

Universität Freiburg

Institut für Forstökonomie

Arbeitsbericht 36-2003

**3D-Visualisierung von Waldstrukturen
und Waldstrukturentwicklungen**

Instrument für die waldbezogene Umweltbildung
sowie für partizipative Planungsansätze

Kai Fischer

Vorliegendes Arbeitspapier entstand im Rahmen des Forschungsprojektes „3D-Visualisierung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen“ und stellt die überarbeitete Fassung des Abschlussberichtes dar. Dem „Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg“ (MLR) danken wir für die finanzielle Förderung des Projektes (Forschungsprogramm des MLR, „Ökosystemforschung Wald“, Projekt-Nr. 0194E).

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG
Institut für Forstökonomie
Tennenbacherstr. 4
D-79106 Freiburg im Breisgau
Tel.: 0761/203-3689 Fax: 0761/203-3690
E-mail: forecon@ife.uni-freiburg.de

Inhalt

1. Einleitung	1
2. Untersuchungsmethode	4
2.1 Datenbasis zur Darstellung des IST-Zustandes der Waldstrukturen (und als Ausgangslage für die Wachstumsprognose)	4
2.1.1 Rasterdaten	4
2.1.2 Vektordaten	8
2.1.3 Sachdaten und ihr Verwendungszweck	9
2.2 Software	10
2.2.1 Geografische Informationssysteme	10
2.2.2 Waldwachstumssimulator	11
2.2.3 3D-Referenzsystem	12
2.2.4 Programmierwerkzeuge	14
2.3 Methoden im engeren Sinne	16
2.3.1 Methode der Stratenbildung	16
2.3.2 Auswahl der Vegetationsdarstellungsform	18
2.3.3 MultiPatches	20
3. Ergebnis	22
3.1 Erzeugung der SILVA-Steuerdateien innerhalb des GIS	25
3.2 Rückführung der SILVA-Prognoseergebnisse in das GIS	28
3.3 GIS-integrierte 3D-Visualisierung der Prognoseergebnisse	28
3.4 Aufbereitung der 3D-Visualisierung mit weiteren markanten anthropogenen Objekten	33
3.5 3D-Visualisierung mit Enviro	35
3.6 Gegenüberstellung der beiden Lösungsansätze zur GIS-gestützten 3D-Visualisierung	37
4. Fazit für die Praxis	42
Literatur	44
Abbildungsverzeichnis	45
Tabellenverzeichnis	45

1. Einleitung

Problemstellung:

In einer Vielzahl von privaten, kommunalen und staatlichen Forstbetrieben werden im Rahmen von Konzepten der naturnahen/naturgemäßen Forstwirtschaft langfristige Waldumbau- bzw. Überführungsvorhaben geplant oder bereits durchgeführt. Ziel dieser Vorhaben ist stets der Aufbau von strukturreichen, naturnahen Wäldern in Abkehr von vormaliger strukturarmer Altersklassenwirtschaft. Die Forstbetriebe stehen bei derartigen Vorhaben des großflächigen Waldumbaus vor komplexen Führungsaufgaben waldbaulicher, technologischer und betriebswirtschaftlicher Art. Bereits in der Planungsphase ist es für die Betriebsführung daher bedeutungsvoll, dass

- 1) intendierte und nichtintendierte Folgen langfristiger Waldumbau- oder Überführungsmaßnahmen berücksichtigt werden.
- 2) Anspruchsgruppen im Wege der Partizipation mit einbezogen werden.
- 3) im Bereich der Umweltbildung Fragen der Waldentwicklung im Rahmen naturnaher/naturgemäßer Forstwirtschaft kommuniziert werden.

