten des GIS im Präsentationsbetrieb vgl. Kapitel 5.2.

⁴ vgl. hierzu auch Kapitel 5.

Den zuvor genannten hohen Ansprüchen an die Realitätsnähe gerecht zu werden ist sehr schwierig und einigen bereits angesprochenen Begrenzungen unterworfen. Allerdings muss auf einen prinzipiellen und entscheidenden, die Glaubwürdigkeit betreffenden Unterschied zwischen EDV-Planung und Film-Animation hingewiesen werden: Die durch die Filmindustrie gesetzten Maßstäbe sind zwar sehr hoch, doch während dort die Fiktion erlaubtes Stilmittel ist, müssen im Planungsbereich reale Sachverhalte verdeutlicht werden. Zudem ist die Erzeugung einer hohen Realitätsnähe in Filmform leichter zu bewerkstelligen, als bei interaktiven Präsentationen in denen *realtime*-Szenarien erzeugt und diskutiert werden sollen. Bei der anvisierten Darstellung von Waldstrukturen und deren Dynamik müssen Landschaftsausschnitte zusammenhängend und realistisch dargestellt werden. Eine fotoreale Abbildung bei der computerbasierten Darstellung von (Wald-)Landschaften ist jedoch nur bedingt möglich. Die Ergebnisse des Visualisierungssystems sind nicht immer so realitätsnah, wie dies mitunter erwartet oder benötigt wird. Dessen muss sich der Anwender (Planer) beim Einsatz des entwickelten Lösungsansatzes bewusst sein.

„Es ist aber auch deutlich geworden, daß Computer trotz allem nicht in der Lage sind, die Realität einer Landschaft vollständig zu erfassen und wiederzugeben. Dies liegt zum einen an der komplexen Beschaffenheit der Natur und der subjektiven Art und Weise der menschlichen Wahrnehmung, zum anderen aber auch an den begrenzten technischen Möglichkeiten, die derzeit verfügbar sind. Somit führt die von LOBST 1997 postulierte computergeschaffene ‘Annäherung an die natürliche Komplexität von Landschaft, Natur und Lebewesen’ nicht weiter als in eine künstliche virtuelle Wirklichkeit, durch welche die reale Welt aber nur sehr eingeschränkt repräsentiert wird.“¹

Die zu erzielende Realitätsnähe ist immer eine Gradwanderung zwischen Rechenleistung (*render*-Leistung) und Detailgrad.² Die Ansprüche an die mögliche Realitätsnähe müssen also immer relativiert werden:

„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. Dies kann durch Computersimulationen nicht geleistet werden. Es gibt kein Modell, daß die Wirklichkeit [und vor allem die zukünftige Entwicklung dieser, Erg. d. V.] identisch wiedergibt.“³

Über diese eher allgemeine Diskussion über die Vor- und Nachteile Neuer Medien, in Form eines computertechnischen Verfahrens zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und deren Dynamik, müssen bei der Einführung und Verwendung eines solchen Verfahrens in den Forstbereich noch spezielle Problembereiche aufgezeigt und diskutiert werden. Diese werden von Seiten der potenziellen Benutzer eines solchen Verfahrens formuliert: In der Literatur werden Beispiele aufgezeigt, die die nach wie vor bestehende Unsicherheit im Umgang mit neuen Medien gerade in naturbezogenen Bereichen deutlich machen. Die dabei formulierten Probleme müssen aus der Sicht zweier Nutzergruppen betrachtet werden.

¹ WEIDENBACH 1998, S. 215

² Diese Problematik wird in Kapitel 2.2.2 „ad a)“ diskutiert.

³ KNAUFT 2000, S. 45

- 1) Die Anwendergruppe (Praktiker), die das computertechnische Verfahren nutzen möchte, um Inhalte zu vermitteln und
- 2) die Zielgruppe (Zuhörer), die die dargestellten Inhalte rezipieren soll.

◦ *ad 1) Formulierte Probleme aus Sicht der Anwender (Praktiker)*

Aus Sicht der Anwender (Praktiker) lassen sich vor allem zwei formulierte Probleme herauslesen, sobald es um ein computertechnisches Verfahren für die landschaftsbezogene Planung geht. Erstens ist zunächst ein mangelndes Vertrauen in solche neuen Methoden zu beobachten. Dies betrifft meist Unsicherheiten bezüglich der Genauigkeit, der Qualität, der Stabilität oder des Nutzens des Systems. Zweitens müssen Fragen bezüglich der entstehenden Kosten abschätzbar sein. Dies betrifft Kosten, die durch Investitionen in das benötigte System und nicht zuletzt für die notwendige Aufbereitung der Daten entstehen.

Die Argumente, die sich auf das mangelnde Vertrauen beziehen, finden sich auch in Kapitel 2.2 wieder. Diese sollten dem Verfahrensentwickler bewusst sein und er sollte bei einer Einführung des Verfahrens plausibel auf diese antworten können oder besser noch - diese möglichst schon vor der Verfahrenseinführung „ausräumen“. Das bestehende Misstrauen, das „modernen“ computertechnischen Methoden entgegen gebracht wird, wiegt aus Sicht des Autors sehr viel gravierender als der Kostenfaktor. Aus Anwendersicht wird hier argumentiert, dass die modernen Verfahren oft zu wenig geprüft und zu wenig transparent sind („*black-box*“-Effekt) und eine Standardisierung fehlt.¹ Wie bereits zitiert², „finden“ sich Praktiker eher mit einem erkannten Problem ab, als dass sie zu dessen Lösung auf ein Verfahren zurückgreifen würden, in das sie kein Vertrauen haben.

Damit ein neues Verfahren auch tatsächlich von Anwendern in der Praxis genutzt wird, ist es also unbedingt notwendig, diese Bedenken zu zerstreuen oder zumindest abzumindern. Auch hier sind die entsprechenden Ansprüche an die Verfahrensentwickler zu stellen. Diese haben vor allem darauf zu achten, das Verfahren ausreichend zu dokumentieren und die Funktionsweise und Hintergründe des Verfahrens gemäß den Anforderungen in Kapitel 2.2. offen zu legen. Für den Diskurs mit dem späteren Anwender bieten sich vor allem die in Kapitel 2.2.1 genannten Aspekte an: Zur Stärkung des Vertrauens und somit auch zur Erhöhung der Akzeptanz bietet sich eine Zertifizierung des Verfahrens oder auch der Erwerb von Gütesiegeln an. Wie die Erfahrung zeigt, ist es für die Gruppe der Anwender besonders wichtig, wenn sich ein Verfahren bereits mehrfach positiv in der Praxis bewährt hat und hierfür Referenzen gegeben werden können.

Den Einwänden kann aber z. T. auch schon vor der Einführung des Verfahrens entgegnet werden, wenn dieses vorab mit Fachleuten und Praktikern diskutiert wird sowie der Aufbau und die Methoden zur Verfahrenserstellung in der gängigen, praxisnahen Fachpresse veröffentlicht werden. Hierdurch können Fehler aufgedeckt und beseitigt, eine hohe Transparenz erreicht und damit eine Erhöhung der Akzeptanz erzielt werden.

„Im Gegensatz zu den Formalwissenschaften (wie z. B. Mathematik) bedürfen realwissenschaftliche Aussagen neben einer Prüfung ihrer logischen Richtigkeit zusätzlich einer faktischen Prüfung durch die Konfrontation mit der Realität. Von ihnen wird logische und faktische Wahrheit verlangt.“³

¹ vgl. LEMM 2002, S. 19

² vgl. LEMM 2002, s. S. 16 der vorliegenden Arbeit

³ aus OESTEN 1986, S. 5

Dieser Anspruch ist auch an das Lösungskonzept der vorliegenden Arbeit zu stellen. Diesem fehlt aber zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch die Validierung durch einen Praxiseinsatz. Hier wäre in der Diskussion mit Praktikern und weiteren Fachleuten unter anderem zu prüfen, ob die Eigenschaften und der Aufbau des Verfahrens in seiner jetzigen Form, den Bedürfnissen aus der Praxis entsprechen.

Das formulierte Kostenproblem lässt sich auf die Aspekte ausweiten, die in Kapitel 2.1 unter dem Stichwort „Sinnhaftigkeit“ genannt wurden (Wirtschaftlichkeit, Bedarf, ...). Hier muss der Verfahrensentwickler die Überlegungen, Erkenntnisse und Entscheidungen offen legen, die er selbst vor der Verfahrensentwicklung getroffen bzw. erhalten hat. Die Bedenken bezüglich des Kosten- und Zeitaufwandes zur Erstellung der notwendigen Szenarien nimmt aus Sicht der Anwender dabei den scheinbar größten Stellenwert ein. So finden sich diese auch in der schlechten Bewertung bestehender Systeme hinsichtlich der Flexibilität wieder.¹ Hier werden vor allem die Erweiterbarkeit und Integrierbarkeit bestehender Modelle negativ bewertet, welche wiederum in hohen Kosten und einem hohen Zeitbedarf, die für etwaige Anpassungsarbeiten aufgebracht werden müssten, resultieren.²

Versucht man auf das Kostenproblem einzugehen, lassen sich folgende Argumentation anbringen: Ein Mehraufwand für digitale Präsentation ist im Allgemeinen dann akzeptabel, wenn dieser durch den entstandenen Mehrwert übertroffen wird. Da die Daten im Forstbereich häufig bereits digital vorliegen, sollte nicht auf die Möglichkeit verzichtet werden, diese Daten dann auch optimal zu nutzen (detailliertere Aufbereitung, schneller, realitätsnäher, etc.). Hier lassen sich zur Begründung auch Erkenntnisse anführen, die WEIDENBACH 1998 aus seiner Akzeptanzstudie ableitet:

„Der Aufwand, der hinter dem vorgestellten digitalen Konzept steht, ist nicht gering. Er erscheint aber v. a. dann gerechtfertigt, wenn nach Abschluß der Planung nicht die Einarbeitung des Landschaftsplans in den Flächennutzungsplan mit dem Tuschestift erfolgt, sondern die digitale Weiterverarbeitung und Weitergabe der Daten gewährleistet wird. Obwohl dies derzeit nicht die Regel ist, so besteht doch ein deutlicher Trend in diese Richtung. Zukünftig werden digitale Daten aber nur eine seriöse Rolle in der Landschaftsplanung spielen, wenn mit den gegebenen Möglichkeiten zur Manipulation verantwortungsbewußt umgegangen wird.“³

„Der auf den ersten Blick scheinbar größere Arbeitsaufwand macht sich im Laufe der Planung bezahlt, beispielsweise dann, wenn nachträglich Korrekturen, Ergänzungen und Überlagerungen notwendig sind oder die Ergebnisse kostengünstig und professionell vervielfältigt und weitergegeben werden sollen.“⁴

Auch speziell für den GIS-gestützten Einsatz stellt WEIDENBACH 1998 dem Aufwand einen Mehrwert entgegen:

„Der Unsicherheit des Kosten- und Zeitaufwandes stehen also zusammenfassend folgende Gründe des professionellen GIS-Einsatzes gegenüber:

- Datenverwaltung, -pflege und -abfrage (hierzu gehört auch die effektive Kartenerstellung)
- Erstellung überzeugender digitaler Präsentationen

¹ vgl. LEMM 2002, S. 19

² vgl. WEIDENBACH 1998, S. 181

³ WEIDENBACH 1998, S. 218

⁴ WEIDENBACH 1998, S. 163

- Analyse und Simulation und Manipulation von Daten (Zukunftsszenarien „was wäre wenn“)¹

Digitale Geodaten spielen im Bereich der Forstplanung eine immer stärkere Rolle und sind auch das erklärte Ziel der Landesforstverwaltungen.² Auch unter diesem Aspekt ist die Rückführung der Erkenntnisse aus der Planungsdiskussion in digitaler Form in die internen Planungsarbeiten als Mehrwert zu sehen. Zukünftig wird mit Sicherheit das Bestreben zunehmen, die digitalen Daten (die in ihrer Anschaffung sehr teuer sind) einer zentraleren Datenverwaltung zuzuführen, wo einmal erstellte Daten von verschiedensten Seiten genutzt werden können und die Bearbeitungsergebnisse und Erkenntnisse wieder an die zentrale Stelle zurückkehren und dort wieder allen Interessierten zur Verfügung gestellt werden (Auflösung der dezentralen hin zur zentralen Datenhaltung).

„Geht man ferner davon aus, daß eine erfolgreiche, transparente Präsentation die Akzeptanz der Planung erhöhen und sowohl den Auftraggeber als auch die Bürger und die beteiligten Fachbehörden zufriedenstellen kann, dann erscheint im Grunde kein Aufwand zu hoch für den zu erwartenden Erfolg.“³

Ein wirklich leistungsfähiges System verursacht gegenwärtig tatsächlich noch hohe Anschaffungskosten. Es ist von daher sicherlich nicht sinnvoll, eine große Anzahl solcher Systeme für verschiedene kleinere oder auch nur für vereinzelte Projekte anzuschaffen. Hier ist eher an eine zentrale Beschaffung und Bereitstellung solcher kostenintensiven Systeme zu denken. Für die Forstverwaltung ist es so z. B. denkbar, solche Systeme durch Dienstleister oder an zentraler Stelle in der Forstverwaltung bereitzustellen und sie je nach Bedarf zur Verfügung zu stellen oder dort aber direkt die entsprechenden Visualisierungen erstellen zu lassen. Teilweise verfügen die genannten Stellen bereits über Teile der notwendigen Hardwareausstattung. Als projektungebundenes Angebot muss ein solches System wiederum ein hohes Maß an Flexibilität besitzen. Ein weiteres Beispiel für die Minimierung der notwendigen Kosten für die Hard- und Softwareressourcen könnte ein „Verleihsystem“ ähnlich dem von Fahrzeugen in einer Genossenschaft (wie den Forstbetriebsgemeinschaften) sein.

◦ *ad 2) Formuliere Probleme aus Sicht der Zielgruppe*

Gegen neue Medien und vor allem bei Verwendung des Mediums Computer kommen auch heute noch Einwände von Seiten der Zielgruppe (Zuhörer). Vor allem Computerlaien stehen den Neuen Medien, durch die Neuartigkeit und Unvertrautheit mit dem Medium, mit Misstrauen gegenüber. Hier lassen sich vor allem die folgenden formulierten Bedenken erkennen:

- Es wird eine mangelnde Objektivität und Glaubwürdigkeit der Daten befürchtet („elektronische Daten sind nicht glaubwürdig und wissenschaftlich“).
- Es können Ängste vor suggestiven oder sogar manipulativen Darstellungen auftreten.
- Es bestehen oft Bedenken, dass die Computertechnik den Naturbereich „ersetzen“ könnte.
- Neue Medien werden oft grundsätzlich als zu komplex, kompliziert und zu schwer zu bedienen erachtet (Angst vor Fehlbedienung).
- Aus vorgenannten ergibt sich auch die Sorge des Nichtverstehens der dargestellten Inhalte.

¹ WEIDENBACH 1998, S. 182

² Seit Beginn der 90er werden z. B. in Baden-Württemberg die Ergebnisse der periodischen Forsteinrichtung digital erfasst und in ein zentrales System, dem „Forstlichen GIS“ der Staatsforstverwaltung (FOGIS) überführt, vgl. HÖHNE 1996.

³ WEIDENBACH 1998, S. 212

Um ein neues computergestütztes Verfahren, wie das in der vorliegenden Studie entwickelte System zur 3D-Visualisierung, erfolgreich in die Praxis einzuführen, ist es unbedingt notwendig auf diese durchaus berechtigten Einwände einzugehen.

Digitale Multimedia-Daten lassen sich derart realistisch am Computer manipulieren, dass z. B. ein verändertes digitales Foto qualitativ nicht vom originalen unveränderten Foto zu unterscheiden ist. Dieser Sachverhalt lässt sich auch auf Filme und andere digitale Präsentationsformen übertragen. Des Weiteren handelt es sich bei den für den Planungsprozess erzeugten Szenarien um eine Modellwelt, die nur eine vereinfachte, unvollkommene formale Nachahmung der Realität darstellt.¹ Ein Modell ist grundsätzlich ein abstraktes Gebilde, das nur einen Ausschnitt der Realität und der in ihr wirkenden Kräfte wiedergeben kann.² Auch der Autor der Modellwelt sollte sich dieses Sachverhaltes bewusst sein - wie auch seiner Verantwortung gegenüber dem Nutzer der von ihm „geschaffenen“ Modelle. Der Möglichkeitsraum, den die in vorliegender Studie beschriebene Simulation von Waldentwicklungen darstellt,³ muss während des ganzen Prozesses für die Öffentlichkeit transparent dargestellt werden („Woher kommen die Daten, die zur Erzeugung der 3D-Einzelbaum-Welt herangezogen wurden?“, „Wie kommt es zu der Waldwachstumssimulation?“). Es ist dabei herauszuarbeiten, dass die angestrebte 3D-Visualisierung „nur“ mögliche zukünftige Entwicklungen darstellen soll und nicht, wie bereits in der Einleitung (Kapitel 1.) betont wurde, den Anspruch erhebt, die Realität vollständig wiederzugeben. Das formulierte Ziel sollte sein, über die Darstellung von möglichen Szenarien Problemfelder aufzuzeigen und „visuell (be)greifbar“ zu machen.

Im konkreten Fall des computertechnischen Verfahrens zur 3D-Visualisierung betrifft dies allerdings weniger die entwickelte Softwarelösung - dieses stellt ein Instrument dar - als vielmehr die Inhalte (die Daten und Strukturen) mit denen dieses Instrument durch den Anwender (Praktiker, s. „ad 1“) gefüllt wird. Die Inhalte und deren Präsentation müssen professionell moderiert und somit „Aufklärung“ betrieben werden, vor allem da bei dieser Art Simulation grundsätzlich ein Konflikt besteht zwischen der Notwendigkeit einer möglichst hohen Realitätsnähe und dem Problem, dass bei steigender Realitätsnähe die Illusion der Wirklichkeit zunimmt. Daher ist darauf zu achten, das Medium, hier die GIS-gestützte Computervisualisierung, vor deren Einsatz „einzuführen“ und dabei klare Aussagen über die Eingangsdaten und Annahmen zu machen, die zu den Simulationen und deren Visualisierungen geführt haben. Durch die Moderation der Präsentation wird es möglich über die dargestellten Visualisierungen zu kommunizieren und so Missverständnissen von vornherein zu begegnen. So schreibt auch HANEWINKEL 2003:

„Auch ist es derzeit sicherlich nicht angebracht, diese sehr komplexen hochparametrisierten Instrumente ohne Begleitung und Supervision abzugeben, da die Gefahr der Fehlinterpretation der erzielten Ergebnisse sehr groß wäre. [...] Die Simulatoren sind somit eher als Kommunikationsinstrumente zu verstehen [...], mit Hilfe derer ein mit dem Modell vertrauter Planungsspezialist und ein örtlich erfahrener Entscheidungsträger gemeinsam versuchen, sich durch Szenarioanalysen über die Konsequenzen möglicher Entscheidungen in Bezug auf unterschiedliche Behandlungsstrategien klar zu werden. Die Vorstellung, dass mit Hilfe solcher Instrumente eine genaue Prognose der Realität in der Zukunft gleichsam wie bei einem Orakel möglich wäre, ist abwegig. Der Einsatz eines solchen Modells für Planungsentscheidungen gleicht viel eher einem Aushandlungsprozess, bei dem der Versuch unternommen wird, die mit Hilfe der technischen

¹ Zur Diskussion der möglichen Realitätsnähe vgl. auch oben in diesem Kapitel.

² SPEIDEL 1972, S.29

³ vgl. Kapitel 5.2

Möglichkeiten des Modells abbildbaren Szenarien mit der auf Erfahrung basierenden Realitätswahrnehmung der Planenden in Einklang zu bringen. Nur wenn dies zumindest bis zu einem gewissen Grad gelingt, ist die notwendige Akzeptanz für einen sinnvollen Einsatz eines solchen Planungsinstrumentes gegeben.“¹

Es hat sich gezeigt, dass bei richtiger Vorbereitung und Einführung die neuen Medien trotz eines existierenden Misstrauens gut angenommen werden, was auch in der Tatsache zu sehen ist, dass die Verbreitung der „Neuen Medien“ im Alltag (s. o.) dieses Misstrauen immer mehr abflachen lässt. So kommt WEIDENBACH 1998 zu folgendem Ergebnis:

„Auffällig war auch, daß die 20 - 30-minütige Betrachtung des projizierten Computerbildschirms mit den ständig wechselnden Inhalten den Zuschauern im allgemeinen keine Schwierigkeit bereitete, obwohl von einigen Personen die Qualität der Videos und Bilder bemängelt wurden. Dies kann als Hinweis dafür gewertet werden, daß die Augen vieler Menschen v. a. durch das Fernsehen bereits an die Betrachtung elektronischer Medien gewöhnt sind.“

Die Höhe der Akzeptanz der neuen Präsentationsformen gibt er mit rund 90 % bei Personengruppen an, die keine besondere Computer- oder GIS-Erfahrung erwarten ließen. Über alle Gruppen hinweg bescheinigten in seiner Studie 96 % der Befragten, dass die digitale Präsentationsform ein geeignetes Mittel zur Darstellung von landschaftsbezogenen Sachverhalten ist. Allerdings gibt er zu bedenken, dass die große Akzeptanz z. T. durch eine eher passive Haltung der Befragten gegenüber den neuen Medien zustande gekommen sei, welche sich in der Form ausdrückt, dass diese Gruppe der Meinung ist, die Entwicklung ließe sich nicht mehr aufhalten.² Trotzdem die digitale Präsentationsform Akzeptanz findet, wird laut dieser Studie eine Kombination mit altbekannten Verfahren, vor allem analogen Karten, gern gesehen.

Ein weiterer Faktor, der zu einer Erhöhung der Akzeptanz der dargestellten Inhalte führen kann, ist die Einbindung der Simulation in das für den Betrachter bekannte Umfeld. So vertreten DOBLE und SHANNON 1996 die Ansicht, dass es bei der grafischen Kommunikation zwischen Planer und Bürger wichtig ist, vertraute Bilder zu verwenden, die von den Beteiligten leicht in Bezug zu ihrer Umwelt und zu ihren eigenen Erfahrungen gebracht werden können. Neben den ökologischen Fakten müssen Objekte aus dem bekannten anthropogenen Umfeld in die Präsentation einbezogen werden³, wodurch die Darstellung als weniger abstrakt empfunden wird, da sie auf diese Weise leichter mit der Realität in Verbindung zu bringen ist.

Zusätzlich sollte gerade im partizipativen Planungsbereich nach wie vor Ortstermine vereinbart werden. Gerade die Möglichkeit, sich gemeinsam mit den beteiligten Interessengruppen (Öffentlichkeit/Bürgern und Behördenvertretern) vor Ort zu treffen, sich dort gemeinsam ein Bild der Lage zu verschaffen und bei dieser Gelegenheit Problembereiche zu diskutieren, ist eine sehr effektive Art der Kommunikation, auf die nicht verzichtet werden sollte.

In der Umweltbildung gibt es weitere anders geartete Probleme. Hier wird das neue Verfahren oft ohne Moderation, als so genanntes „*stand-alone*“-System an Infoterminals angeboten. Hier ist der oben genannten Gefahr zu begegnen, dass die Nutzer solcher Systeme zunächst Berührungängste (Angst vor Fehlbedienung) abbauen müssen. Daher ist es bei dieser Art des Einsatzes besonders

¹ HANEWINKEL 2003, S. 16f.

² WEIDENBACH 1998, S. 211

³ vgl. hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 1. und 2.2.3 „ad a)“.

wichtig, auf eine hohe Bedienerfreundlichkeit des Systems zu achten.¹ Die zu vermittelnden Inhalte müssen leicht und verständlich abzufragen sein, was aufgrund der häufig komplexen Zusammenhänge einer landschaftsbezogenen Entwicklung entsprechend schwierig ist.

Da die direkte persönliche Moderation in diesem Anwendungsfall wegfällt, sollte darauf geachtet werden, die Themen und Visualisierungen innerhalb der Präsentation am Infoterminal zu erklären bzw. einzuführen. Der Aufwand der Präsentationserstellung ist hierbei wesentlich höher und bedarf ebenso hoher Genauigkeit, wie sie bei einer direkten Moderation gefordert wäre.

Auch hier kann die Kombination der „Neuen Medien“ mit bereits Bekanntem helfen, der Unsicherheit dieser Zielgruppe entgegenzutreten. Wie bereits weiter oben schon angeführt, kann es auch in der Umweltbildung sinnvoll sein, neue Präsentationsformen mit etablierten, altbekannten Formen zu verbinden. „Harte“ Basisinformationen können so z. B. neben der Darstellung von Simulationen mittels „Neuer Medien“ zusätzlich als Karten, ausgedruckte Diagramme oder Tabellen ausgegangen werden.

Zusammenfassend lässt sich ein Gesichtspunkt bei der Einführung eines neuen Systems als herausragend definieren: Dies ist die Forderung, dass die jeweilige Zielgruppe auf einen Durchführenden treffen sollte, der sich als Gesprächspartner anbietet, für die Beantwortung von Fragen bereitsteht und Diskussionsbereitschaft signalisiert. Dies gilt sowohl für die Einführung des Systems in der forstlichen Praxis als auch in der Öffentlichkeit.

6.7 Ausblick

◦ *Technischer Ausblick*

Es ist zu erwarten, dass viele der derzeit noch existierenden technischen Probleme durch die nach wie vor schnelle technische Entwicklung in naher Zukunft gelöst oder zumindest abgeschwächt werden können. Vor allem können zwei technologische Entwicklungen das vorgestellte System positiv beeinflussen:

- 1) Die Verbesserung bei der benötigten Hard- und Software.
- 2) Neue Verfahren zur Erfassung der benötigten Ausgangsdaten zum Aufbau der 3D-Landschaft.

◦ *ad 1)*

Im Bereich der Hardwareentwicklung ist eine stetige Leistungszunahme zu beobachten. Für die nächste Prozessor-Generation ist z. B. eine 60- bis 100fache Leistungssteigerung gegenüber dem heutigen Stand angekündigt.² Auf die Entwicklung grafischer Darstellungen am PC wird sich dies besonders stark auswirken - die Rechnerleistung limitiert dann nicht mehr die Komplexität von 3D-Landschaftsdarstellungen und damit deren Realitätsnähe.

¹ Zu den Anforderungen bezüglich der Bedienerfreundlichkeit vgl. auch Kapitel 2.3 und 6.5.3

² vgl. Nachricht auf „heise online“ vom 22.09.2003 online unter der URL <<http://www.heise.de/newsticker/result.xhtml?url=/newsticker/data/wst-22.09.03-003/>> (23.09.2003)

Im Bereich der Softwareentwicklung sind vor allem die Hersteller der GIS-Software gefordert, ihre Produkte nach dem Stand der Technik gerade in Bezug auf die Verarbeitung und Darstellung von Geodaten im dreidimensionalen Raum zu optimieren. Es existieren bereits effiziente Algorithmen zur Reduzierung des Speicherbedarfs durch die Integration von Multiresolutions-Verfahren („*level of detail*“) und Sichtweitenbeschränkung¹ sowie 3D-Modell-Formate, die sich durch einen hohen Realitätsgrad (einschließlich Fototextur) auszeichnen. Die bisherige Entwicklung im 3D-GIS-Bereich lässt die Vermutung zu, dass diese Algorithmen und Formate in den nächsten Jahren nach und nach integriert bzw. unterstützt werden.

Der letztgenannte Bereich könnte relativ schnell realisiert werden. Der in der vorliegenden Arbeit vorgestellte Geodatentyp „*MultiPatch*“ erlaubt solch eine Aufnahme von Texturen. Hier entsteht allerdings ein Bedarf weiterer Konvertierungsfiler, um die Standardformate mit Fototextur (z. B. das 3DS-Format) in *MultiPatches* umwandeln zu können. Wird dieser Ansatz verwirklicht, so lassen sich z. B. auch im GIS hochwertige 3D-Baummodelle mit Fototextur einbinden. Somit wären ähnliche visuelle Ergebnisse innerhalb einer GIS-Umgebung möglich, wie sie sich heute schon im Ansatz von KNAUFT 2000 wiederfinden.

◦ *ad 2)*

Auch die Entwicklung neuer Verfahren zur Erfassung von Bestandes- und Einzelbauminformationen wird die Qualität der Darstellung von Waldstrukturen und deren Entwicklung erheblich verbessern. Neben der (halb-)automatischen Generierung von Bestandesgeometrien aus Luft- und Satellitenbildern mittels Segmentierungsverfahren² ist für die Erfassung von Einzelbaumstrukturen vor allem der derzeit stark erforschte Bereich des Laserscannings³ als sehr vielversprechend anzusehen. Durch Laserscannerdaten können Höhenmodelle der Landschaft⁴ erfasst werden. Zum Beispiel arbeiten ZIEGLER ET AL. 2001 an einer Methode, die aus einer Kombination der eben genannten Verfahren Kronenflächen und Baumhöhen für Behandlungseinheiten ermittelt und daraus BHD⁵ und Vorratsfestmeter der Einzelbäume ableitet. Diese Daten lassen sich als (verbesserte) Eingangsdaten für Waldstrukturgeneratoren nutzen oder sie können durch ihren Detailgrad direkt zur Beschreibung der Bestandesstruktur herangezogen werden.

Das Laserscanningverfahren eignet sich des Weiteren zur Erfassung von Gebäudehöhen und -formen⁶. In der Vergangenheit war das Erfassen von Gebäudedaten zur 3D-Modellierung derselben sehr viel aufwändiger, vor allem aufgrund der Tatsache, dass zur Abbildung von ganzen Städten eine sehr große Anzahl an Einzelobjekten erfasst werden musste. Wegen des großen Aufwands zur genauen Modellierung der individuellen Gebäudeformen wird häufig auf deren Darstellung verzichtet. Oder die Gebäude werden wie in dieser Arbeit über relativ einfache 3D-Modelle, meist Blockmodelle, abgebildet. Durch die Verwendung von Laserscannerdaten kann auch eine große Anzahl an Gebäuden relativ schnell erfasst und modelliert werden. Durch die Kombination mit Oberflä-

¹ vgl. SEIFERT 1998

² vgl. KOCH ET AL. 2002; KOCH ET AL. 2003; SCHRADER 2003

³ vgl. THIES ET AL. 2002; FRIEDLAENDER u. KOCH 2000; WEINACKER ET AL. 2002

⁴ Aus Laserscannerdaten können hierfür je nach Aufnahmebedingungen sowohl Bodenhöhenpunkte, als auch Höhenpunkte des Kronendaches von Waldbeständen abgeleitet werden.

⁵ „Brusthöhen-Durchmesser“

⁶ vgl. HAALA ET AL. 2002; BRENNER u. HAALA 2000

chentexturen (Fassadentextur¹) lassen sich hier sehr realistische Abbilder erzeugen. Die (halb-)automatische Generierung von 3D-Gebäudemodellen kann auch über fotogrammetrische (stereoskopische) Verfahren in Kombination mit spezieller Auswertungssoftware² geschehen.³ Dieses Verfahren hat momentan den Vorteil kostengünstiger als das Laserscannerverfahren zu sein.

◦ *Anwendungsbezogener Ausblick*

Den konkreten Einsatz eines 3D-GIS im forstlichen Planungssystem zeigt HANEWINKEL 2001 u. 2003 auf, der das in vorliegender Arbeit entwickelte System (dort als VisTree3D bezeichnet) in ein Entscheidungsunterstützungssystem zur räumlichen Planung (SDSS) integriert.⁴

Das Modell als Teil des SDSS kann eine Unterstützung und Verbesserung der Entscheidungssituation der Forstbetriebsleitung bei Überführungsvorhaben bieten. Durch die Visualisierung soll das räumliche Gefüge mit in die Entscheidung eingebunden werden. Dadurch kann auch das Risiko von Behandlungsstrategien für angrenzende Bestände abgewogen werden und entsprechende Auswirkungen auf das Landschaftsbild können in der Planung Berücksichtigung finden. Bestände werden bei der Planung nicht mehr isoliert betrachtet, sondern im räumlichen Zusammenhang (wie z. B. angrenzender Bestände oder Wanderwege).

Zudem birgt die Einbettung des Visualisierungsmoduls in ein GIS den großen Vorteil, die hier zu Grunde liegenden Daten nutzen und im Bedarfsfall schnell und einfach aktualisieren zu können. Auf Grundlage dieser Daten kann somit eine visuelle und GIS-analytische Risikoabschätzung geleistet werden.

Mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Visualisierungsansatz können nicht nur derzeitige und zukünftige Waldbilder und Landschaften simuliert werden. Ebenso gut lassen sich auch historische Waldstrukturen simulieren und dadurch die Waldkonzepte aus der Vergangenheit visualisieren. Hierdurch können Waldkonzepte und ihre Wechselwirkungen mit Umweltfaktoren im dreidimensionalen Raum analysiert werden - dies könnte z. B. eine Analyse Raum-zeitlicher Ursachen von Produktionsrisiken (Schnee, Sturm, Insekten u. a.) ermöglichen. Ein 3D-System könnte so eine Ergänzung zu einem (2D-)Ansatz bieten, der bereits von HINRICHS 1996 beschrieben wurde.

Daneben bietet das entwickelte Verfahren natürlich auch eine Analyse der räumlich-zeitlichen Entwicklung von Habitatqualitäten infolge forstlicher Nutzungsstrategien an. Auch Habitatstrukturuntersuchungen erfordern Kenntnisse der räumlichen Zusammenhänge von Bestandesstrukturen bzw. Bestandesstrukturentwicklungen. 3D-Visualisierungen in Zusammenhang mit GIS-Modellierungen bieten hierzu neue Anwendungsmöglichkeiten.

Das System ist unter anderem für die Durchführung „virtueller Durchforstungen“ gedacht. Dabei ist es nicht nur zur „Wenn-Dann“-Analyse innerhalb der Forstplanung einsetzbar. Es bietet auch eine sinnvolle Grundlage für Schulungen und fachliche Diskurse.⁵ Stetig ansteigende Rechnerleistungen ermöglichen überdies in Zukunft durch eine optimale 3D-Darstellung von Einzelbäumen qualitative Detailaussagen im Bereich der Forstplanung.

¹ vgl. exemplarisch GRÜN u. WANG 1999

² z. B. der CyberCityModeler; vgl. online unter der URL < http://www.cybercity.tv/cc_modeler_d.htm > (26.09.2003)

³ vgl. GRÜN u. WANG 1999; ULM 2003

⁴ Näheres zum Einsatz von SDSS in Umweltplanungsbereichen findet sich beispielsweise bei CZERANKA (1996).

⁵ vgl. PRETZSCH u. SEIFERT 1999; PRETZSCH u. SEIFERT 2000; KRAMER 2000

Ferner kann die Öffentlichkeit durch die visuelle räumliche Walddarstellung leichter in die forstliche Planung eingebunden werden. So kann die Bevölkerung im Sinne einer Umweltbildung über Art und Auswirkung von forstlichen Maßnahmen informiert und aufgeklärt werden. Beispielsweise ist gerade im Zusammenhang mit Plenterwäldern, die von der Bevölkerung aufgrund ihrer Schönheit besonders geschätzt werden, die Notwendigkeit von forstlichen Eingriffen nur schwer vermittelbar. So steht z. B. das Forstamt Freudenstadt konkret vor dem Problem, Nutzungen nur unter Protest der örtlichen Bevölkerung durchführen zu können. In solchen Zusammenhängen könnte das 3D-Visualisierungsmodul genutzt werden, um die notwendigen forstlichen Eingriffe zur Überführung bzw. Aufrechterhaltung des Plentergefüges der Öffentlichkeit näher zu bringen.

Als kontinuierlicher Einsatzort von Informationsveranstaltungen wäre eine „Begegnungsstätte von Mensch und Natur“ denkbar. Ein Beispiel hierfür bietet das „Haus der Natur“ im Naturschutzgebiet Feldberg im Süd-Schwarzwald.¹ Dieses Zentrum sieht seine Hauptaufgaben in der Pflege und Betreuung des Naturschutzgebietes Feldberg sowie der Information der Öffentlichkeit. Für den Umweltbildungsbereich ist eine permanente Ausstellung eingerichtet, in der bereits Verfahren zur Computer-basierten Wissensvermittlung verwendet werden. Es finden sich Informationsterminals, über die der Betrachter zum Beispiel Auskunft über die historische Verteilung von Baumarten (potenziell natürliche Vegetation) und historische Landnutzungsformen in Form von kolorierten geografischen Karten bekommt. Ein System zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen würde hier eine sinnvolle Ergänzung bieten.

In Zukunft kann auch durch die stärkere Verbreitung des Internets im gesellschaftlichen Leben ein wichtiges Medium entstehen, in dem eine öffentlichkeitswirksame Präsentation und Diskussion forstlicher Planungskonzepte vorgenommen werden kann.² So sind laut „heise online“ mittlerweile über die Hälfte der Deutschen regelmäßig im Internet.³ Hier sollte allerdings auf eine besonders hohe Bedienerfreundlichkeit geachtet und die dargestellten Inhalte besonders gut dokumentiert werden.

Selbstverständlich ließen sich realitätsnahe 3D-Simulationen der Landschaft nicht nur im Forstbereich einsetzen. Der Forstbereich könnte 3D-Modelle „seiner“ Wälder und der umgebenden Landschaft auch anderen Bereichen zur Verfügung stellen. Sie könnten z. B. Analysen im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) unterstützen. Im Forstbezirk Freudenstadt hätte die Planung des Riesenbühlsturms auf diese Weise begleitet werden können. Vor dem Bau hätte gezeigt werden können, welche Landschaftsteile vom Turm aus gesehen werden. Bei solchen Analysen kommt dem Wald und dem durch ihn resultierenden Sichtschatz eine große Bedeutung zu. Eine Studie von HARM ET AL. 1998 analysierte beispielsweise Hochspannungstrassen, um die Akzeptanz in der Bevölkerung im Vorfeld des Baus zu untersuchen. An derart realitätsnahen virtuellen Landschaften könnten auch touristische Anbieter interessiert sein, um bei den Erholungssuchenden für Urlaubsgebiete zu werben⁴.

¹ Informationen zum Haus der Natur finden sich online unter der URL <<http://www.naturschutzzentren-bw.de/feldberg/info1.htm>> (26.08.2003).

² Eine Diskussion über das zunehmende Interesse am Internet zur Veröffentlichung von geografischen Daten im Bereich der Umweltbildung findet sich bei WEIDENBACH 1998, S. 212. Dort finden sich auch weitere Referenzen auf wissenschaftliche und praxisorientierte Publikationen zu diesem Themenbereich.