Vor allem drei Gründe führen zu Schwierigkeiten in der Vorstellbarkeit der Auswirkungen forstwirtschaftlicher Aktivitäten im Wald. Der erste Grund liegt in der Komplexität von Waldstrukturen und den komplexen Auswirkungen von forstlichen Maßnahmen. Der Zweite betrifft den großen Zeithorizont, auf den sich die Entscheidungen beziehen und der Dritte ist die Tatsache, dass für die Planungsentscheidungen ein großer räumlicher Bezug hergestellt werden muss. Die menschliche Vorstellungskraft scheint systematisch überfordert bei der Erfassung derart komplexer raum-zeitlicher Veränderungen von Waldstrukturen, weshalb für verschiedenste betriebliche wie überbetriebliche Aufgaben zweckmäßige, gleichwohl Komplexität reduzierende Entscheidungshilfen zu fordern sind.

Die langfristigen Veränderungen der Waldstrukturen können durch Simulationsmodelle abgebildet werden. Da die Kognitionsfähigkeiten des Menschen angesichts der immer vielfältigeren und umfassenderen Informationen überfordert werden, werden Modelle und Methoden benötigt, die es erlauben, die Dateninhalte adäquat für alle Sinne des Menschen abzubilden. Die zentrale Fähigkeit des Menschen, visuelle Daten zu interpretieren, erfährt durch die neuen Medien und die rechnergestützte Bearbeitung und Auswertung mit Hilfe von Computersimulationen und Messungen eine neue Dimension. Diese Angaben, verbunden mit dem Wissen über die Schwierigkeiten des Menschen bezüglich seiner Kognitionsfähigkeiten, lassen eine Visualisierung der Waldbestände und deren Veränderung durch forstliche Eingriffe als sehr sinnvoll erscheinen. Hierfür bietet sich eine Darstellung in einem realistisch wirkenden 3D-Modell an, in dem eine Betrachtung der Bestände aus verschiedenen Perspektiven möglich wird, Veränderungen dargestellt werden können und dabei die gesamte räumliche Ordnung mit einbezogen wird.

Ziel:

Ziel des Projektes war es, ein GIS-gestütztes 3D-Visualisierungsmodul zur Darstellung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklungen zu erstellen. Dabei sollten Ansprüche berücksichtigt werden, die sich aus der erweiterten forstlichen Praxis ergeben. Dazu gehören sowohl Anwendungsaspekte der internen forstlichen Planung, als auch der waldbezogenen Umweltbildung und der

forstlichen partizipativen Planung. Als Ergebnis sollte ein Lösungskonzept entwickelt werden, mit dem eine 3D-Darstellung von Waldstrukturen und deren Dynamik auf Abteilungs-(Distrikt)-Ebene und von kleinen Landschaftsausschnitten möglich wird. Hierbei sollte überprüft werden, inwieweit ein Lösungskonzept als reine GIS-Lösung möglich ist (auf der Basis von ArcGIS 8.2 und dem optionalen 3D-Modul „3D Analyst für ArcGIS“¹ [im Folgenden mit „ArcScene“ bezeichnet]). Die Einbettung aller Lösungsansätze in ein bestehendes GIS war der zentrale Ansatzpunkt für das Vorhaben, mit dem Ziel,

- aus bestehenden GIS heraus 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, ...),
- 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 und
- die zu erarbeitende Lösung in Bezug auf diese unterschiedlichen Anforderungen zu diskutieren.

Um die Qualität der GIS-internen Visualisierung beurteilen und weitere Aussagen zur Praxistauglichkeit machen zu können, sollte ein Vergleich mit einer auf 3D-Visualisierung spezialisierten Visualisierungsumgebung angestellt werden (Enviro aus dem „Virtual Terrain Project“²).

Neuheit des Verfahrens:

Viele der aktuellen Software- und Forschungsprojekte zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und deren Dynamik nutzen GIS lediglich als Werkzeug zur Datenhaltung und -verarbeitung. Die entsprechend aufbereitete Geodatenbasis wird dann in ein externes Visualisierungsprogramm überführt mit den Nachteilen gegenüber einer GIS-internen Lösung, dass:

- eine zusätzliche Software angeschafft, installiert, administriert und geschult werden muss
- 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

In dem hier besprochenen Projekt wird demgegenüber davon ausgegangen, dass für die anvisierten komplexen Einsatzgebiete das GIS mit der 3D-Visualisierung „verschmolzen“ werden muss und die Visualisierungsalgorithmen in das GIS gebracht werden müssen. Der Grund dafür ist, neben den zuvor genannten Nachteilen der GIS-externen Visualisierung, in den zukünftigen Aufgaben der Visualisierung zu sehen. Visualisierungen im Zusammenhang mit Planungsvorhaben und auch im Kommunikationsbereich dürfen nicht auf die Funktion der Präsentation begrenzt sein. Vielmehr

¹ vgl. Online unter der URL: <<http://www.esri.com/software/arcgis/arcview/index.html>> (30.05.2003)

² vgl. Online unter der URL: <<http://www.vterrain.org>> (30.05.2003)

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 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 Vorteile sind zu nennen:

- 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.

Ein weiterer Vorteil der GIS-gestützten 3D-Visualisierung liegt in der Erweiterbarkeit der 3D-Szenarien durch zusätzliche Geo-Informationen. Hier zählt es sich vor allem für die Erhöhung der Realitätsnähe und Abstraktionsnähe aus, dass sämtliche anthropogene Landschaftsmerkmale „leicht“ 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. Außerdem können hier alle Ausgangsdaten und weitere interessierende Daten mit in die Visualisierung einbezogen werden (sichtbar oder auch unsichtbar) und für kombinierte Analysen (Abfragen) genutzt werden (z.B.: „Finde 3D-Bestände mit Fichte Alter > 100 Jahre auf vernäsendem Standort, die an westexponiertem Hang stehen“) oder auch einfach visuell bewertet werden.

2. Untersuchungsmethode

Um die Zielsetzung zu erreichen, wird ein GIS aufgebaut, in dem durch Nutzung und Aufbereitung typischer forstlicher Daten der IST-Zustand der Waldstrukturen erfasst wird. Deren Entwicklung soll von dieser Datenbasis ausgehend prognostiziert werden. Dazu wird das GIS mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2³ gekoppelt. Die hierzu notwendigerweise zu programmierende Schnittstelle vom GIS zu SILVA muss sowohl die Steuerung von SILVA ermöglichen, als auch die Rückführung der SILVA-Prognoseergebnisse in das GIS erlauben.

Die rückgeführten Prognoseergebnisse sollen GIS-basiert visualisiert werden - sowohl „GIS-intern“ mit dem optionalen 3D-GIS-Modul „3D-Analyst für ArcGIS“ (im Folgendem als „ArcScene“ bezeichnet), als auch mit dem „GIS-externen“ Referenzsystem Enviro. Für die „GIS-externe“ Visualisierung ist es dabei notwendig, eine Schnittstelle zu programmieren, die die automatisierte Steuerung der Visualisierungsumgebung aus dem GIS heraus erlaubt. Die Art der Visualisierung richtet sich dabei nach Kriterien, die sich aus den jeweiligen Anwendungszwecken (s. o.) ableiten.

2.1 Datenbasis zur Darstellung des IST-Zustandes der Waldstrukturen (und als Ausgangslage für die Wachstumsprognose)

Als Untersuchungsgebiet für das vorliegende Projekt wurde das Forstamt Schluchsee gewählt (siehe „Ergänzung zum Antrag vom 28.01.2000“). Zur Entwicklung der Methoden wurde der dortige Distrikt 2 verwendet. Für dieses Gebiet wurde eine Reihe von typischen forstlichen Daten gesammelt, die nachfolgend aufgeführt werden.