³ vgl. Nachricht vom 09.09.2003 online unter der URL <<http://www.heise.de/newsticker/result.xhtml?url=/newsticker/data/anw-09.09.03-002/default.shtml&words=Online%20%25>> (23.09.2003)

⁴ FISCHER (1998); FISCHER u. KOCH (1998); FRECH u. KOCH (2003)

Die Entwicklung in der 3D-Visualisierung von Landschaften ist derzeit ein hochaktuelles Thema. Der Bedarf für eine Weiterentwicklung ist u. a. daran zu erkennen, dass bei Förderorganisationen verschiedener Länder viele Projekte zu diesem Thema eingehen. Aktuell genehmigte Projekte sind z. B. das Projekt Lenne3D¹ und das Projekt VisuLands². Möglicherweise ist der in dieser Arbeit vorgestellte GIS-basierte Ansatz hierfür ebenfalls eine geeignete Ausgangsbasis.

¹ Müncheberg, Deutschland; vgl. online unter URL <<http://www.zalf.de/dbu-wiss>> (23.9.2003)

² vgl. online unter der URL <http://www.nsl.ethz.ch:16080/IRL/lrg/visulands/fs_visulands.html> (03.06.2003)

7. Literatur

- ALBERTZ, J. (1991): Grundlage der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern - Eine Einführung in die Fernerkundung. Darmstadt, Wiss. Buchgesellschaft, 204 S.
- ASSMANN, E., FRANZ, F. (1963): Vorläufige Fichtenertragstafel für Bayern. Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt, München, 2. Auflage 1972, 104 S.
- BELL, A. (1976): Computerized vegetative mobility in rhizomatous plants. In: Lindenmayer, A., Rozenberg, G., (Eds.): Automata, Languages, Developments, Amsterdam, S. 3-14
- BIBER, P., ĎURSKÝ, J., POMMERENING, A., PRETZSCH, H., SEIFERT, E., SEIFERT, T. (2000): SILVA 2.2 - Benutzerhandbuch. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München (Version vom 25.05.2000), München, 179 S.
- BILL, R., (1999a): Grundlagen der Geo-Informationssysteme; Bd. 1.: Hardware, Software und Daten. 2. Auflage, Heidelberg, Wichmann, 454 S.
- BILL, R. (1999b): Grundlagen der Geo-Informationssysteme; Bd. 2: Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen. Heidelberg, Wichmann, 475 S.
- BIONATICS (2003): REALnat (vormals AMAP). Online Dokument 27. Januar 2003: <http://www.bionatics.com/>
- BITTER, A. W., MERREM, M. (1998): Typenorientierte Kontrollstichprobe. In: AFZ/Der Wald, H. 23, S. 1414-417
- BLENDER FOUNDATION (2003): Blender. Online Dokument 27. Januar 2003: <http://www.blender.org/>
- BRENNER, C., HAALA, N. (2000): Erfassung von 3D Stadtmodellen. PFG - Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, H. 2/2000, S.109 - 118
- BRIDGEWATER, P. B. (1993): Landscape Ecology, Geographic Information Systems and Nature Conservation. In: Haines-Young R., Green D. R. and Cousins ST., Taylor and Francis (Eds.) Landscape Ecology and GIS, S. 23-36
- BUCHY, M., HOVERMAN, S. (2000): Understanding public participation in forest planning: a review. In: Forest Policy and Economics, H. 1, S. 15-25
- BUCKLEY, D. J. (1998): The Virtual Forest: Advanced 3-D Visualization Techniques for Forest Management and Research. Vortrag auf der ESRI Nutzer-Konferenz 1998 in San Diego, CA. Online Dokument 27. Januar 2003: <http://www.innovativegis.com/products/vforest/contents/vfoverpaper.htm>
- BUCKLEY, D. J., BERRY, J. K. (1997): Integrating Advanced Visualization Techniques with ARC/INFO for Forest Research and Management. Online-Dokument 29. September 2003: <http://gis.esri.com/library/userconf/proc97/proc97/to350/pap347/p347.htm>
- BURKART, R. PROBST, S. (1991): Verständigungsorientierte Öffentlichkeitsarbeit: eine kommunikationstheoretisch begründete Perspektive. In: Publizistik, H. 1, S. 56-76
- BURSCHEL, P., HUSS, J. (1997): Grundriß des Waldbaus. Ein Leitfaden für Studium und Praxis. 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Blackwell Wissenschaftsverlag, 488 S.
- CENTRE FOR PLANT ARCHITECTURE INFORMATICS (CPAI) (2003a): FLORADIG. Online Dokument 27. Januar 2003: http://www.cpai.uq.edu.au/index.php?q=our_research/vir

- [tual_plants/3d_digitising.php](#), University of Queensland / Commonwealth Scientific & Industrial Research Organization (CSIRO)
- CENTRE FOR PLANT ARCHITECTURE INFORMATICS (CPAI) (2003b): 3D laser scanning. Online Dokument 27. Januar 2003: <http://www.cpai.uq.edu.au/scanning/index.htm>, University of Queensland / Commonwealth Scientific & Industrial Research Organization (CSIRO)
- CHOMSKY, N. (1956): Three models for the description of language. In: IRE transactions on Information Theory, 2, S. 113-124
- COULSON, R. N., LOVELADY, C. N., FLAMM, R. O., SPRADLING, S. L., SAUNDERS, M. C. (1991): Intelligent Geographic Information Systems for Natural Resource Management. In: Turner M. G., Gardner R. H., (Eds.): Quantitative Methods in Landscape Ecology. Ecology Studies, Vol. 82, Springer Verlag, S. 153-173
- CZERANKA, M. (1996): Spatial Decision Support Systems in Naturschutz und Landschaftspflege? - Umsetzungsaspekte für die raumbezogene Planung. In: Laufener Seminarbeiträge 4, S. 21 - 28
- DANAHY, J. W., WRIGHT, R. (1988): Exploring Design Through 3-Dimensional Simulations. In: Landscape Archive, July/August, S. 64-71
- DEES, M. (1996): Regressions- und Kleingebietsschätzung bei forstlichen Großrauminventuren unter Nutzung von Forsteinrichtungs- und Satellitendaten. In: Mitteilungen der Abteilung Forstliche Biometrie, 96-1. Freiburg, 201 S.
- DEES, M., KAHABKA, H., SAIDANI, N., FRIEDLAENDER, H., KOCH, B. (2002): Methods for fast storm damage assessment by remote sensing - options with optical data - experiences from damage assessment of the storm Lothar in Germany. Forest SAT Symposium Heriot-Watt University, Edinburgh, 5.-9. August 2002
- DENSBORN, S. (1999): Betriebssimulation - Instrument für die Strategische Planung. Fallstudie Kiefernbetriebsklasse 'Pfälzerwald' und Analyse der Funktionen von Simulatoren im Planungsprozeß. Schriften aus dem Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg, Band 11, 152 S.
- DETTEN, R. v. (2001): Waldbau im Bilderwald – Zur Bedeutung des metaphorischen Sprachgebrauchs für das forstliche Handeln. Schriften aus dem Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg, Band 15, 200 S.
- DISCOE, B. (2003): Virtual Terrain Project. online am 13.03.2003 unter URL: <http://www.vterrain.org/>
- DOBLE, C., SHANNON, S. (1996): Grafische Kommunikation. In: Garten und Landschaft, H. 11, S. 23-26
- DORAU, U. (1998): Computergestützte 3D-Visualisierung in der Landschaftsplanung – Ein Vergleich der Anwendbarkeit unterschiedlicher Visualisierungssoftware im mittleren Maßstabsbereich. Online Dokument 29. September 2003: http://80.110.251.60/corp/archiv/papers/1998/CORP1998_dorau.pdf
- EK, A. R., MONSERUD, R. A. (1974): Trials with program FOREST: Growth and reproduction simulation for mixed species even- or uneven-aged forest stands. In: FRIES, F. (Hrsg.): Growth models for tree and stand simulation. Royal College of Forestry, Research Notes, Nr. 30, S. 56-73
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC. (ESRI) (2001a): Exploring ArcObjects. Vol. 2 - Geographic Data Management. Redlands, Californien, 622 S.

- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC. (ESRI) (2001b): Customizing 3D Analyst - Exploring ArcObjects, Supplemental. PDF-Datei auf der CD3 der ArcGIS 8.2 Installations-CDs: Digital Books and Sample Maps, Redlands, Californien, 41 S.
- EOS SYSTEMS (2003): PhotoModeler und PhotoModeler Lite. Online Dokument 27. Januar 2003: <http://www.photomodeler.com/Lite/>
- ESSMANN, H., MANN, S. (1998): Konflikte in der Forstwirtschaft in krisenhafter Zeit. Eine Analyse der aktuellen forstpolitischen Diskussion. In: AFJZ, 169. Jg, H. 1, Frankfurt am Main, S. 4-13
- FISCHER, K. (1998): Erholungsnutzung im Pfälzerwald - Wege der Erholungssuchenden im und zum Wald innerhalb der Verbandsgemeinde Dahn - Dargestellt mit ArcView. Diplomarbeit an der Abteilung Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme der Albert-Ludwig-Universität Freiburg, 88 S.
- FISCHER, K., KOCH, B. (1998): TIS am Beispiel der Verbandsgemeinde Dahn; Demo-CD an der Abteilung Fernerkundung und LIS der Albert-Ludwig-Universität Freiburg, unveröffentlicht.
- FRECH, I., KOCH, B. (2003): "Multimedia Geoinformation in Rural Areas with Eco-tourism: The ReGeo-System". In: Frew, A., Hitz, M., O'Connor, P. (Eds.): "Information and Communication Technologies in Tourism 2003 - Proceedings of the International Conference in Helsinki, Finland, 2003", Springer-computerScience, Springer-Verlag Wien New York, ISBN 3-211-83910-0, S. 412-429
- FRECH, I. (2001): Zur Nutzung raumbezogener Informationssysteme (GIS) und Methoden der Fernerkundung in der tourismusbezogenen Planung und Präsentation - Ein Beispiel aus den italienischen Alpen. Dissertation an der Abteilung Fernerkundung und LIS der Albert-Ludwig-Universität Freiburg, 225 S.
- FRIEDLAENDER, H., KOCH, B. (2000): First experience in the application of laser scanner data for the assessment of vertical and horizontal forest structures. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B7. Amsterdam 2000. S. 693-700
- FRITZ, R. (1999): Digitale Forstkartenerstellung und Felsgrenzdelinierung mit Hilfe hochauflösender Satellitensysteme - Zwei Anwendungsbeispiele aus der Forst- und Landwirtschaft. Dissertation an der Abteilung Fernerkundung und LIS der Albert-Ludwig-Universität Freiburg, 151 S.
- FUHRMANN, S., SCHMIDT, B., BERLIN, K., KUHN, W. (2001): Anforderungen an 3D-Interaktionen in geo-virtuellen Visualisierungsumgebungen. In: Kartographische Nachrichten, Volume 51, No. 4, S. 191-195
- GEHRHARDT, E. (1908): Buchenertragstafel bei mäßiger Durchforstung. In: Hilfstafeln für die Forsteinrichtung, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Auflage 1990, S. 128-132
- GEIER, B., EGGER, K., MUHAR, A. (2001): Integrierte 3D-Visualisierungs-Systeme für die Landschaftsplanung: Konzepte und Marktrealität. In: CORP 2001, 6. Int. Symposium zur Rolle der Informationstechnologie in der und für die Raumplanung, Technische Universität Wien, S. 231-235
- GRAF, K. C., SUTER, M., HAGGER, J., MEIER, E., MEURET, P., NÜESCH, D. (1994): Perspective Terrain Visualization - a Fusion of Remote Sensing, GIS and Computer Graphics. In: Computers & Graphics, Vol. 18, No. 6, S. 795-802
- GREENWORKS ORGANIC-SOFTWARE: Xfrog. Online Dokument 27. Januar 2003: <http://www.xfrog-downloads.com/greenwebNew/products/xfrogSubStart.htm>

- GRÜN, A., WANG, X. (1999): CyberCity Modeler, a tool for interactive 3D city model generation. Online Dokument am 29. September 2003: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo99/gruen99.pdf>
- HAALA, N., BÖHM, J., KADA, M. (2002): Processing of 3D Building Models for Location Aware Applications. International Archives on Photogrammetry and Remote Sensing IAPRS, Volume XXXIV, Com. III, Part A, S. 138-143, ISPRS Commission III Symposium, Graz, September 2002
- HANEWINKEL, M. (1996): Konzept zur Überführung einschichtiger Fichtenwälder in stufige Dauerwälder - Entwicklung und ökonomische Analyse an einem Fallbeispiel. Arbeitsbericht 23-96, Institut für Forstökonomie, Universität Freiburg, 60 S.
- HANEWINKEL, M. (1998): Plenterwald und Plenterwaldüberführung. Schriften aus dem Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg, Band 9, 256 S.
- HANEWINKEL, M. (2001): Neuausrichtung der Forsteinrichtung als strategisches Managementinstrument. In: AFJZ, 172. Jg, H. 11, S. 202-211
- HANEWINKEL, M. (2003): Entscheidungsunterstützung bei komplexen betrieblichen Managementaufgaben am Beispiel von Waldumbau/Überführung und Risikomanagement. Habilitationsschrift eingereicht an der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Universität Freiburg, in Druck
- HARM, J., KOCH, B., REIDELSTÜRZ, P. (1998): Bewertung von Energieübertragungsanlagen; Photogrammetrisch gestützte Trassenvisualisierung mit Hilfe von CAD im Raum Osnabrück; Projektbericht im Auftrag der RWE Energie Aktiengesellschaft an der Abteilung Fernerkundung und LIS der Albert-Ludwig-Universität Freiburg, 47 S.
- HASENAUER, H. (1994): Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien, 152 S.
- HAUHS, M., KASTNER-MARESCHE, A., ROST-SIEBERT, K. (1995): A model relating forest growth to ecosystem-scale budgets of energy and nutrients. Ecological Modelling, 83. Jg, S. 229-243
- HERWIG, A., PAAR, P., REKITTKE, J., WERNER, A. (2000): Interaktive 3D-Landschaftsvisualisierung aus der Spaziergängerperspektive – Vorstellung einer Machbarkeitsstudie für ein Visualisierungs-Tool. In: Schmidt, B. & Uhlenkücken, C. (Hrsg.), Visualisierung raumbezogener Daten: Methoden und Anwendungen, Bd. II, Beiträge zum 3. GeoViSC-Workshop am 25. Sept. 2000, Vlg. Natur & Wissenschaft, Solingen (=IfGIprints, Schriftenreihe des Instituts für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster), S. 133-140
- HINRICHS, A. (1994): Geographische Informationssysteme als Hilfsmittel der Forstlichen Betriebsführung. Schriften aus dem Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg, Band 3, 128 S.
- HINRICHS, A., OESTEN, G., STEINBRENNER, M. (1993): Die Betriebsinventur der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg als betriebliches Führungsinstrument. Arbeitspapier des Instituts für Forstökonomie, Nr. 14-93, 74 S.
- HÖHNE, A. (1996): Entwicklung und Aufbau des geographischen Informationssystems der LFV Baden-Württemberg. In: AFZ / Der Wald Nr. 10, S. 535-538
- IMAGING SYSTEMS LABORATORY (2003): SmartForest: An Interactive Forest Data Modelling and Visualization Tool. University of Illinois at Urbana-Champaign, Dept. of Landscape Architecture. Online Dokument 27. Januar 2003: <http://www.imlab.psu.edu/smartforest/1.html>

- JAKULIN, A. (2000): Interactive Vegetation Rendering with Slicing and Blending. In: Eurographics'2000, Short presentations, 9 S.
- KAHN, M., PRETZSCH, H. (1998): Parametrisierung und Validierung des Wachstumsmodells SILVA 2.2 für Rein- und Mischbestände aus Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche und Erle. In: KENK, G. (Hrsg.): Beiträge zur Jahrestagung der Sektion Ertragskunde 1998 in Kevelaer
- KARJALAINEN, T., LARO USSINIE, O., SPIECKER, H. (Hrsg.) (1998): Causes and Consequences of Accelerating Tree Growth in Europe, 17.-19. May 1998 Nancy, France. Proceedings of the International Seminar held in Nancy, France 14-16. May 1998. EFI Proceedings No. 27, 285 S.
- KNAUFT, F. J. (2000): Entwicklung von Methoden zur GIS-gestützten Visualisierung von Waldentwicklungsszenarien. Dissertation an der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen, 137 S.
- KNAUFT, F. J., SLOBODA, B. (2000): Visualisierung virtueller Waldlandschaften durch Integration individuellenbasierter Modelle. In: Saborowski, J. & Sloboda, B. (Hrsg.), Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Forstl. Biometrie u. Informatik, 12. Tagung Göttingen 1999 / Herbstkolloquium der AG Ökologie der Internationalen Biometrischen Gesellschaft, Deutsche Region. Ljubljana, Biotechn. Fakultät, S. 293-308
- KNAUFT, F. J., SLOBODA, B., KURTH, W. (2001): Modellintegration bei der Erzeugung virtueller Waldlandschaften. In: AFJZ, 172. Jg, H. 8/9. Frankfurt am Main, S. 161-168
- KOCH, B., HARM, J., REIDELSTÜRZ, P. (2001): Remote sensing and spatial data for the establishment and visualisation of 3D computer landscape models as basis for visual impact assessment. In: GIS Zeitschrift für raumbezogene Informationssysteme, Vol. 12, Wichmann Verlag Heidelberg, S. 41-48
- KOCH, B., JOCHUM, M., IVITS, E., DEES, M. (2003): Pixelbasierte Klassifizierung im Vergleich und zur Ergänzung zum objektbasierten Verfahren. In: Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformationen, Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, S. 195-204
- KOCH, B., KRÜGER, J., SAGISCHEWSKI, H., CHMARA, S. (2002): Waldflächenverzeichnis Thüringen - praktisches Anwendungsbeispiel einer segmentbasierten Klassifizierung. International Symposium on National Forest Inventory for Turkey, Istanbul, 24.-28. Sept. 2002. In Druck.
- KOCH, B., SMALTSCHINSKI, T. (1997): Geographische Informationssysteme - eine neue Informationstechnologie im Forstbereich. In: Forst und Holz 52. Jg, H. 7, S. 176-182
- KRAMER, P. (2000): Zielorientierte Steuerung im Forstbetrieb - Möglichkeiten und Grenzen am Beispiel eines virtuellen Waldbestandes. Schriften aus dem Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg, Band 13, 165 S.
- KURTH, W. (1999): Die Simulation der Baumarchitektur mit Wachstumsgeneratoren: stochastische, sensitive L-Systeme als formale Basis für dynamische, morphologische Modelle der Verzweigungsstruktur von Gehölzen. Wiss. Verlag Berlin, Berlin, 327 S.
- LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG (1993): Hilfstabellen für die Forsteinrichtung. Herausgegeben vom Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart, 188 S.
- LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG (1999): Richtlinie landesweiter Waldentwicklungstypen, Stuttgart, 54 S.

- LANGE, E. (1999): Realität und computergestützte visuelle Simulation. Berichte zur Orts-, Regional- und Landesplanung, Bd. 106, VDF, Zürich, 176 S.
- LANGE, E. (2001): Prospektive 3-D-Visualisierungen der Landschaftsentwicklung als Grundlage für einen haushälterischen Umgang mit der Ressource Landschaft. In: Natur und Landschaft, 76. Jg. (2001), H. 12, S. 513-519
- LAPRÉ, L.: LParser. Online Dokument 27. Januar 2003: <http://home.wanadoo.nl/laurens.lapre/lparser.htm>
- LAVERS, C., HAINES-YOUNG, R. AND AVERY, M. (1993): The Use of Landscape Models for the Prediction of the Environmental Impact of Forestry. In: Haines-Young R., Green D. R. and Cousins St., Taylor and Francis, (Eds.): Landscape Ecology and GIS. S. 273-281
- LECOUSTRE, R., SAITO, K., KUMAGAI, Y., HONJO, T., DE REFFYE, PH. (1997): Simulation d'un paysage forestier à partir d'un SIG et de la technique de modélisation des plantes. In: Bouchon, J., de Reffye, Ph., Barthélémy, D. (Eds.): Modélisation et Simulation de l'Architecture des Végétaux. Science Update, INRA, Paris, S. 425-434
- LEMM, R. (2002): Ein Modell für alle Fälle - Einfache, alternative Simulationsmodelle. In: Prognosen in der Forsteinrichtung - Einsatz und Grenzen von Waldwachstumsmodellen. Tagungsband zur Tagung der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung an 16. und 17. Oktober 2002 in Eisenach (Thüringen), S. 15-27
- LINDENMAYER A. (1968): Mathematical models for cellular interactions in development. In: Journal of Theoretical Biology, I&II, S. 280- 315
- LOBST, E. (1997): Zapsapes '96 - der Computer als Verlängerung des Gehirns. In: LA Landschaftsarchitektur 4, S. 13-16
- MACEACHREN, A. M., KRAAK, M.-J. (1997): Exploratory cartographic visualization: advancing the agenda. In: Computers & Geosciences, 23. Jg., H. 4, S. 335 - 344
- MANN, S. (1999): Konflikte in der deutschen Forstwirtschaft - forstpolitische Schlußfolgerungen aus einer konflikttheoretischen Analyse. In: AFJZ, 170. Jg., H. 2, Frankfurt am Main, S. 22-28
- MCCARTER, J. B., WILSON, J. S., BAKER, P. J., MOFFETT, J. L., OLIVER, C. D. (1998): Landscape management through integration of existing tools and emerging technologies. In: Journal of Forestry. June 1998, S. 17-23
- MCGAUGHEY, R. J. (1997): Stand Visualization System, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Electronic distribution version, Online-Publikation, 52 S.
- MĚCH, R., PRUSINKIEWICZ, P. (1996): Visual models of plants interacting with their environment. In: Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1996; SIGGRAPH 96, New Orleans, August 1996, S. 397-410
- MINISTERIUM LÄNDLICHER RAUM (MLR) BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (2000): Forstprogramm Baden-Württemberg – Ein gesellschaftlicher Dialog unter Einbeziehung internationaler Vereinbarungen nach dem Konzept des Intergovernmental Panel on Forests der Vereinten Nationen (IPF), Stuttgart, 35 S.
- MONSERUD, R. A., STERBA, H. (1995): PROGNAUS ein Einzelbaumsimulator für ungleichaltrige Mischbestände in Österreich. Abschlußbericht zum Forschungsprojekt: Bestimmung der Parameter des Waldwachstumssimulators PROGNOISIS für Österreichische Baumarten

- MOOG, M., SCHALLER, M. (2002): Wildschadensbewertung im Wald – Ein Verfahrensvorschlag zur Bewertung von Verbisschäden unter Berücksichtigung der Dichte der unverbissenen Pflanzen. In: Forstarchiv, 73. Jg, S. 3 - 10
- MUHAR, A. (1996): Dreidimensionale Visualisierung von Vegetationsbeständen in unterschiedlichen Maßstäben. In: DOLLINGER, F., STROBL, J. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung VIII; Salzburger Geographische Materialien, Heft 24. Selbstverlag des Instituts für Geographie der Universität Salzburg, S. 224-230
- MYKLESTAD, E., WAGAR, J. A. (1977): Preview: Computer Assistance for Visual Management of Forested Landscapes. In: Landscape Planning 4, S. 313-331
- NAGEL, J. (1996): Anwendungsprogramm zur Bestandesbewertung und zur Prognose der Bestandesentwicklung. In: Forst und Holz, 51. Jg, H. 3, S. 76-78
- NEWNHAM, R. M. (1964): The development of a stand model for Douglas-fir. Ph.D. thesis, Faculty of Forestry, Univ. B. C. Vancouver, 201 S.
- NIKKERSON, D. B. (1979): Sightline, Perspektive Plot, Scope - Three Desktop Computer Programs for Forest Landscape Design. In: Journal of Forestry, Jan. 1979, S. 14-17
- OESTEN, G. (1986): Über die forstliche Betriebswirtschaftslehre als angewandte Sozialwissenschaft. Habilitationsschrift eingereicht an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 140 S.
- OESTEN, G., ROEDER, A. (2002): Management von Forstbetrieben. Band 1: Grundlagen, Betriebspolitik. Remagen-Oberwinter, 364 S.
- OESTEN, G., WURZ, A. (2002): Wildschadensbewertung im Wald - Stellungnahme zum Verfahrensvorschlag zur Bewertung von Verbisschäden von Moog und Schaller (Forstarchiv 73. Jahrgangs, 2002, S. 3-10). In: Forstarchiv 73. Jg. (2002), S. 149-157
- ONYX COMPUTING (2003): OnyxTree Professional. Online Dokument 27. Januar 2003: <http://www.onyxtree.com/>
- ORLAND, B. (2000): SmartForest-II: Forest Visual Modelling for Forest Pest Management and Planning, Online-Publikation der Universität von Illinois, www.imlab.uiuc.edu/sfjul97/index.html, Januar 2000
- PAULSEN, J. C. (1795): Kurze praktische Anleitung zum Forstwesen. Verfaßt von einem Forstmanne. Detmold, Hrsg. von Kammerrat G. F. Führer, 152 S.
- PIRCHL, P., HIRTZ, P., SUTER, M., NÜESCH, D. (1997) Integration von hochauflösenden Fernerkundungs- und Geländemodelldaten für die Landschaftsvisualisierung. In: Geographica Helvetica 1, S. 21-26
- POHL, C. (1996): Geometric Aspects of Multisensor Image Fusion for Topographic Map Updating in the Humid Tropics. ITC Publication, H. 39, 159 S.
- POTT, M. (1998): Verbindung Wuchsmodell - Geographisches Informationssystem als Beitrag für ein Betriebsinformationssystem. Vortrag anlässlich der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Tagungsbericht, S. 68-77
- PRETZSCH, H. (1992a): Zur Analyse der räumlichen Bestandesstruktur und der Wuchskonstellation von Einzelbäumen. In: Forst und Holz, 47. Jg., H. 14, S. 408-418

- PRETZSCH, H. (1992b): Konzeption und Konstruktion von Wachstumsmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstliche Forschungsberichte München, Band 115, 358 S.
- PRETZSCH, H. (1993): Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen. Versuche mit dem Strukturgenerator STRUGEN. Schriften aus der Forstlichen Fakultät Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 14, J. D. Sauerländer Verlag, 87 S.
- PRETZSCH, H. (2001): Modellierung des Waldwachstums. Berlin, Parey, 341 S.
- PRETZSCH, H. (2002): Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Berlin, Parey, 414 S.
- PRETZSCH, H., DURSKÝ, J., BIBER, P. (1999): Kriterienliste für den Einzelbaumsimulator SILVA 2.2. Arbeitspapier am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München, 24 S.
- PRETZSCH, H., DURSKY, J., POMMERENING, A., FABRIKA, M. (2000): Waldwachstum unter dem Einfluss großregionaler Standortveränderungen. Forst u. Holz 55. Jg, H. 10, S. 307-314
- PRETZSCH, H., KAHN, M. (1996): Wachstumsmodelle für die Unterstützung der Wirtschaftsplanung im Forstbetrieb, Anwendungsbeispiel: Variantenstudie Fichtenreinbestand versus Fichten/Buchen-Mischbestand. In: Allgemeine Forstzeitschrift 51. Jg, H. 25, Frankfurt am Main, S. 1414-1419
- PRETZSCH, H., KAHN, M. (1997): Das Wachstumsmodell SILVA - Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte- und Buche. In: AFJZ, 168. Jg, H.6/7, Frankfurt am Main, S. 115-123
- PRETZSCH, H., SEIFERT, S. (1999): Wissenschaftliche Visualisierung des Waldwachstums: In Echtzeit durch den virtuellen Wald. In: AFZ/Der Wald, 54. Jg, H. 18, S. 960-962
- PRETZSCH, H., SEIFERT, S. (2000): Methoden zur Visualisierung des Waldwachstums. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt. 119. Jg, H. 3, S. 100-113
- PRODAN (1965): Holzmeßlehre. J. D. Sauerländer Verlag, Frankfurt a. M., 644 S
- PRUSINKIEWICZ, P., LINDENMAYER, A. (1990): The algorithmic beauty of plants. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 228 S.
- PUKKALA, T. (1998): User's guide of MONSU forest planning software. Joensuu, 63 S.
- PUKKALA, T., KANGAS, J., PYKÄLÄINEN, J. (1998): Visual interactive planning in the private forest of Finland, University of Joensuu, 12 S.
- RAMMINGER, G., DEES, M., KOCH, B. (2002): Methods for fast storm damage assessment by remote Sensing - options with radar data - experiences from damage assessment of the storm Lothar in Germany. Presented at Forest SAT Symposium Heriot-Watt University, Edinburgh, 5.-9. August 2002, Veröffentlichung im Tagungsband der genannten Konferenz oder auf CD
- REFFYE, P. de (1981): Modèle mathématique aléatoire et simulatin de la croissance et de l'architecture du caféier robusta, 1re partie. Etude du fonctionnement des méristèmes plagiotropes. In: Café Cacao Thé, 25. Jg, H. 2, S. 83-104
- RÖHLE, H. (1995): Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern. Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung, H. 48, 272 S.
- SCHLENKER, G., MÜLLER, S. et. al (1978): Erläuterungen zur Karte der Regionalen Gliederung von Baden-Württemberg III. Teil (Wuchsgebiet Schwarzwald). In: Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung, Nr. 26. Stuttgart: Ulmer, S. 3-52

- SCHMIDT-HAAS, P. (1983): Swiss Continuous Forest Inventory. 20 Years' Experience. In: Proceedings, Renewable Resource Inventories for Monitoring Changes and Trends, IUFRO Conference, Corvallis, OSU, College of Forestry, S. 133-140
- SCHMIDT-HAAS, P., WERNER, J., BAUMANN, E. (1978): Kontrollstichproben: Aufnahmeinstruktionen. Berichte, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), H. 186, S. 1-57
- SCHNEIDER, T. W., KREYSA, J. (1981): Dynamische Wachstums- und Ertragsmodelle für die Douglasie und die Kiefer. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt Hamburg, Nr. 135, 137 S.
- SCHRADER, H. (2003): Anwendungsmöglichkeiten von SPOT 5 im Rahmen von forstlicher Kartierung und regionaler Waldflächenerfassung - am Beispiel des Raums Freiburg im Breisgau. Diplomarbeit an der Abteilung Fernerkundung und LIS, Albert-Ludwig-Universität Freiburg, 126 S.
- SEIFERT, S. (1998): Dreidimensionale Visualisierung des Waldwachstums. Diplomarbeit im Fachbereich Informatik der Fachhochschule München in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Ludwig-Maximilian-Universität München, 133 S.
- SEIFERT, S. (2000): Visualisierung von Waldbeständen und Waldlandschaften. In: Bericht von der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Versuchsanstalten in Kaiserslautern, S. 44-47
- SHEPPARD, S.R.J. (2001): Guidance for crystal ball gazers: Developing a code of ethics for landscape visualization. *Landscape & Urban Planning* (special issue), Volume 54, 25 Mai 2001, S. 183-199
- SMALTSCHINSKI, T. (1998): Integration von Forsteinrichtungsdaten und Waldwachstumsprognosen in ein GIS zum Zweck der Betriebsplanung - ein Anwendungsbeispiel. In: Deutscher Verband Forstlicher Versuchsanstalten Sektion Ertragskunde: Beiträge zur Jahrestagung; 25. - 27. Mai 1998 in Kevelaer, Freiburg, S. 78-84
- SPEIDEL, G. (1972): Planung im Forstbetrieb. Grundlagen und Methoden der Forsteinrichtung. Paul Parey, Hamburg, Berlin, 267 S., ISBN 3-490-08716-X
- SPIECKER, H., MIELIKÄINEN, K., KÖHL, M., SKOVSGAARD, J. P. (Hrsg.) (1996): Growth Trends in European Forests, Institute Research Report No. 5. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New-York, 372 S.
- SPOORS, H. J. (1996): Aufbau und Anwendungsmöglichkeiten eines raumbezogenen Forstlichen Informationssystems dargestellt am Beispiel des Niedersächsischen Staatlichen Forstamtes Reinhausen. Landwirtschaftsverlag, Münster, 128 S.
- STEINERT, B. (1983): Schluchsee - Kurzchronik der Gesamtgemeinde Schluchsee mit den Ortsteilen Blasiwald, Faulenfürst, Fischbach und Schönenbach. Herausgegeben von der Gemeinde Schluchsee / Hochschwarzwald, 127 S.
- STEINOCHEK, K. (1997): Application of Adaptive Filters for Multisensoral Image Fusion. Proc. IEEE Symp. Gesci. Remote Sensing (IGARSS'97), Singapore, August 1997, S. 910-912
- STERBA, H. (1981): Natürlicher Bestockungsgrad und Reinekes SDI. In: Centralblatt für das gesamte Forstwesen, 98. Jg, H. 2, S. 101-116
- STERBA, H., MOSER, M., MONSERUD, R. (1995): Prognaus - Ein Waldwachstumssimulator für Rein- und Mischbestände. In: Österreichische Forstzeitung, H. 5, S. 19-20

- SUTER, M. (1997): Aspekte der interaktiven real-time 3D-Landschaftsvisualisierung. In: Remote Sensing Series, 29. Geografisches Institut, Universität Zürich, 141 S.
- TEUFFEL, K. v. (1999): Waldentwicklungstypen in Baden-Württemberg. In: AFZ/Der Wald, 54. Jg., H. 13, S. 672-676
- TEUFFEL, K. v., KREBS, M. (1996): Geoinformationssysteme als Instrumente der forstlichen Betriebsführung. In: AFZ/Der Wald, 51. Jg., H. 10, S. 532-535
- TEUFFEL, K. v., KREBS, M. (1999): Forsteinrichtung im Wandel. In: AFZ/Der Wald, H. 16, S. 858-864
- THIES, M., KOCH, B., SPIECKER, H. (2002): Einsatzmöglichkeiten von Laserscannern für Wald- und Landschaftsinventuren. In: AFZ/ Der Wald, 57. Jg, H. 8, S. 395- 397
- TROLF, N. (1995): Digitale Pflanzenmodellierung in der Freiraumgestaltung. Diplomarbeit am Institut für Freiraumgestaltung und Landschaftspflege der Universität für Bodenkultur, Wien
- ULM, K. (2003): Improved 3D city modeling with CyberCity-Modeler (CC-Modeler™) using aerial-, satellite imagery and laserscanner data. ISPRS Workshop on Visualization and Animation of Reality-based 3D Models, Tarasp-Vulpera, Engadin, Schweiz, Februar 2003
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (1972): Forest Landscape Management. In: U.S. Department of Agriculture and Forest Service Northern Region, Washington D.C, 137 S.
- WEBER, N., SCHNAPPUP, C. (1998): Partizipation - ein neues Grundprinzip in der Forstpolitik?. In: AFJZ, 169. Jg, H. 9. Frankfurt am Main, S. 168-174
- WEIDENBACH, M. (1998): Geographische Informationssysteme und Neue Digitale Medien in der Landschaftsplanung. Dissertation am Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz der Ludwig-Maximilian-Universität München, München, 252 S.
- WEINACKER, H., DIEDERSHAGEN, O., KOCH, B. (2002): NATSCAN - dreidimensionale lasergestützte Erfassung von landschaftsbildenden Elementen. Vorstellung des Gesamtprojekts im Tagungsband zur wissenschaftl.-techn. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (DGPF), Band 11, S. 107-116
- WINDHAGER, M. (1999): Vergleich von distanzabhängigen und unabhängigen konkurrenzbeschreibenden Faktoren und ihre Auswirkung auf den Grundflächenzuwachs. In: AFJZ, 170. Jg, H. 7. Frankfurt am Main, S. 133-136
- ZIEGLER, M., SCHMITT, U., ECKMÜLLNER, O., SCHARDT, M., WIMMER, A. (2001): Laserscanning und hochauflösende Satellitenbilddaten für die Forsteinrichtung. In: STROBL/BLASCHKE/GRIESEBNER (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationssysteme XIII - Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2001, Salzburg, S. 540-545 S.

Abkürzungen:

AFJZ: Allgemeine Forst- und Jagdzeitung

AFZ: Allgemeine Forstzeitung

LIS: Landschaftsinformationssysteme

8. Anhang

A.1 Eingesetzte Geräte

Die nachfolgenden Übersichtstabellen (Tabelle 13 und Tabelle 14) listen die wichtigsten verwendeten Geräte (Hardware) auf.

| Personal-Computer | PC1 | PC2 |
|--|---|---|
| Prozessor (CPU) | Pentium III 600 MHz | Pentium IV 2800 MHz |
| Arbeitsspeicher (RAM) | 512 MB | 1024 MB |
| Grafikkarte (Grafik) RAM Bus Besonderheit | 3DLabs Oxygen GVX1 32 MB SGRAM AGP 4x OpenGL über Hardware 256 MB virtueller Texturspeicher | ATI Radeon 9700 Pro 128 MB DDR AGP 8x |
| Festplatten (HDD) | 2 x 10 GB | 40 GB |
| Betriebssystem (OS) | Windows 2000 Workstation | Windows 2000 Workstation |
| Einsatz seit | 01.04.2000 | 20.09.2002 |

Tabelle 13: Verwendete Personal-Computer (PC)

| Gerätebezeichnung | Typ | Zweck | Besonderheiten |
|----------------------------|----------------|--|---|
| Canon Powershot S30 | Digital-Kamera | Baumtexturbilder, Grundlage zur Modellierung des Riesenbühlturns | Auflösung von 3,3 MPixel |
| UMAX Mirage D16L | Scanner | Einscannen der SW-Luftbilder für das Kerngebiet der Untersuchung | Mirage D16L CCD, 1-pass / colour 400x800dpi / 800x1600dpi Dual lens A3 |

Tabelle 14: Weitere eingesetzte Geräte

A.2 Ermitteln der größten Standortseinheit je Bestand

Wenn man genau sein wollte, wäre es notwendig die Bestandesgeometrien zu Verfeinern um möglichst homogene Flächen mit Berücksichtigung aller möglichen Kriterien zu erhalten.

Hier wird nur der Standort berücksichtigt, der den größten Anteil an der Bestandesfläche einnimmt (über Verschneidung von Bestandesthema mit digitaler Standortskarte)

Als ersten wird im Bestandesthema ein neues ID-Feld angelegt (falls nicht schon vorhanden). Dieses ist ein Zählerfeld und sollte eindeutig sein. Alternativ kann man ein Integerfeld anlegen, in das man den Inhalt des Feldes „FID“ kopiert. Dann führt man ein *intersect* zwischen Standortskarte und Bestandesthema durch, wobei die Standortskarte als Input genommen wird. Für das *intersect*-Thema muss nun die Flächengröße aktualisiert werden (s. Abbildung 72). Dazu wird die Tabelle des Standort-Themas aufgerufen, das Feld AREA (falls nicht vorhanden anlegen) mit der rechten Maustaste angewählt und im erscheinenden Pulldownmenü wird „Calculate Values“ ausgewählt. Dort wählt man „Advanced“ und trägt den Code wie in Abbildung 72 zu sehen ein.