2.1.1 Rasterdaten

Digitales Geländemodell

Das digitale Geländemodell stand im Rasterformat GRID⁴ mit einer Auflösung von 50x50 Metern zur Verfügung. GRID ist das GIS-interne Rasterdatenformat auf Zellenbasis für raumbezogene Daten der ESRI-Produkte. In der vorliegenden Arbeit wurde das GRID nur zur groben Übersicht in der 2D-Ansicht genutzt sowie um weitere digitale Daten abzuleiten. Hierzu zählen ein

- interpoliertes DGM mit einer Auflösung von 2 x 2 m (für den Export in VTP-Format; s. u.)
- Beleuchtungsmodell (HILLSHADE)
- Hangneigungsmodell (SLOPE)
- Expositionsmodell (ASPECT)
- Triangulationsnetz (TIN)
- Geländemodell im Format des „Virtual Terrain Projects“ 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 1).

³ vgl. Online unter der URL: <<http://www.wwk.forst.tu-muenchen.de/research/methods/modelling/silva/>> (30.05.2003)

⁴ GRID steht im Englischen Netz oder Gitter

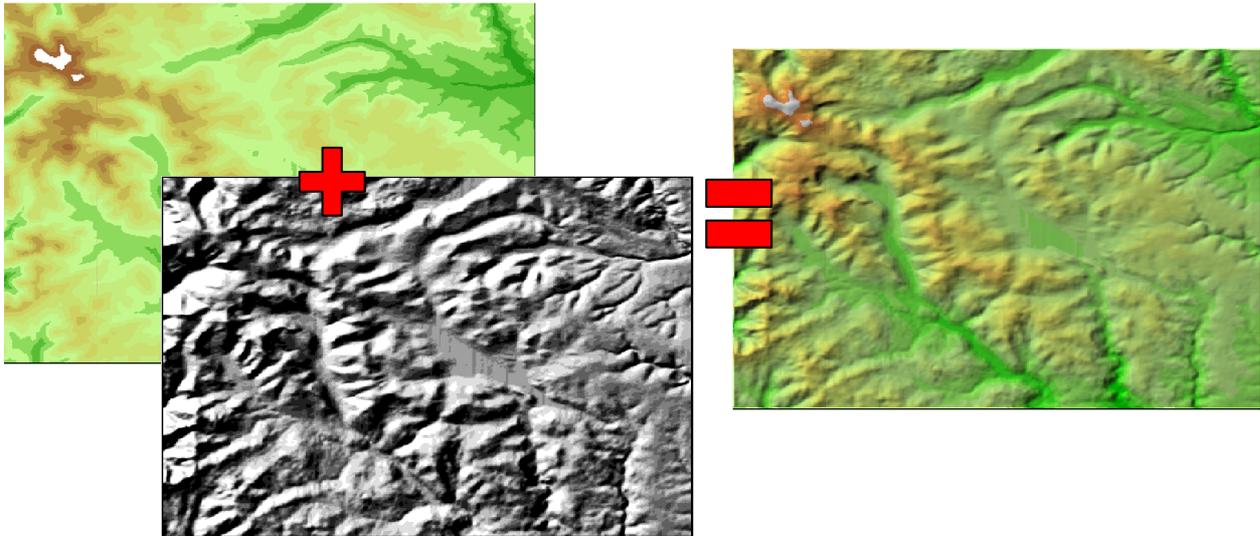


Abb. 1: links oben DGM klassifiziert nach Höhenstufen; links unten abgeleitetes Beleuchtungsmodell; rechts Verschnidung zwischen DGM und Beleuchtungsmodell

„Interpoliertes DGM“, „Aspect“ und „Slope“ (vgl. Abbildung 2) 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-Verschnidungsoptionen, oder auch visuell durch Einbinden der klassifizierten Ableitungsprodukte in die 3D-Visualisierung aufzuzeigen.