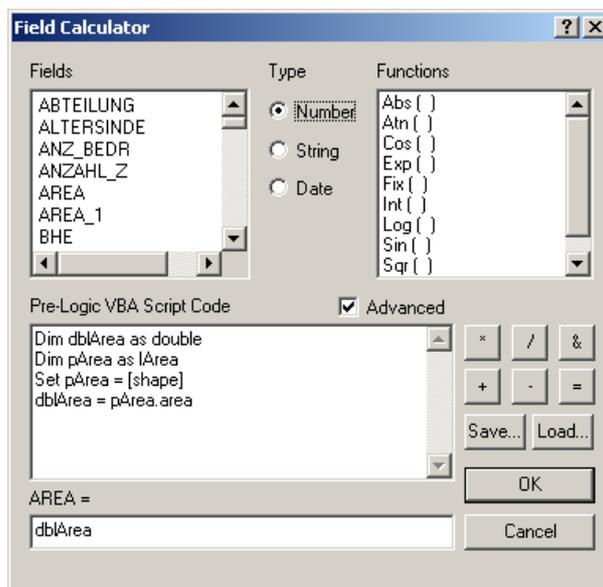


Abb. 72: Berechnung der Flächengröße im Field Calculator

Nun müssen alle „zersiedelten“ Standorte je Bestandesfläche wieder zusammengeführt werden. Im *intersect*-Thema wird dazu ein neues Feld vom Typ STRING angelegt (z. B. FID_STO) das als Inhalt die Verkettung aus ID-Feld des Ursprung-Bestandesthemas und der Standortinformation (RST_SIGEL) enthält. Mit dem Geoprocessing-Wizard wird nun ein *dissolve* auf Grundlage dieses neuen Themas durchgeführt. Als Attribute braucht man dabei nur die Felder GeoID (First), RE_KU (First), RST_SIGEL (First) und AREA zu übernehmen. Das Feld AREA sollte dabei als Summe der Einzelflächen (s. Abbildung 73) überführt werden. Als Resultat erhält man im *dissolve*-Thema ein Feld mit der Bezeichnung sum_AREA. Nun sollten noch Felder mit eindeutigen Namen angelegt werden und die Inhalte kopiert werden. So z. B. für RST_SIGEL ein Feld mit dem gleichen Namen, in das man die Inhalte des First_RST_SIGEL-Feldes kopiert. Das Standortsskript geht von der Existenz folgender Felder aus:

- Fläche im Feld AREA
- Standortssigel im Feld RST_SIGEL

Auch wäre es gut GeoID und RE_KU in gleichnamigen Feldern zu speichern. Die *dissolve*-Felder können dann gelöscht werden.

Das so präparierte *dissolve*-Thema geht als neues Standortsthema in das weitere Vorgehen ein. Für die Prognosedateien wird je Bestand aus den geschnittenen Standorten derjenige ermittelt, der den größten Flächenanteil in der Bestandesfläche einnimmt.

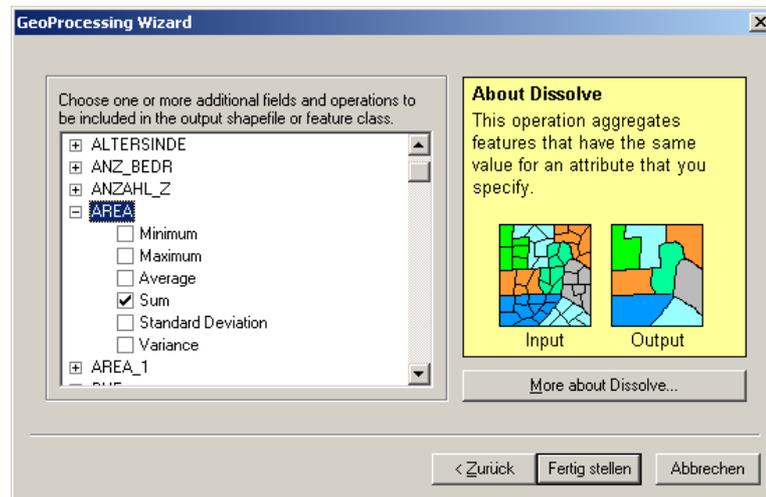


Abb. 73: Attributwahl im Geoprocessing Wizard

A.3 Übertragen der BI-Mittelwerte in die FE-Tabelle Bestand

Nachdem SDSS_ID0 im FOGIS-Bestandsthema vorhanden ist (Schalter „Berechnung der ID für die Falldatenbank“ im Dialog „Einstellungen zur Falldatenbank (SDSS)“) kann diese in die Forsteinrichtungstabelle „Bestand“ übertragen werden. Hierzu wird im vorgenannten Dialog der Schalter „Hinzufügen der ID zu der Tabelle 'Bestand'“ betätigt. Das übertragene Feld SDSS_ID0 dient in Kombination mit der Baumartenkennung im weiteren Verlauf zur Verknüpfung zwischen FE-Bestandes-Tabelle und BI-Mittelwert-Tabelle. In der BI-Mittelwert-Tabelle muss das gleiche Feld vorhanden sein. Das Format des 11stelligen Textfeldes (!!!) ist aus nachfolgender Tabelle ersichtlich:

| Stelle | Inhalt | Anmerkung |
|--------|------------|---|
| 1 | STO_BEW | Standortsbewertung (2: gut, 1: mittel, 3: schlecht) |
| 2 | 0 | für Waldbaustrategie 0: |
| 3 | Startalter | dreistellig nach Formel: Altersstufe * 10 - 5 |
| 4 | Startalter | falls 1stellig: 005, falls 2stellig: 025, falls 3stellig: 115 |
| 5 | Startalter | |
| 6 | WET_ID | Waldentwicklungstyp nach Kodierung |
| 7 | Höhenstufe | 1: hochmontan, 2: montan |
| 8 | 0 | Platzhalter |
| 9 | 0 | Platzhalter |
| 10 | 0 | Platzhalter |
| 11 | Baumart | Tanne = 2, Fichte und sNb = 1, Buche und sLb = 7 |

Tabelle 15: Struktur der eindeutigen Identifikationsnummer zum Anbinden an die SDSS-Falldatenbank

Wenn bei der Baumart mehr aus der BI-Klassifikation vorliegen, so muss der VBA-Code angepasst werden, da dort zur Erzeugung der SDSS_ID0 in der Tabelle „Bestand“ die o. g. Zusammenführung vorgenommen wird.

Nachdem die ID in der Tabelle „Bestand“ angelegt ist und die BI-Mittelwertstabelle im GIS als DBF-Tabelle eingeladen wurde, wird die Verknüpfung über ein „Join“ hergestellt.

WICHTIG: Bevor nun die Mittelwerte in die Tabelle „Bestand“ kopiert werden, ist es sinnvoll, dort ein Feld anzulegen, über das auf die Herkunft der Mittelwerte geschlossen werden kann.

Auch ist es wichtig vor dem Kopiervorgang nur diejenigen Datensätze zu markieren, in denen noch keine Mittelwerte über die Forsteinrichtung ermittelt und eingetragen wurden - ansonsten gehen diese verloren.

Achtung: Mittelwerte für alle möglichen Altersklassen hochrechnen. Im vorliegenden Fall wird für die Altersstufen > 11 ein gemeinsamer Mittelwert berechnet. Dieser muss aber dann für alle AS dupliziert werden.

A.4 AVENUE-Skripte

'Skript zum Errechnen der Höhe über NN für die Polygon-Mittelpunkte eines Flächenthemas (z. B. Gebäudegrundrissthema)

```

theview = av.getactivedoc
thetheme = MsgBox.Choice(theview.getthemes,"Auswahl eines Polygon oder Punkt-Themas", "Höhe des Polygon-Centerpunktes")
If (thetheme = nil) then exit end
thefstab = thetheme.getfstab
shapefld = thefstab.findfield("shape")
hightfld = thefstab.findfield("stories")

thetin = MsgBox.Choice(theview.getthemes,"Auswahl eines TIN-Themas", "Höhe des Polygon-Centerpunktes")
If (thetin = nil) then exit end

sol = ""
fdlst = {}
thefstab.starteditingwithrecovery

if (thefstab.findfield("HNN") = NIL) then
    hnnfd = field.Make ( "HNN", #FIELD_DECIMAL , 16, 2)    fdlst.add(hnnfd)
else
    hnnfd = thefstab.findfield("HNN")
end

if (thefstab.findfield("TopHight") = NIL) then
    thnnfd = field.Make ( "TopHight", #FIELD_DECIMAL , 16, 2)    fdlst.add(thnnfd)
else
    thnnfd = thefstab.findfield("TopHight")
end

```

```
If (fdlst.count > 0) then
  theftab.addfields(fdlst)
end

for each rec in theftab
  ashape = theftab.returnvalue(shapefld, rec)
  ah = theftab.returnvalue(hightfld, rec)
  If (theftab.GetShapeClass.GetClassName = "Polygon") then

    apt = aShape.ReturnCenter ax = apt.getx
    ay = apt.gety
    apoint = point.Make(ax,ay)
    ' ztree = gridsur.InterpolateZ(theZPoint).GetZ 'get Z value for tree fr
    ahnn = thetin.GetSurface.interpolatez(apoint).GetZ
    athnn = ahnn + (ah * 3)
    theftab.setvalue(hnnfd, rec, ahnn)
    theftab.setvalue(thnnfd, rec, athnn)

  ElseIf (theftab.GetShapeClass.GetClassName = "Point") then

    ax = ashape.getx
    ay = ashape.gety
    apoint.Make(ax,ay)
    ahnn = thetin.interpolatez(apoint)
    athnn = ahnn + (ah * 3)
    theftab.setvalue(hnnfd, rec, ahnn)
    theftab.setvalue(thnnfd, rec, athnn)

  Else
    MsgBox.Error("Sorry, das selektierte Thema ist weder vom Typ Polygon noch vom Typ Punkt", "Höhe des Polygon-
    Centerpunktes")
    exit
  end

end

saveedits = true

theftab.StopEditingWithRecovery(saveEdits)
'MsgBox.report(sol, "")
```

A.5 Übersicht über die SILVA-Steuerdateien

Übersicht über die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Steuerdateien zur automatisierten SILVA-Steuerung nach Bestandesmittelwerten: Das Format der notwendigen Steuerdateien (außer der Konfigurationsdatei *.kfg) sind aus BIBER, P. ET AL. 2000 entnommen. Für weitere Erklärungen und Empfehlungen vergleiche dort S. 141-152.

Steuerdatei (*.str)

In der Steuerdatei sind die Definitionen der Straten abgelegt. Diese bestehen aus der Einheit der Variablen FORST_ID, BEST_TYP und STO_TYP. Diese Definitionen werden in allen anderen Dateien abgefragt und so die Zugehörigkeit der Daten geprüft. Mit der Variablen BEST_ERZEU wird die Reproduktionsart festgelegt.

| Feldname | Typ | Bedeutung / Wertebereich/Einheit |
|---------------|------------------|---|
| FORST_ID | Zeichenkette[10] | Stratumidentifikation; genau 10 Zeichen |
| BEST_TYP | Ganzzahl | Bestandestyp; max. 7 Ziffern |
| STO_TYP | Ganzzahl | Standortstyp; max. 7 Ziffern |
| BEST_ERZEU | Ganzzahl | 1: Forstschiebung aller Probekreise im Stratum 2: Forstschiebung einzelner Probekreise 3: Forstschiebung von Bestandesmittelwerten 4: Forstschiebung aller WZP eines Stratums 5: Forstschiebung einzelner WZP |
| STRA_FLAEICHE | Zahl | Repräsentationsfläche des Stratums im Betrieb [ha] |

Inventurdatendatei (*3.inv): Bestandesmittelwerte

Diese Datei enthält bereits ausgewertete Inventurdaten, die zu Mittelwerten verdichtet wurden. Sie stellt die typische Verwendung einer Forsteinrichtungsdatenbank dar, die keine Inventurrohdaten mehr enthält. Dieser Dateityp wird verwendet, wenn die Variable BEST_ERZEU den Wert 3 hat. Diese Ziffer muss auch vor der Dateinamenserweiterung (mit Punkt) stehen.

| Feldname | Typ | Bedeutung / Wertebereich/Einheit |
|-------------|------------------|--|
| FORST_ID | Zeichenkette[10] | Stratumidentifikation; genau 10 Zeichen |
| BEST_TYP | Ganzzahl | Bestandestyp; max. 7 Ziffern |
| STO_TYP | Ganzzahl | Standortstyp; max. 7 Ziffern |
| SCHICHT | Ganzzahl | 0: ungeschichtet 1: Oberschicht 2: Unterstand 3: Vorausverjüngung 4: Nachhiebst 5: Überhälter |
| BEST_ENTW | Ganzzahl | Bestandesentwicklung: [1..7] |
| BAUMART | Ganzzahl | Baumartenkodierung (interne SILVA-Kodierung) |
| ORG_BAUMART | Ganzzahl | Originalbaumart (Original-Artenkodierung) |
| DG | Zahl | Durchmesser des Grundflächenmittelstamms [cm] |
| DMAX | Zahl | Maximaler Durchmesser der Verteilung [cm] |
| HG | Zahl | H he des Grundflächenmittelstamms [m] |
| ALTER | Ganzzahl | Alter [Jahre] |
| G_HA | Zahl | Grundfläche pro ha [m ²] |
| N_HA | Ganzzahl | Stammzahl pro ha [Stück/ha] |
| ALPHA | Zahl | α - Regularität [0..1] (je größer α , umso größer die Regelmäßigkeit) |

Standortdatei (*.sto)

| Feldname | Typ | Bedeutung / Wertebereich/Einheit |
|-------------|------------------|---|
| FORST_ID | Zeichenkette[10] | Stratumidentifikation; genau 10 Zeichen |
| BEST_TYP | Ganzzahl | Bestandestyp; max. 7 Ziffern |
| STO_TYP | Ganzzahl | Standortstyp; max. 7 Ziffern |
| STO_WAHL | Ganzzahl | Standortwahl: 1: fein - Standortleistungsmodell 2: grob - Standortleistungsmodell 3: fein - Standortleistungsmodell + A,k,p 4: grob - Standortleistungsmodell + A,k,p 5: fein - Standortleistungsmodell + ET-Bonität 6: grob - Standortleistungsmodell + ET-Bonität |
| NOX | Zahl | NO _x -Konzentration [ppb] [300..500] |
| CO2 | Zahl | CO ₂ -Konzentration [ppm] [300..600] |
| NST | Zahl | Nährstoffangebot im Boden [0 .. 1] (0,115 =gering, 10,885 = hoch) |
| DT10 | Ganzzahl | Dauer der Vegetationszeit (Tage mit Mitteltemperaturen über 10°C) [Tage] |
| TVAR | Zahl | Jahrestemperaturamplitude [°C] |
| TV | Zahl | Mitteltemperatur in der Vegetationszeit [°C] |
| FRISCH | Zahl | Bodenfrische [0 .. 1] (0,083 = sehr trocken, 0,917= sehr nass) |
| NV | Ganzzahl | Niederschlagssumme in der Vegetationszeit [mm] |
| WUCHSBEZIRK | Zeichenkette[8] | Standortbezeichnung n. Arbeitskreis Standortkartierung: Bsp.: 09.04.01: 09.=Bayern, 04.= Wuchsgebiet, 01 = Wuchsbezirk |
| GBREITE | Zahl | geographische Breite [Grad] |
| HNN | Zahl | H he über NN [m] |
| EXPOSITION | Zahl | Exposition der Fläche bei Hanglage in Grad (0° = N, 90° = O, ...); beliebige Exposition bei ebenen Flächen |
| HANGNEIGUNG | Zahl | Hangneigung der Fläche [Grad] |
| JAHR | Ganzzahl | Kalenderjahr der Aufnahme [1801 .. 2200] |
| BOFRISCHE | Ganzzahl | Bodenfrische: 1: sehr trocken 2: trocken 3: mäßig trocken 4: mäßig frisch 5: frisch 6: sehr frisch 7: feucht 8: nass 9: sehr nass |
| NAHR | Ganzzahl | Nährstoffangebot im Boden: 1: gering 2: gering - mittel 3: mittel 4: mittel - hoch 5: hoch |

Prognosedatei (*.pgn)

| Feldname | Typ | Bedeutung / Wertebereich/Einheit |
|------------|------------------|---|
| FORST_ID | Zeichenkette[10] | Stratumidentifikation; genau 10 Zeichen |
| BEST_TYP | Ganzzahl | Bestandestyp; max. 7 Ziffern |
| STO_TYP | Ganzzahl | Standortstyp; max. 7 Ziffern |
| RIS_BAUM | Ganzzahl | Risiko des Einzelbaums [0..100] [%] |
| RIS_BESTJN | Ganzzahl | Risiko des Bestandes [0,1] |
| RIS_BESTFL | Ganzzahl | Risikoanteil der betroffenen Fläche [0..100] [%] |
| PERIODEN | Ganzzahl | Fortschreibungsperioden [1 .. 30] (1 Periode = 5 Jahre) |
| REP_PROGN | Ganzzahl | Prognosewiederholung [1 .. 30] |
| REP_STRU | Ganzzahl | Reproduktionswiederholung [1 .. 20] |
| DURCHFJN1 | Ganzzahl | Durchforstungsart 0: Keine Durchforstung 1: Auslesedurchf. mit A-Wert, variable Zahl von Ausleseebäumen 2: Auslesedurchf. mit A-Wert, feste Zahl von Ausleseebäumen 3: Fester Freistellungsradius um eine def. Anzahl von Ausleseebäumen 4: Niederdurchforstung 5: Hochdurchforstung 6: Ziel-BHD-Ernte 7: Z-Baum n Bedränger |
| DURCHFJN2 | Ganzzahl | Durchforstungsart für Phase 2 (Legende siehe DURCHFJN1) |
| DURCHFJN3 | Ganzzahl | Durchforstungsart für Phase 3 (Legende siehe DURCHFJN1) |
| AWERT | Ganzzahl | A-Wert nach Johann [0 ..10] 4: extrem stark 5: sehr stark 6: stark 7: mittel 8: schwach 9: sehr schwach |
| FREISTELL | Zahl | Freistellungsradius [m] |
| DF_INTERV | Ganzzahl | Durchforstungsintervalle 1: alle 5 Jahre 2: alle 10 Jahre 3: alle 20 Jahre 4: erstmals bei Oberhöhe 10m, letztmals bei Oberhöhe 30m, Eingriff alle 3m-Oberhöhenzuwachs 5: bei der Oberhöhe (4, 10, 15, 25) 6: bei der Oberhöhe (4, 15, 20, 25) 7: bei der Oberhöhe (12, 17, 22, 27) 8: Eingriff alle 4m-Oberhöhenzuwachs über das gesamte Bestandesleben hinweg |
| MAXDFVOL | Zahl | maximale Entnahmemenge [VfmD m.R. pro ha und Eingriff] |
| STRU_TYP | Ganzzahl | Strukturtyp 0: zufällig 1: Streifen 2: Klumpen 3: regelmäßig |

Prognosedatei (*.pgn) - Fortsetzung

| Feldname | Typ | Bedeutung / Wertebereich/Einheit |
|----------------|----------|---|
| STRU_BART | Ganzzahl | Baumart in den Klumpen/Streifen (0 nimmt automatisch die zweite in der Reihe) |
| STRU_MISCH | Ganzzahl | Mischung in der Gruppe 1: keine 2: gering 3: mittel 4: stark 5: sehr stark |
| GRENZE_H12 | Zahl | Oberhöhengrenze zwischen der ersten und zweiten Phase der Bestandesentwicklung |
| GRENZE_H23 | Zahl | Oberhöhengrenze zwischen der zweiten und dritten Phase der Bestandesentwicklung |
| ANZ_BEDRAENGER | Zahl | Anzahl der zu entnehmenden Bedränger je Z-Baum |

Akp-Datei (*.akp)

Diese Datei ermöglicht eine kleinstandörtliche Adjustierung des Simulators und ergänzt damit die Standortdatei. Die Variablen A, k und p sind Parameter der Chapman-Richards-Funktion, die die Altershöhenentwicklung für jede Baumart und jedes Stratum in Abhängigkeit vom Standort beschreibt:

$$h_o = A * (1 - e^{-k * t})^p$$

wobei h_o Oberhöhe [m], t Alter [Jahre], A , k , p Koeffizienten der Regressionsgleichung (s.u.)

Die Akp-Datei wird nur verwendet, wenn in der Standortdatei die Variable STO_WAHL den Wert 3 oder 4 annimmt.

| Feldname | Typ | Bedeutung / Wertebereich/Einheit |
|---------------|------------------|--|
| FORST_ID | Zeichenkette[10] | Stratumidentifikation; genau 10 Zeichen |
| BEST_TYP | Ganzzahl | Bestandestyp; max. 7 Ziffern |
| STO_TYP | Ganzzahl | Standortstyp; max. 7 Ziffern |
| BAUMART | Ganzzahl | Baumartenkodierung (interne SILVA-Kodierung) |
| A-Koeffizient | Zahl | [10 .. 70] |
| K-Koeffizient | Zahl | [0,0001 .. 0,05] |
| P-Koeffizient | Zahl | [1,1 .. 5] |
| ALTER | Zahl | [Jahre] |
| HOEHE | Zahl | [m] |
| ETafel | Ganzzahl | Kodierung nach Autor |

Durchforstungsdatei (*.dfo)

| Feldname | Typ | Bedeutung / Wertebereich/Einheit |
|-----------|------------------|--|
| FORST_ID | Zeichenkette[10] | Stratumidentifikation; genau 10 Zeichen |
| BEST_TYP | Ganzzahl | Bestandestyp; max. 7 Ziffern |
| STO_TYP | Ganzzahl | Standortstyp; max. 7 Ziffern |
| BAUMART | Ganzzahl | Baumartenkodierung (interne SILVA-Kodierung) |
| ALTER | Ganzzahl | Fakultative Angabe für das Startalter pro Baumart und Bestand; bei einem Wert von 0 errechnet SILVA eine Altersangabe selbständig |
| DFS_S | Ganzzahl | Durchforstungsstärke stammzahlorientiert: 1..3 (zunehmend) grundflächenorientiert: 4..6 (zunehmend) 96: Grundflächenhaltung nach optimalem Bestockungsgrad (Assmann/Franz) 97: Absenkung der max. Grundflächenhaltung mit DFS_MU0-3 98: Polynom (DFS_A0 - DFS_A6) stammzahlorientiert 99: Polynom (DFS_A0 - DFS_A6) grundflächenorientiert |
| DFS_AD | Zahl | Leitkurven-Summand [0 .. x] [m ²] oder [Stück] |
| DFS_MU | Zahl | Leitkurven-Faktor [0 .. 1 .. 2] |
| DFS_A0 | Zahl | y-Achsenabschnitt des Polynoms |
| DFS_A1 | Zahl | Koeffizient |
| DFS_A2 | Zahl | Koeffizient |
| DFS_A3 | Zahl | Koeffizient |
| DFS_A4 | Zahl | Koeffizient |
| DFS_A5 | Zahl | Koeffizient |
| DFS_A6 | Zahl | Koeffizient |
| ZIEL_BHD | Zahl | Zieldurchmesser [cm] |
| ZIEL_PROZ | Ganzzahl | Zielprozent [0 .. 100] [%] (Anteil an der Gesamtanzahl) |
| DFS_MU1 | Zahl | Leitkurvenfaktor [0 .. 1 .. 2] der ersten Phase der Bestandesentwicklung |
| DFS_MU2 | Zahl | Leitkurvenfaktor [0 .. 1 .. 2] der zweiten Phase der Bestandesentwicklung |
| DFS_MU3 | Zahl | Leitkurvenfaktor [0 .. 1 .. 2] der dritten Phase der Bestandesentwicklung |
| ANZAHL_Z | Ganzzahl | Anzahl der Z-Bäume pro ha [1/ha] |

Konfigurationsdatei (*.kfg)

Die Konfigurationsdatei beinhaltet allgemeine stratenübergreifende Einstellungen zur Steuerung der automatisierten Version von SILVA. Diese Einstellungen lassen sich auch mit den Dialogen der Inventurschnittstelle vornehmen, wenn man die automatisierte aus der Dialogversion heraus startet. Aber auch in diesem Fall lässt sich die Konfigurationsdatei verwenden, um lästiges Hin- und Herklicken zu vermeiden und alle Einstellungen auf einmal zu setzen. Die Konfigurationsdatei sollte daher vor der Dateinamenserweiterung denselben Namen haben wie die Steuerdatei. Startet man SILVA allerdings mit einem externen Programm (z.B. GIS oder SilvaManager), ist es unerlässlich, zuvor eine Konfigurationsdatei anzulegen. Im Folgenden finden Sie eine Beispieldatei:

[Konfigurationsdatei der automatisierten Forstschreibung mit SILVA 2.2]

[hier den Pfad der Steuerdatei eingeben:]

C:\Programme\SILVA\Standort\Steuerdateien\schluchsee_prog1.str

[Parameter PK]

1

[Baumliste]

0

[WZP]

0

0

[Baumliste speichern]

1

1

[Reproduktions-Bilder zeigen]

1

[neue Inventurdatei anlegen (*6.inv)]

1

[Ergebnisse]

[Naturalproduktion]

1

[Oekologie]

1

[Oekonomie grob]

1

[Oekonomie fein]

1

[Forst-ID beruecksichtigen]

1

[Automatisches Erzeugen fehlender Straten]

0

[Ergebnisdateien]

1

1

1

[Ausscheidungskennungen]

0

[Mortalitaet]

1

A.6 Beispiel einer Schlüsseldatei für die Waldentwicklungstypen

Beispiel einer Schlüsseldatei für die Zuordnung von Waldentwicklungstypen Bestandestypen für den Einsatz mit dem GIS-SILVA-Interface.

Diese Datei sollte im Textformat vorliegen. Die Spalten müssen durch Tabulatoren getrennt werden.

| BT | Bezeichnung | WET_ID_lang | WET_ID | | | |
|----|--|-------------|--------|---|---|--|
| 10 | FI-REIN (Fi > 85%) Gesund | Fi-MW | 1 | | | |
| 11 | FI-TA (Fi > 15%) Gesund BMW | | 2 | | | |
| 12 | FI-BU (BAH) (BU > 15%) Gesund | Fi-MW | 1 | | | |
| 13 | FI-FO (DGL, LAE) | Fi-MW | 1 | | | |
| 14 | FI-REIN ROTFAUL 10-30% | Fi-MW | 1 | | | |
| 15 | FI-REIN ROTFAUL >30% | lab-Fi-ZBW | | 4 | | |
| 16 | FI-SCHNEEBRUCH (BWZ 3) | lab-Fi-ZBW | | 4 | | |
| 20 | FI-TA-BU BU > 10%; TA > 10% | BMW | 2 | | | |
| 30 | DGL-MISCHTYP (DGL > 30%) | Fi-MW | 1 | | | |
| 40 | BU-(LBH)-TYP (LBH > 50%) | Bu-Nb-MW | | 3 | | |
| 50 | SCHAELBESTAENDE UNGESCHUETZT 10-30% S1 | lab-Fi-ZBW | | | 4 | |
| 51 | SCHAELBESTAENDE UNGESCHUETZT 31-50% S2 | lab-Fi-ZBW | | | 4 | |
| 52 | SCHAELBESTAENDE UNGESCHUETZT 51-80% S3 | lab-Fi-ZBW | | | 4 | |
| 53 | SCHAELBESTAENDE UNGESCHUETZT > 81% S4 | lab-Fi-ZBW | | | 4 | |
| 54 | SCHAELBESTAENDE GESCHUETZT 10-30% SK1 | lab-Fi-ZBW | | | 4 | |
| 55 | SCHAELBESTAENDE GESCHUETZT 31-50% SK2 | lab-Fi-ZBW | | | 4 | |
| 56 | SCHAELBESTAENDE GESCHUETZT 51-80% SK3 | lab-Fi-ZBW | | | 4 | |
| 57 | SCHAELBESTAENDE GESCHUETZT > 81% SK4 | lab-Fi-ZBW | | | 4 | |
| 00 | ARB ARB 0 | | | | | |

A.7 Beispiel einer Standortsigeldatei

Beispiel einer Standortsigeldatei für den Einsatz mit dem GIS-SILVA-Interface.

Diese Datei sollte im Textformat vorliegen. Die Spalten müssen durch Tabulatoren getrennt werden.

| RST_SIGEL | RST | Nährstoff | Bodenfrische | NAHR_BEW | BOFRISCH_BEW | Bewertung | STO_BEW | | | | |
|-----------|--|-----------|--------------|----------|--------------|-----------|---------|--|--|--|--|
| aUB (his) | Mäßig frische stark weidegeschäftigte Urgesteinsböden | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | | | | |
| aUSH- | Mäßig trockener stark weidegeschäftigter Urgesteins-Sommerhang | 2 | 4 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | | | | |
| aUWH | Stark weidegeschäftigter mäßig frischer Urgesteinswinterhang | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | | | | |
| BIH | Mäßig frischer Block- und Felshang | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 | | | | |
| Bl | Blockschuttdecke | 2 | 4 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | | | | |
| BIH | Mäßig frischer Block- und Felshang | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 | | | | |
| BIH- | Trockener Block- und Felshang | 3 | 3 | mittel | schlecht | schlecht | 3 | | | | |
| BLH+ | Frischer Block- und Felshang | 3 | 6 | mittel | gut | gut | 2 | | | | |
| BIH> | Blockhang ohne Bestockung | 2 | 4 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | | | | |
| BIHoB | Blockhang ohne Bestockung | 2 | 4 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | | | | |
| BIS | Blockreicher Sand | 2 | 4 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | | | | |
| fLa | Feuchte Lagen | 3 | 7 | mittel | gut | gut | 2 | | | | |
| HBIH | Hochlagen-Block- und Felshang | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 | | | | |
| HM | Hochmoor | 3 | 8 | mittel | schlecht | schlecht | 3 | | | | |
| HMZ | Hochmoor in Zersetzung | 3 | 8 | mittel | schlecht | schlecht | 3 | | | | |
| IG | Mäßig frischer lehmiger Grusboden | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | | | | |
| IgSH | Mäßig frischer lehmig-grusiger Sommerhang | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | | | | |
| IgSH+ | Frischer lehmig-grusiger Sommerhang | 4 | 6 | gut | gut | gut | 2 | | | | |
| ISt | Mäßig frischer lehmiger Steinschuttboden | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 | | | | |

| | | | | | | | | |
|--------|---|---|---|----------|----------|----------|----------|---|
| IWH | Mäßig frischer lehmiger Winterhang | 4 | 6 | gut | gut | gut | 2 | |
| L | Mässig frischer tiefgründiger Lehmboden | | 5 | 6 | gut | gut | gut | 2 |
| L+ | Frischer tiefgründiger Lehmboden | 5 | 6 | gut | gut | gut | 2 | |
| IG | Mäßig frischem lehmigem Grusboden | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | |
| IG | Mäßig frischer lehmiger Grusboden | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | |
| IG- | Mäßig trockener lehmiger Grusboden | 4 | 4 | gut | mittel | gut | 2 | |
| IG+ | Frischer lehmiger Grusboden | 4 | 6 | gut | gut | gut | 2 | |
| lgHSH | Lehmig-grusiger Hochlagen-Sommerhang | | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 |
| lgHWH | Lehmig-grusiger Hochlagen-Winterhang | | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 |
| lgSH | Mäßig frischer lehmig-grusiger Sommerhang | | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 |
| lgSH- | Mäßig trockener lehmig-grusiger Sommerhang | | 4 | 4 | gut | mittel | gut | 2 |
| lgSH+ | Frischer lehmig-grusiger Sommerhang | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | |
| lgWH | Mäßig frischer lehmig-grusiger Winterhang | | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 |
| lgWH- | Mäßig trockener lehmig-grusiger Winterhang | | 4 | 4 | gut | mittel | gut | 2 |
| lgWH+ | Frischer lehmig-grusiger Winterhang | 4 | 6 | gut | gut | gut | 2 | |
| IHG | Lehmiger Hochlagen-Grusboden | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | |
| IHSH | Lehmiger Hochlagen-Sommerhang | 5 | 4 | gut | mittel | gut | 2 | |
| IHWH | Lehmiger Hochlagen-Winterhang | 5 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | |
| ISH | Mäßig frischer lehmiger Sommerhang | 5 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | |
| ISH+ | Frischer lehmiger Sommerhang | 5 | 6 | gut | gut | gut | 2 | |
| ISt | Mäßig frischer lehmiger Steinschuttboden | | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 |
| IStHSH | Lehmiger Steinschutt-Hochlagen-Sommerhang | | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 |
| IStHWH | Lehmiger Steinschutt-Hochlagen-Winterhang | | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 |
| IStSH | Mäßig frischer lehmiger Steinschutt-Sommerhang | | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 |
| IStSH- | Mäßig trockener lehmiger Steinschutt-Sommerhang | | 4 | 4 | gut | mittel | gut | 2 |
| IStSH+ | Frischer lehmiger Steinschutt-Sommerhang | | 4 | 6 | gut | gut | gut | 2 |
| IStWH | Mäßig frischem lehmigem Steinschutt-Winterhang | | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 |
| IStWH | Mäßig frischer lehmiger Steinschutt-Winterhang | | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 |
| IStWH+ | Frischer lehmiger Steinschutt-Winterhang | | 4 | 6 | gut | gut | gut | 2 |
| IWH | Mäßig frischer lehmiger Winterhang | 5 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | |
| IWH+ | Frischer lehmiger Winterhang | 5 | 6 | gut | gut | gut | 2 | |
| Mi | Schwach wasserzügige Misse | 3 | 8 | mittel | schlecht | schlecht | 3 | |
| Mi+ | Wasserzügige Misse | 3 | 9 | mittel | schlecht | schlecht | 3 | |
| MR | Moorränder und sonstige vermoorte Lagen | | 2 | 9 | schlecht | schlecht | schlecht | 3 |
| mSe | Vermoorte Senke | 2 | 9 | schlecht | schlecht | schlecht | 3 | |
| mSe | Vermoorte Senken | 2 | 9 | schlecht | schlecht | schlecht | 3 | |
| qHLa | Quellige Hochlagen | 3 | 8 | mittel | schlecht | schlecht | 3 | |
| qLa | Quellige Lagen | 3 | 8 | mittel | schlecht | schlecht | 3 | |
| Rü | Mäßig frische Rücken und Hangrücken | 2 | 4 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | |
| Rü | Mäßig frischer Rücken | 2 | 4 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | |
| Rü | Mäßig frischer Rücken und Hangrücken | 2 | 4 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | |
| Rü- | Mäßig trockene Rücken und Hangrücken | | 2 | 3 | schlecht | schlecht | schlecht | 3 |
| Rü= | Trockener Rücken | 1 | 2 | schlecht | schlecht | schlecht | 3 | |
| Ri | Frache Rinnen | 5 | 6 | gut | gut | gut | 2 | |
| Ri | Frache Rinnen und Senken | 5 | 6 | gut | gut | gut | 2 | |
| sHBLH | Saurer Hochlagen-Block- und Felshang | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | |
| sHL | Saurer tiefgründiger Hochlagen-Lehmboden | | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 |
| sHSt | Saurer Hochlagen-Steinschuttboden | | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 |
| sL | Saurer mäßig frischer tiefgründiger Lehmboden | | 4 | 6 | gut | gut | gut | 2 |
| sL+ | Saurer frischer tiefgründiger Lehmboden | | 4 | 6 | gut | gut | gut | 2 |
| sLe | Sandiger Lehm | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | |
| slG | Saurer mäßig frischer lehmiger Grusboden | | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 |
| slG- | Saurer mäßig trockener lehmiger Grusboden | | 3 | 4 | mittel | mittel | mittel | 1 |
| slG+ | Saurer frischer lehmiger Grusboden | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 | |
| slgHRü | Saurer lehmig-grusiger Hochlagen-Rücken | | 3 | 4 | mittel | mittel | mittel | 1 |
| slgHSH | Saurer lehmig-grusiger Hochlagen-Sommerhang | | 3 | 4 | mittel | mittel | mittel | 1 |
| slgHWH | Saurer lehmig-grusiger Hochlagen-Winterhang | | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 |
| slgSH | Saurer mäßig frischer lehmig-grusiger Sommerhang | | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 |
| slgSH- | Saurer mäßig trockener lehmig-grusiger Sommerhang | | 3 | 4 | mittel | mittel | mittel | 1 |
| slgSH+ | Saurer mäßig frischer lehmig-grusiger Sommerhang | | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 |
| slgWH | Saurer mäßig frischer lehmig-grusiger Winterhang | | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 |
| slgWH | Saurer mäßig frischer lehmig-grusiger Winterhang | | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 |

| | | | | | | | | | |
|-----------|---|---|---|----------|----------|----------|----------|---|---|
| slgWH+ | Saurer frischer lehmig-grusiger Winterhang | 3 | 6 | | mittel | gut | gut | 2 | |
| slHG | Saurer lehmiger Hochlagen-Grusboden | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | | |
| slSt | Saurer mäßig frischer lehmiger Steinschuttboden | 3 | 5 | | mittel | mittel | mittel | 1 | |
| slSt- | Saurer mäßig trockener lehmiger Steinschuttboden | 3 | 4 | | mittel | mittel | mittel | 1 | |
| slStHSH | Saurer lehmiger Steinschutt-Hochlagen-Sommerhang | | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 | 1 |
| slStHWH | Saurer lehmiger Steinschutt-Hochlagen-Winterhang | | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 | 1 |
| slStSH | Saurer mäßig frischer lehmiger Steinschutt-Sommerhang | | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 | 1 |
| slStSH- | Saurer mäßig trockener lehmiger Steinschutt-Sommerhang | | 3 | 4 | mittel | mittel | mittel | 1 | 1 |
| slStWH | Saurer mäßig frischer lehmiger Steinschutt-Winterhang | | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 | 1 |
| slWH | Saurer mäßig frischer lehmiger Winterhang | | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 | |
| sRü | Saure mäßig frische Rücken und Hangrücken | | 3 | 4 | mittel | mittel | mittel | 1 | |
| ssHSt | Stark saurer Hochlagen-Steinschuttboden | | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | |
| ssLe | Stark saurer sandiger Lehm | 2 | 5 | schlecht | mittel | | | | |
| ssLG | Stark saurer mäßig frischer lehmiger Grusboden | | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | |
| sslgHSH | Stark saurer lehmig-grusiger Hochlagen-Sommerhang | | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | 3 |
| sslgHWH | Stark saurer lehmig-grusiger Hochlagen-Winterhang | | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | 3 |
| sslgSH | Stark saurer mäßig frischer lehmig-grusiger Sommerhang | | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | 3 |
| sslgWH | Stark saurer mäßig frischer lehmig-grusiger Winterhang | | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | 3 |
| sslHG | Stark saurer lehmiger Hochlagen-Grusboden | | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | |
| sslSt | Stark saurer mäßig frischer lehmiger Steinschuttboden | | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | 3 |
| sslStHSH | Stark saurer lehmiger Steinschutt-Hochlagen-Sommerhang | | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | 3 |
| sslStHWH | Stark saurer lehmiger Steinschutt-Hochlagen-Winterhang | | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | 3 |
| sslStSH | Stark saurer mäßig frischer lehmiger Steinschutt-Sommerhang | | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | 3 |
| sslStWH | Stark saurer mäßig frischer lehmiger Steinschutt-Winterhang | | 2 | 5 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | 3 |
| stHRü | Steinige Hochlagen-Rücken | 2 | 4 | schlecht | mittel | schlecht | 3 | | |
| stL | Saurer mäßig frischer tiefgründiger Lehmboden | | 3 | 5 | mittel | mittel | mittel | 1 | |
| stL+ | Saurer frischer tiefgründiger Lehmboden | | 4 | 6 | gut | gut | gut | 2 | |
| swfSB | Stark saurer wechselfeuchter lehmig-sandiger Boden | | 2 | 7 | schlecht | gut | mittel | 1 | |
| Ta | Talsenken | 4 | 6 | gut | gut | gut | 2 | | |
| tHL | Tiefgründiger Hochlagen-Lehmboden | | 5 | 6 | gut | gut | gut | 2 | |
| tsLe | Tongründiger sandiger Lehm | | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | |
| UB (his) | Mäßig frischer Urgesteinsboden | | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | |
| UB+ (his) | Frischer Urgesteinsboden | | 4 | 6 | gut | gut | gut | 2 | |
| USH | Mäßig frischer Urgesteins-Sommerhang | | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | |
| USH- | Mäßig trockener Urgesteins-Sommerhang | | 4 | 4 | gut | mittel | gut | 2 | |
| UWH | Mäßig frischer Urgesteins-Winterhang | | 4 | 5 | gut | mittel | gut | 2 | |
| UWH+ | Frischer Urgesteins-Winterhang | | 4 | 6 | gut | gut | gut | 2 | |
| wfSB | Wechselfeuchter lehmig-sandiger Boden | | 4 | 7 | gut | gut | gut | 2 | |

A.8 Beispiel einer Baumarten-Schlüsseldatei

Beispiel einer Baumarten-Schlüsseldatei für den Einsatz mit dem GIS-SILVA-Interface.