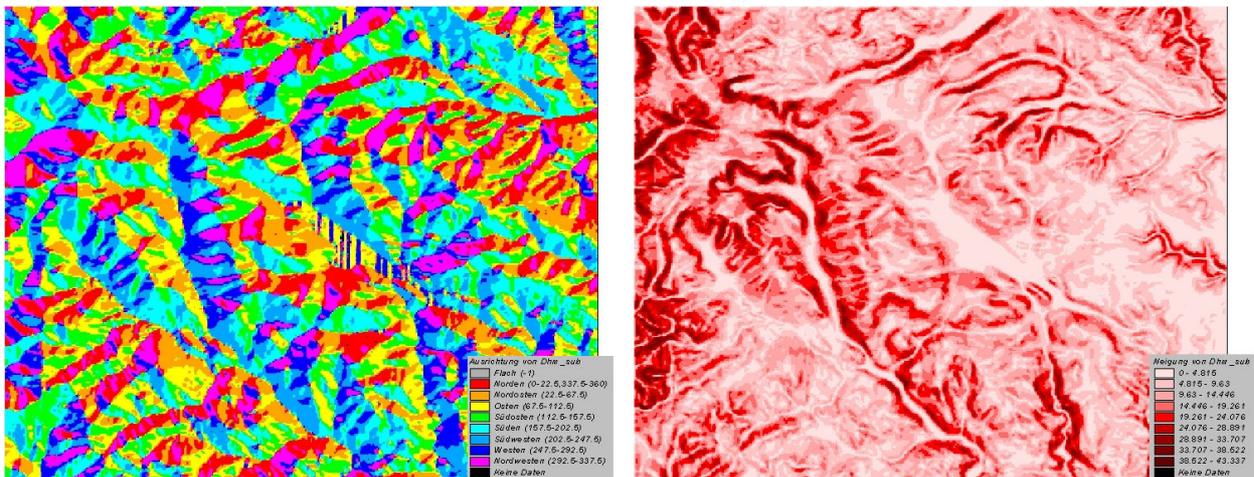


Abb. 2: „Aspect“ und „Slope“

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.

Fusionsbild

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 Literatur⁵ 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 vom 27.06.1986 mit einer Bodenauflösung von 30 x 30 m) und geometrisch hochauflösenden panchromatischen Bildern (hier IRS-1c vom 14.10.1996 mit 5,8 x 5,8 m und Schwarzweiß-Luftbilder aus dem Jahr 1985 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 (Satellitenbilder) und teilweise durch den Staatsforst zur Verfügung gestellt werden konnte (Luftbilder). Wie aus Abbildung 3 ersichtlich, werden durch die Fusion die „natürlichen“ Farbinformationen aus den gering auflösenden Satellitendaten (Landsat-5-TM) mit den hochauflösenden Texturinformationen aus dem Schwarzweißbild (hier Luftbild) kombiniert, was zu einem Farbbild mit „guter“ geometrischer Auflösung führt.