Diese Datei sollte im Textformat vorliegen. Die Spalten müssen durch Tabulatoren getrennt werden.

| Baumart | Orig_SILVA | BA_akt |
|---------------|------------|--------|
| Fichte | 1 | 1 |
| Tanne | 2 | 2 |
| Kiefer | 3 | 4 |
| Lärche | 4 | 5 |
| Buche | 5 | 7 |
| Eiche | 6 | 6 |
| Douglasie | 7 | 3 |
| Hartlaubholz | 8 | 91 |
| Erle | 9 | 8 |
| Gesamtbestand | 10 | 1 |
| | | 0 |

A.9 VBA-Funktion zum Reimport von SILVA-Baumlisten in das GIS

```

Public Sub ConvertTreeList2Shape(ByVal varpath As String, ByVal var_ba_file As String, ByVal var_recnr As Integer, _
ByVal var_jahr As Integer, ByVal var_minx As Double, ByVal var_maxx As Double, ByVal var_miny As Double, _
ByVal var_maxy As Double, ByVal pPolygon As IPolygon)
'Übergeben werden sollen Name der Baumlisten-Textdatei, Jahr, MinX, MaxX, MinY, MaxY
'MsgBox varpath & var_ba_file & vbCr & var_jahr & vbCr & var_minx & vbCr & var_maxx & vbCr & var_miny &
vbCr & var_maxy, vbExclamation
'Exit Sub
Dim pMouseCursor As IMouseCursor
Set pMouseCursor = New MouseCursor
pMouseCursor.SetCursor 2

Dim var_breite As Double
Dim var_hoehe As Double
Dim var_help As Integer

var_help = 0

Dim var_ba_split() As String
Dim var_ba_Zeile As String
Dim fnum As Integer
fnum = FreeFile

Dim varpath_lst As String
varpath_lst = varpath & "\" & var_ba_file & ".lst"
Dim varpath_slv As String
varpath_slv = varpath & "\" & var_ba_file & ".slv"

Dim fsslv As New FileSystemObject
If fsslv.FileExists(varpath_slv) Then
    Open varpath_slv For Input As #fnum
Else
    MsgBox "Bitte geben Sie eine gültige Datei an!", vbInformation, "Fehler"
    Exit Sub
End If

var_hoehe = 0
var_breite = 0

'#####
'Einlesen der Silva-Kantenlänge für Stratum aus der *.slv-Datei
'#####

Line Input #fnum, var_ba_Zeile
var_ba_split = Split(var_ba_Zeile, " ")
var_breite = var_ba_split(1) '##### Breite des SILVA-Stratums
var_hoehe = var_ba_split(2) '##### Höhe des SILVA-Stratums
Close #fnum

'#####
'Ende Einlesen der Silva-Kantenlänge für Stratum aus der *.slv-Datei

```

```
'#####'
```

```
Dim fslst As New FileSystemObject
```

```
If fslst.FileExists(varpath_lst) Then
```

```
    Open varpath_lst For Input As #fnum
```

```
Else
```

```
    MsgBox "Bitte geben Sie eine gültige Datei an!", vbInformation, "Fehler"
```

```
    Exit Sub
```

```
End If
```

```
Dim var_x_help As Double
```

```
Dim var_y_help As Double
```

```
Dim var_Per As Integer
```

```
Dim var_Jahr_calc As Integer
```

```
Dim var_nr As Long
```

```
var_nr = 0
```

```
Dim var_Art As Integer
```

```
Dim var_BHD As Single
```

```
Dim var_H As Single
```

```
Dim var_Kra As Single
```

```
Dim var_Kd As Single
```

```
Dim var_Kenn As Integer
```

```
Dim var_Mortjn As Integer
```

```
'Felder für shapefile anlegen
```

```
'Per Nr Art BHD h kra kd x y kenn mortjn vol
```

```
'0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
```

```
Dim pFilename As IFieldEdit
```

```
Set pFilename = New Field
```

```
With pFilename
```

```
    .Name = "Best_ID"
```

```
    .Type = esriFieldTypeString
```

```
End With
```

```
Dim pPer As IFieldEdit
```

```
Set pPer = New Field
```

```
With pPer
```

```
    .Name = "Per"
```

```
    .Type = esriFieldTypeSmallInteger
```

```
End With
```

```
Dim pJahr As IFieldEdit
```

```
Set pJahr = New Field
```

```
With pJahr
```

```
    .Name = "Jahr"
```

```
    .Type = esriFieldTypeSmallInteger
```

```
End With
```

```
Dim pNr As IFieldEdit
```

```
Set pNr = New Field
```

```
With pNr
```

```
    .Name = "Nr"
```

```
    .Type = esriFieldTypeInteger
```

```
End With
```

```
Dim pArt As IFieldEdit
```

```
Set pArt = New Field
```

```
With pArt
    .Name = "Art"
    .Type = esriFieldTypeSmallInteger
End With
Dim pBHD As IFieldEdit
Set pBHD = New Field
With pBHD
    .Name = "BHD"
    .Type = esriFieldTypeSingle
End With
Dim pH As IFieldEdit
Set pH = New Field
With pH
    .Name = "H"
    .Type = esriFieldTypeSingle
End With
Dim pKra As IFieldEdit
Set pKra = New Field
With pKra
    .Name = "Kra"
    .Type = esriFieldTypeSingle
End With
Dim pKd As IFieldEdit
Set pKd = New Field
With pKd
    .Name = "Kd"
    .Type = esriFieldTypeSingle
End With
Dim pXCoor As IFieldEdit
Set pXCoor = New Field
With pXCoor
    .Name = "X"
    .Type = esriFieldTypeDouble
End With
Dim pYCoor As IFieldEdit
Set pYCoor = New Field
With pYCoor
    .Name = "Y"
    .Type = esriFieldTypeDouble
End With
Dim pKenn As IFieldEdit
Set pKenn = New Field
With pKenn
    .Name = "Kenn"
    .Type = esriFieldTypeSmallInteger
End With
Dim pMortjn As IFieldEdit
Set pMortjn = New Field
With pMortjn
    .Name = "Mortjn"
    .Type = esriFieldTypeSmallInteger
End With
```

'Aufruf der Funktion createShapefile um das eigentliche Punkte-*shapefile* zu generieren

```
Dim pFClassOutput As IFeatureClass
Set pFClassOutput = createShapefile(varpath, var_ba_file, var_recrnr, esriGeometryPoint)
```

```
On Error GoTo Err_Shape
```

```
'notwendige Felder anlegen
```

```
'Per Nr Art BHD h kra kd x y kenn mortjn vol
```

```
pFClassOutput.AddField pFilename
```

```
pFClassOutput.AddField pPer
```

```
pFClassOutput.AddField pJahr
```

```
pFClassOutput.AddField pNr
```

```
pFClassOutput.AddField pArt
```

```
pFClassOutput.AddField pBHD
```

```
pFClassOutput.AddField pH
```

```
pFClassOutput.AddField pKra
```

```
pFClassOutput.AddField pKd
```

```
pFClassOutput.AddField pXCoor
```

```
pFClassOutput.AddField pYCoor
```

```
pFClassOutput.AddField pKenn
```

```
pFClassOutput.AddField pMortjn
```

```
'Feld-Indizes ermitteln
```

```
Dim indexFN As Long, indexPer As Long, indexJahr As Long, indexNr As Long, indexArt As Long, indexBHD As _
Long, indexH As Long, indexKra As Long, indexKd As Long, indexX As Long, indexY As Long, indexKenn As _
Long, indexMortjn As Long
```

```
indexFN = pFClassOutput.FindField("Best_ID")
```

```
indexPer = pFClassOutput.FindField("Per")
```

```
indexJahr = pFClassOutput.FindField("Jahr")
```

```
indexNr = pFClassOutput.FindField("Nr")
```

```
indexArt = pFClassOutput.FindField("Art")
```

```
indexBHD = pFClassOutput.FindField("BHD")
```

```
indexH = pFClassOutput.FindField("H")
```

```
indexKra = pFClassOutput.FindField("Kra")
```

```
indexKd = pFClassOutput.FindField("Kd")
```

```
indexX = pFClassOutput.FindField("X")
```

```
indexY = pFClassOutput.FindField("Y")
```

```
indexKenn = pFClassOutput.FindField("Kenn")
```

```
indexMortjn = pFClassOutput.FindField("Mortjn")
```

```
Dim indexShape As Long
```

```
indexShape = pFClassOutput.FindField("shape")
```

```
var_help = 0
```

```
'Definieren eines neuen Punktes
```

```
Dim pPoint As IPoint
```

```
Set pPoint = New Point
```

```
Dim var_y_loopcount As Long
```

```
'Verwendung eines "insert cursor" um die Features zu laden; dadurch wird der Ladevorgang einfacher Features
'beschleunigt
```

```
Dim pInsertFeatureBuffer As IFeatureBuffer
```

```
Dim pInsertFeatureCursor As IFeatureCursor
```

```
Set pInsertFeatureCursor = pFClassOutput.Insert(True)
Set pInsertFeatureBuffer = pFClassOutput.CreateFeatureBuffer
```

```
Dim pRelationalOperator As IRelationalOperator
Set pRelationalOperator = pPolygon
```

```
Do Until EOF(fnum)
```

```
    Line Input #fnum, var_ba_Zeile
```

```
    If var_help <> 0 Then
```

```
        var_ba_split = Split(var_ba_Zeile, vbTab)
```

```
    ' MsgBox Trim(var_ba_split(var_help - 1))
```

```
    ' hier nun prüfen ob X-Wert + var_minx kleiner var_maxx und Y-Wert + var_miny kleiner var_maxy -> wenn beide ja
```

```
    ' hinzufügen von Punkt und Attributen zu shapefile
```

```
    ' dann über Loop prüfen (i++) ob X-Wert + var_minx + (i x var_breite) kleiner var_maxx und selbe für Y-Wert
```

```
    ' solange, bis eine Bedingung nicht mehr erfüllt
```

```
        var_x_help = Trim(var_ba_split(7)) + var_minx
```

```
        var_y_help = Trim(var_ba_split(8)) + var_miny
```

```
        var_Per = Trim(var_ba_split(0))
```

```
        var_Jahr_calc = var_jahr + (5 * var_Per)
```

```
    ' var_nr = Trim(var_ba_split(1))
```

```
        var_Art = Trim(var_ba_split(2))
```

```
        var_BHD = Trim(var_ba_split(3))
```

```
        var_H = Trim(var_ba_split(4))
```

```
        var_Kra = Trim(var_ba_split(5))
```

```
        var_Kd = Trim(var_ba_split(6))
```

```
        var_Kenn = Trim(var_ba_split(9))
```

```
        var_Mortjn = Trim(var_ba_split(10))
```

```
    If var_x_help < var_maxx And var_y_help < var_maxy Then
```

```
    ' var_x_help = var_x_help + var_breite
```

```
    ' var_y_help = var_y_help + var_hoehe
```

```
        With pPoint
```

```
            .X = var_x_help
```

```
            .Y = var_y_help
```

```
        End With
```

```
        If (pRelationalOperator.Contains(pPoint) = True) Then
```

```
    'Hinzufügen der Punkte-Geometrie zum "feature buffer"
```

```
    '#####Einschub Within
```

```
        Set pInsertFeatureBuffer.Shape = pPoint
```

```
        pInsertFeatureBuffer.Value(indexFN) = var_ba_file
```

```
        pInsertFeatureBuffer.Value(indexPer) = var_Per
```

```
        pInsertFeatureBuffer.Value(indexJahr) = var_Jahr_calc
```

```
        var_nr = var_nr + 1
```

```
        pInsertFeatureBuffer.Value(indexNr) = var_nr
```

```
        pInsertFeatureBuffer.Value(indexArt) = var_Art
```

```
        pInsertFeatureBuffer.Value(indexBHD) = var_BHD
```

```
        pInsertFeatureBuffer.Value(indexH) = var_H
```

```
        pInsertFeatureBuffer.Value(indexKra) = var_Kra
```

```
        pInsertFeatureBuffer.Value(indexKd) = var_Kd
```

```
        pInsertFeatureBuffer.Value(indexX) = var_x_help
```

```
        pInsertFeatureBuffer.Value(indexY) = var_y_help
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexKenn) = var_Kenn
pInsertFeatureBuffer.Value(indexMortjn) = var_Mortjn
```

```
'Einfügen des Features in den "cursor"
pInsertFeatureCursor.InsertFeature pInsertFeatureBuffer
```

```
End If
```

```
'#####Ende Einschub Within
```

```
var_y_loopcount = 1
While (var_y_help + (var_y_loopcount * var_hoehe)) < var_maxy
  With pPoint
    .X = var_x_help
    .Y = var_y_help + (var_y_loopcount * var_hoehe)
  End With
```

```
If (pRelationalOperator.Contains(pPoint) = True) Then
'Hinzufügen der Punkte-Geometrie zum "feature buffer"
  Set pInsertFeatureBuffer.Shape = pPoint
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexPer) = var_Per
pInsertFeatureBuffer.Value(indexJahr) = var_Jahr_calc
var_nr = var_nr + 1
pInsertFeatureBuffer.Value(indexNr) = var_nr
pInsertFeatureBuffer.Value(indexArt) = var_Art
pInsertFeatureBuffer.Value(indexBHD) = var_BHD
pInsertFeatureBuffer.Value(indexH) = var_H
pInsertFeatureBuffer.Value(indexKra) = var_Kra
pInsertFeatureBuffer.Value(indexKd) = var_Kd
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexX) = var_x_help
pInsertFeatureBuffer.Value(indexY) = var_y_help + (var_y_loopcount * var_hoehe)
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexKenn) = var_Kenn
pInsertFeatureBuffer.Value(indexMortjn) = var_Mortjn
```

```
'Einfügen des Features in den "cursor"
pInsertFeatureCursor.InsertFeature pInsertFeatureBuffer
```

```
End If
```

```
var_y_loopcount = var_y_loopcount + 1
```

```
Wend
```

```
While (var_x_help + var_breite) < var_maxx
```

```
var_x_help = var_x_help + var_breite
```

```
With pPoint
```

```
.X = var_x_help
```

```
.Y = var_y_help
```

```
End With
```

```
If (pRelationalOperator.Contains(pPoint) = True) Then
```

```
'Hinzufügen der Punkte-Geometrie zum "feature buffer"
```

```
  Set pInsertFeatureBuffer.Shape = pPoint
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexPer) = var_Per
pInsertFeatureBuffer.Value(indexJahr) = var_Jahr_calc
var_nr = var_nr + 1
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexNr) = var_nr
pInsertFeatureBuffer.Value(indexArt) = var_Art
pInsertFeatureBuffer.Value(indexBHD) = var_BHD
pInsertFeatureBuffer.Value(indexH) = var_H
pInsertFeatureBuffer.Value(indexKra) = var_Kra
pInsertFeatureBuffer.Value(indexKd) = var_Kd
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexX) = var_x_help
pInsertFeatureBuffer.Value(indexY) = var_y_help
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexKenn) = var_Kenn
pInsertFeatureBuffer.Value(indexMortjn) = var_Mortjn
```

```
'Einfügen des Features in den "cursor"
```

```
pInsertFeatureCursor.InsertFeature pInsertFeatureBuffer
```

```
End If
```

```
var_y_loopcount = 1
```

```
While (var_y_help + (var_y_loopcount * var_hoehe)) < var_maxy
```

```
  With pPoint
```

```
    .X = var_x_help
```

```
    .Y = var_y_help + (var_y_loopcount * var_hoehe)
```

```
  End With
```

```
If (pRelationalOperator.Contains(pPoint) = True) Then
```

```
'Hinzufügen der Punkte-Geometrie zum "feature buffer"
```

```
  Set pInsertFeatureBuffer.Shape = pPoint
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexPer) = var_Per
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexJahr) = var_Jahr_calc
```

```
var_nr = var_nr + 1
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexNr) = var_nr
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexArt) = var_Art
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexBHD) = var_BHD
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexH) = var_H
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexKra) = var_Kra
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexKd) = var_Kd
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexX) = var_x_help
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexY) = var_y_help + (var_y_loopcount * var_hoehe)
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexKenn) = var_Kenn
```

```
pInsertFeatureBuffer.Value(indexMortjn) = var_Mortjn
```

```
'Einfügen des Features in den "cursor"
```

```
pInsertFeatureCursor.InsertFeature pInsertFeatureBuffer
```

```
End If
```

```
var_y_loopcount = var_y_loopcount + 1
```

```
Wend
```

```
Wend
```

```
End If
```

```
End If
```

```
var_help = var_help + 1
```

```
Loop
pInsertFeatureCursor.Flush 'Flush the cursor one last time
```

```
Close #fnum
```

```
Exit Sub
```

```
Err_Shape:
Exit Sub
```

```
End Sub
```

A.10 VBA-Funktion zum Erzeugen von MultiPatch-X-*billboards*

Über die folgende Funktion wird ein MultiPatch in Form eines gekreuzten Rahmens (als X-*billboard*) generiert. Diese Funktion wird normalerweise aus einer anderen Funktion aufgerufen und dabei die Rahmen-Dimension mit übergeben. In dem einfachen Beispiel ist diese fix auf 0,5 gesetzt.

```
Public Sub AddMP()
'pScale ist der Scalefaktor, der angegeben werden muss, um die unterschiedlich breiten MPs zu kreieren
Dim pScale As Double
pScale = 0.5
```

```
'a topless and bottomless cube:
Dim pPt1 As esriCore.IPoint
Dim pPt2 As esriCore.IPoint
Dim pPt3 As esriCore.IPoint
Dim pPt4 As esriCore.IPoint
```

```
Set pPt1 = New Point: pPt1.X = -pScale: pPt1.Y = 0: pPt1.Z = 0
Set pPt2 = New Point: pPt2.X = -pScale: pPt2.Y = 0: pPt2.Z = 1
Set pPt3 = New Point: pPt3.X = pScale: pPt3.Y = 0: pPt3.Z = 0
Set pPt4 = New Point: pPt4.X = pScale: pPt4.Y = 0: pPt4.Z = 1
```

```
Dim m As Double
```

```
Dim pPack As IEncode3DProperties
Set pPack = New GeometryEnvironment
```

```
Dim s As Double
Dim t As Double
```

```
m = 0
s = 0.001
t = 0.001
pPack.PackTexture2D s, t, m
pPt4.m = m
```

```
m = 0
s = 0.001
t = 0.999
```

```
pPack.PackTexture2D s, t, m  
pPt3.m = m
```

```
m = 0  
s = 0.999  
t = 0.001  
pPack.PackTexture2D s, t, m  
pPt2.m = m
```

```
m = 0  
s = 0.999  
t = 0.999  
pPack.PackTexture2D s, t, m  
pPt1.m = m
```

```
Dim pMP2 As esriCore.IMultiPatch  
Set pMP2 = New MultiPatch
```

```
Dim pGCol As IGeometryCollection  
Set pGCol = pMP2  
Dim pGeom As IGeometry2  
Dim pStrip As IPointCollection  
Set pStrip = New TriangleStrip
```

```
pStrip.AddPoint pPt1  
pStrip.AddPoint pPt2  
pStrip.AddPoint pPt3  
pStrip.AddPoint pPt4
```

```
Set pGeom = pStrip  
pGCol.AddGeometry pGeom
```

```
Set pPt1 = New Point: pPt1.X = 0: pPt1.Y = pScale: pPt1.Z = 0  
Set pPt2 = New Point: pPt2.X = 0: pPt2.Y = pScale: pPt2.Z = 1  
Set pPt3 = New Point: pPt3.X = 0: pPt3.Y = -pScale: pPt3.Z = 0  
Set pPt4 = New Point: pPt4.X = 0: pPt4.Y = -pScale: pPt4.Z = 1
```

```
m = 0  
s = 0.001  
t = 0.001  
pPack.PackTexture2D s, t, m  
pPt4.m = m
```

```
m = 0  
s = 0.001  
t = 0.999  
pPack.PackTexture2D s, t, m  
pPt3.m = m
```

```
m = 0  
s = 0.999
```

```

t = 0.001
pPack.PackTexture2D s, t, m
pPt2.m = m

m = 0
s = 0.999
t = 0.999
pPack.PackTexture2D s, t, m
pPt1.m = m

Set pStrip = New TriangleStrip

pStrip.AddPoint pPt1
pStrip.AddPoint pPt2
pStrip.AddPoint pPt3
pStrip.AddPoint pPt4

Set pGeom = pStrip
pGCol.AddGeometry pGeom

Dim pZaware As IZAware
Set pZaware = pMP2
pZaware.ZAware = True
Dim pMaware As IMAware
Set pMaware = pMP2
pMaware.MAware = True

If pMP2 Is Nothing Then
    MsgBox „The MultiPatch was not created.“
    Exit Sub
Else
    Dim pClone As IClone
    Dim pSxDoc As ISxDocument
    Set pSxDoc = Application.Document
    Set pClone = pSxDoc.Scene.SpatialReference

    Dim pSR As ISpatialReference
    Set pSR = New UnknownCoordinateSystem

    Dim pFCls2 As esriCore.IFeatureClass
    Dim pScalex2 As Double
    pScalex2 = 2 * pScale
    Set pFCls2 = CreateShapefileMP(„c:\temp\“, „multipatch_“ & pScalex2 & „.shp“, esriGeometryMultiPatch,
True, True, pSR)
    'add the multipatch to the shapefile:
    AddShapeToFeatureClassMP pMP2, pFCls2
    'add the feature class to the scene:
    AddFCToSceneMP pFCls2, „aMP“

End If
End Sub

```

A.11 VTP-Dateiformate

◦ *Projektionsdatei (*.prj) für das VTP-Geländeformat*

```
PROJCS[,,unnamed",GEOGCS[,WGS84",DATUM[,Deutsches_Hauptdreiecksnetz",SPHEROID
[,WGS84",6378137,298.257223563,AUTHORITY[,EPSG",,"7030"],TOWGS84[0,0,0,0,0,0],AUTHORITY
[,EPSG",,"6326"],PRIMEM[,Greenwich",0,AUTHORITY[,EPSG",,"8901"],UNIT[,degree",0.0174532925199433,
AUTHORITY[,EPSG",,"9108"],AXIS[,Lat",NORTH],AXIS[,Long",EAST],AUTHORITY[,EPSG",,"4326"],
PROJECTION[,Transverse_Mercator"],PARAMETER[,latitude_of_origin",0],PARAMETER[,central_meridian",
3],PARAMETER[,scale_factor",1],PARAMETER[,false_easting",500000],PARAMETER[,false_northing",0]]
```

◦ *Auszug aus einer VTP-3D-Objektdatei*

```
<?xml version="1.0"?>
```

```
<StructureCollection xmlns="http://www.openplans.net"
```

```
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
```

```
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
```

```
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
```

```
xsi:schemaLocation="http://www.openplans.net/buildings.xsd">
```

```
<gml:boundedBy>
```

```
<gml:Box>
```

```
<gml:coordinates>434826.120000,5296022.560000 442906.970000,5302088.780000</gml:coordinates>
```

```
</gml:Box>
```

```
</gml:boundedBy>
```

```
<SRS>PROJCS[,,unnamed",GEOGCS[,WGS84",DATUM[,Deutsches_Hauptdreiecksnetz",SPHEROID[,WGS
84",6378137,298.257223563,AUTHORITY[,EPSG",,"7030"],TOWGS84[0,0,0,0,0,0],AUTHORITY[,EPSG",,"6326"],PRI
MEM[,Greenwich",0,AUTHORITY[,EPSG",,"8901"],UNIT[,degree",0.0174532925199433,AUTHORI
TY[,EPSG",,"9108"],AXIS[,Lat",NORTH],AXIS[,Long",EAST],AUTHORITY[,EPSG",,"4326"],PROJECTION[,Trans
verse_Mercator"],PARAMETER[,latitude_of_origin",0],PARAMETER[,central_meridian",3],PARAMETER[,scale_fac
tor",1],PARAMETER[,false_easting",500000],PARAMETER[,false_northing",0]]</SRS>
```

```
<Imported>
```

```
<Location>
```

```
<gml:coordinates>434826.12,5302088.78</gml:coordinates>
```

```
</Location>
```

```
<filename>E:\VTP\TerrainApps\Data\BuildingData\house2.3ds</filename>
```

```
</Imported>
```

```
<Imported>
```

```
<Location>
```

```
<gml:coordinates>438616.76,5299260.74</gml:coordinates>
```

```
</Location>
```

```
<filename>E:\VTP\TerrainApps\Data\BuildingData\riesenbuehl\riesenbuehl_fin.3ds</filename>
```

```
</Imported>
```

```
</StructureCollection>
```

A.12 VB-Code für VF-Export

```
Private Sub cmd_start_vf_export_Click()
```

```
'Mauscursor als Sanduhr darstellen
```

```
Dim pMouseCursor As IMouseCursor
```

```
Set pMouseCursor = New MouseCursor
```

```
pMouseCursor.SetCursor 2
```

```
'Auslesen der Jahres-Liste "Zu exportierendes Jahr:"
```

```
Dim jahr As Integer
```

```
jahr = cbo_jahr.Value
```

```
'Prüfen ob eine Ausgabedatei für das Enviro-Vegetaions-Datei angegeben wurde
```

```
If (var_vf_file = "") Then
```

```
    MsgBox "Es ist noch keine Ausgabedatei definiert!", vbInformation
```

```
    Exit Sub
```

```
End If
```

```
'Liste der Punktethemen (Baumlisten) als MultiSelect-Box erstellen
```

```
Dim lst_count As Integer
```

```
lst_count = lst_pointtheme.ListCount
```

```
'MsgBox lst_count
```

```
Dim var_is_selected As Boolean
```

```
var_is_selected = False
```

```
'Alle selektierten Punktethemen ermitteln
```

```
For i = 0 To lst_count - 1
```

```
    If lst_pointtheme.Selected(i) = True Then
```

```
        var_is_selected = True
```

```
    Exit For
```

```
    End If
```

```
Next i
```

```
If var_is_selected = False Then
```

```
    MsgBox "Es ist kein Eintrag in der Punktethemenliste selektiert. Der Vorgang wird beendet.", vbCritical
```

```
    Exit Sub
```

```
End If
```

```
Dim pQueryFilter As IQueryFilter
```

```
Set pQueryFilter = New QueryFilter
```

```
'Abfragebedingung setzen: Hier das gewünschte darzustellende Prognosejahr
```

```
pQueryFilter.WhereClause = "JAHR = " & jahr
```

```
Dim pFeat As IFeature
```

```
Dim pCur As IFeatureCursor
```

```
Dim pSelFeaturLayer As IFeatureLayer
```

```
Dim var_nr As Long
```

```
'Header für vf-Datei definieren. Ist immer gleich, darum mit dem Datentyp "Const" arbeiten
```

```
Dim var_marker$
```

```
var_marker = "vf1.1"
```

```
Dim var_leerbyte As Byte
```

```
var_leerbyte = False
```

```
Dim var_utm As Long
var_utm = 0
Dim var_datum As Long
var_datum = 6314 'entspricht dem Datum „Deutsches Hauptdreiecksnetz“
```

'Variable treecount am Anfang als 0 definieren und nach Ende des Schreibvorgangs auf var_treecount setzen, 'der in der for-Schleife hochgezählt wurde

```
Dim var_treecount As Long
var_treecount = 0
```

```
Dim var_xcoor As Double
Dim var_ycoor As Double
Dim var_height As Single
Dim var_spezies As Integer
Dim var_padding As Integer
var_padding = 0
```

```
Dim fnum As Integer
fnum = FreeFile
```

'Sicherheitsabfrage, um bereits vorhandene Vegetations-Dateien vor dem versehentlichen 'Überschreiben zu schützen

```
Dim var_choise As Integer
If FileSystem.Dir(var_vf_file) <> "" Then
    var_choise = MsgBox("Die Ausgabedatei existiert bereits. Soll sie überschrieben werden?", vbYesNo)
    If var_choise = 6 Then
        Kill var_vf_file
    Else
        Exit Sub
    End If
End If
```

'Öffnen der Output-Vegetations-Datei und Schreiben des Headers

```
Open var_vf_file For Binary As #fnum
Put #fnum, , var_marker
Put #fnum, , var_leerbyte
Put #fnum, , var_leerbyte
Put #fnum, , var_utm
Put #fnum, , var_datum
Put #fnum, , var_treecount
```

```
For i = 0 To lst_count - 1
    If lst_pointtheme.Selected(i) = True Then
```

'Loop durch Layer der Map und Vergleich der Namen mit denen in der Listbox

```
    For j = 0 To mainmap.LayerCount - 1
        If mainmap.Layer(j).Name = lst_pointtheme.List(i) Then
            MsgBox mainmap.Layer(j).Name & " gefunden"
'Hier nun mainmap.Layer(j) öffnen, Queryfilter über jahr anlegen und Ergebnis in VF-Datei schreiben
            Set pSelFeaturLayer = mainmap.Layer(j)
            MsgBox pSelFeaturLayer.Name
            Set pCur = pSelFeaturLayer.Search(pQueryFilter, False)
            Set pFeat = pCur.NextFeature
            Do Until pFeat Is Nothing
```

```

With pFeat
    var_xcoor = .Value(.Fields.FindField("X"))
    var_ycoor = .Value(.Fields.FindField("Y"))
    var_height = .Value(.Fields.FindField("H"))
    var_spezies = .Value(.Fields.FindField("Art"))
End With
Put #fnum, , var_xcoor
Put #fnum, , var_ycoor
Put #fnum, , var_height
Put #fnum, , var_spezies
Put #fnum, , var_padding

var_treecount = var_treecount + 1
Set pFeat = pCur.NextFeature
Loop

End If
Next j
End If
Next i

' nachträglich die Gesamtzahl der geschriebenen Bäume in den Header der Output-Datei schreiben
Put #fnum, 16, var_treecount

End Sub

```

A.13 Enviro Baumarten-Schlüsseldatei (species.xml)

WICHTIG: Die in der XML-Datei eingetragene ID der Species ist für die Verknüpfung zur Zielbaumart im *shapefile* unerheblich!!! Die zur Verknüpfung genutzte SID richtet sich rein nach der Reihenfolge der Species in der XML-Datei beginnend bei „0“ !!!!!!!!!!!!!

Beispiel einer XML-Datei mit 3 Baumarten und nur einem Foto für alle Klassen der jeweiligen BA:

```

<?xml version="1.0"?>
<species-file file-format-version="1.0">
  <species id="0" name="Picea glauca" max_height="40.00">
    <common name="Picea" />
    <appearance type="1" filename="picea_glauca_30.png" width="7.92" height="26.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
  </species>
  <species id="1" name="Fagus sylvestrics" max_height="40.00">
    <common name="Fagus" />
    <appearance type="1" filename="fagus_a_19.png" width="25.00" height="28.50" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="fagus_a_19.png" width="24.57" height="24.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="fagus_a_19.png" width="16.92" height="19.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="fagus_a_19.png" width="12.92" height="15.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="fagus_a_19.png" width="6.92" height="10.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="fagus_a_19.png" width="2.92" height="6.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="fagus_a_19.png" width="1.92" height="2.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
  </species>
  <species id="2" name="Pinus ponderosa" max_height="42">
    <common name="Ponderosa Pine" />
    <appearance type="1" filename="pinel_20m_256.png" width="9.25" height="20" shadow_radius="0.0" shadow_darkness="0.0" />
    <appearance type="1" filename="pinel_20m_256.png" width="7.92" height="17.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="pinel_20m_256.png" width="5.92" height="14.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="pinel_20m_256.png" width="3.92" height="11.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="pinel_20m_256.png" width="2.92" height="8.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="pinel_20m_256.png" width="1.92" height="5.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="pinel_20m_256.png" width="0.92" height="2.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
  </species>
  <species id="3" name="Picea glauca2" max_height="40.00">
    <common name="Picea2" />
    <appearance type="1" filename="picea_glauca_30.png" width="7.92" height="26.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="picea_glauca_30.png" width="5.92" height="22.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="picea_glauca_30.png" width="4.92" height="18.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="picea_glauca_30.png" width="3.92" height="14.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="picea_glauca_30.png" width="2.92" height="10.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="picea_glauca_30.png" width="1.92" height="6.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
    <appearance type="1" filename="picea_glauca_30.png" width="0.92" height="2.57" shadow_radius="0.5" shadow_darkness="0.2" />
  </species>
</species-file>

```

A.14 Anwendungsbeispiel zur RasterClipping-Erweiterung

Die in der vorliegenden Arbeit verwendete GIS-Erweiterung zum „Zurechtschneiden“ von Rasterdatensätzen ist die freie Benutzererweiterung „Clip Raster with a Rectangle“ (im Folgendem mit RasterClipping bezeichnet). Diese ist von der ESRI-Developer-Seite¹ zu beziehen. Leider läuft diese Erweiterung nicht sehr stabil. Es empfiehlt sich von daher, die Anpassung von Gelände und der optionalen Geländetextur in einem separaten ArcGIS-Projekt durchzuführen. In dieses neue Projekt wird sowohl das zu bearbeitende Geländemodell (im Rasterformat) als auch die Textur geladen. Nachdem die Erweiterung registriert ist, kann sie in ArcGIS eingebunden werden.

Nach Aufruf der Erweiterung erscheint ein Benutzerdialog, in dem die nötigen Einstellungen gemacht werden können (Abbildung 74). Die Verwendung soll am Beispiel des Geländemodells erfolgen. Dieses ist, falls noch nicht automatisch geschehen, als „Source raster data“ anzugeben. Für den aktuell ausgewählten Datensatz zeigt der Benutzerdialog die aktuelle Ausdehnung und die Pixelgröße („Cell zize“) an. Um nun die maximal mögliche Ausdehnung des vorliegenden Geländemodells für den späteren Export zu nutzen, orientieren wir uns an dem kleineren Wert von der Ausdehnung in X- und Y-Richtung des Geländemodells. Im vorliegenden Fall ist dies die Ausdehnung in Y-Richtung mit 17050 Metern. Da das zu exportierende Geländemodell quadratisch sein muss, sind die Werte „UL X:“ und „LR X:“ so anzupassen, dass die räumliche Ausdehnung in X-Richtung auch 17050 Metern beträgt. Jetzt muss die Pixelgröße („Cell zize“) dahingehend angepasst werden, dass der Quotient der Division von Ausdehnung und Pixelgröße einen Wert von $2^n + 1$ ergibt. Es bietet sich hier an erst die gewünschte Anzahl von Pixeln festzulegen und dann die notwendige Pixelgröße zu berechnen. Für das vorliegende Beispiel nehmen wir an, das diese 8193×8193 ($2^{13} + 1$) Pixel betragen soll. Die einzutragende Pixelgröße beträgt demnach 2.08 Meter. Soll die Pixelgröße ganzzahlig sein, so sind die Ausdehnung in X- und Y-Richtung noch einmal anzupassen. In der vorliegenden Arbeit wurde eine Pixelgröße von 2 Metern bei einer Ausdehnung 8193×8193 Pixeln gewählt. Dies entspricht einer räumlichen Ausdehnung von 16386 Metern. Die notwendigen Einstellungen im RasterClipping-Dialog sind in Abbildung 74 (rechts) abgebildet.

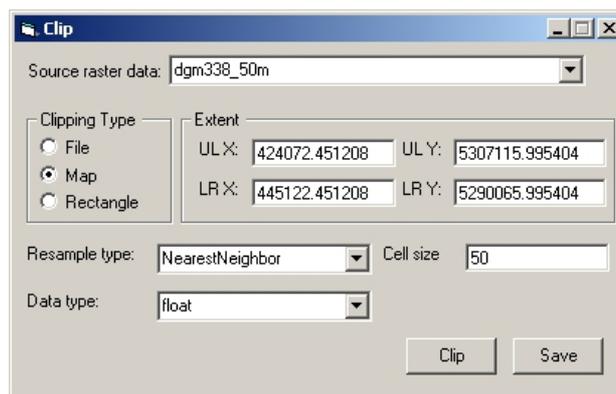


Abb. 74: Benutzerdialog der ArcGIS-Erweiterung „Clip Raster with a Rectangle“

Nach der Eingabe von Ausdehnung („Extent“) und Pixelgröße („Cell zize“) wird durch Betätigen des Schalters „Clip“ die gewünschte Ausdehnung an den gewählten Rasterdatensatz „übergeben“. Am Bildschirm wird die Darstellung des Datensatzes auf die gewählte Ausdehnung reduziert. Die

¹ Die freie Erweiterung RasterClipping-Erweiterung findet sich online unter der URL <http://arcobjectsonline.esri.com/ArcObjectsOnline/Samples/Raster/ClipRaster/RasterClipping.htm> (14.03.2003).

echte Beschneidung („Clip“) wird aber erst nach betätigen des Schalters „Save“ ausgelöst. Nach Auswahl eines Zielnamens und Angabe des gewünschten Zieldatentyps (Imagine-, TIFF- oder GRID-Format) wird der ausgewählte Bereich in einen neuen Datensatz geschrieben. Der Original-Datensatz bleibt physikalisch unverändert. Nachdem der erste Rasterdatensatz (Gelände oder Textur) bearbeitet wurde, ist aus Gründen der o. g. Instabilität der Erweiterung ein Neustart von ArcGIS notwendig. Ansonsten friert ArcGIS bei erneutem Aufruf der „RasterClipping“-Erweiterung ein.