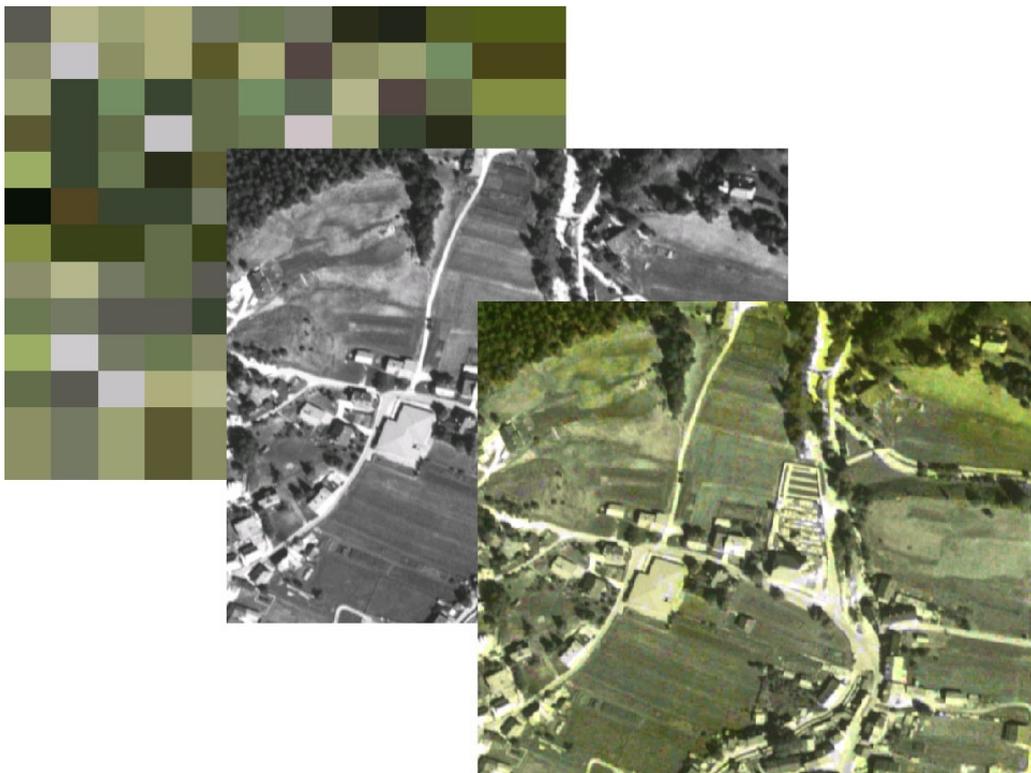


Abb. 3: Prinzip der Imagefusion

⁵ Die Verwendung von Imagefusion für ähnliche Anwendungszwecke wie in der vorliegenden Arbeit finden sich bei FRECH (2001) und FRITZ (1999).

Zur Imagefusion von Fernerkundungsdaten sind seit Anfang der Neunziger Jahre eine ganze Reihe von Verfahren entwickelt worden, die in verschiedenster Hinsicht optimiert worden sind.⁶ 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. Diese ist ein gängiges Verfahren zur pixelbasierten Fusion von Fernerkundungsdaten und liefert bei geringem Aufwand zufriedenstellende Ergebnisse. Diese reichen für Anwendungstests im Visualisierungsteil des in dieser Arbeit entwickelnden Verfahrens aus.

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 1 dem blauen, Kanal 2 dem grünen und Kanal 3 dem roten sichtbaren Wellenlängenbereich. Eine Kombination dieser drei Kanäle in der beschriebenen Form der RGB-Farbdarstellung ergibt ein Farbkomposit, das einer Farbfotografie entspricht. In einer Bildbearbeitungssoftware wie ER Mapper⁷ lässt sich die Kanal-kombination mittels vordefinierter Algorithmen in das IHS-System transformieren. Der entstandene Intensitätswert (I) wird nun durch einen der panchromatischen Fernerkundungsdatensätze ersetzt.⁸ Nach dem Ersetzen und der Rücktransformation in das RGB-System ist die Fusion, bis auf Anpassungen in der 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 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

Enviro unterstützt bei der 3D-Darstellung geländebezogene „*Level-of-Detail*“-Algorithmen (LOD). 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)⁹ und die Textur eine Ausdehnung von 2^n Pixeln¹⁰ 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.¹¹

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

⁶ Eine gute Übersicht über die verschiedenen Fusionsmethoden bietet POHL (1996); ein neueres Verfahren ist die Adaptive-Imagefusion-Methode (AIF) die beispielsweise bei STEINOCHER (1997) und FRECH 2001, S. 45 ff. besprochen wird.

⁷ Die IHS-Transformation wurde für vorliegende Arbeit mit ER Mapper 6.3 durchgeführt.

⁸ vgl. ALBERTZ (1991), S. 104 ff.

⁹ typischerweise 1025x1025, 2049x2049, 4097x4097 oder 8193x8193

¹⁰ typischerweise 1024x1024, 2048x2048, 4096x4096 oder 8192x8192

¹¹ die maximale Texturgröße ist normalerweise aus der technischen Referenz der Grafikkarte ersichtlich

Digitalfotografien

Die mit einer Digitalkamera aufgenommenen **Fotografien** wurden im Untersuchungsgebiet gemacht. Dabei handelt es sich um Aufnahmen des Riesenbühlturns, aus denen ein 3D-Modell am Computer generiert wurde (zur Erstellung des 3D-Modells des Riesenbühlturns mit der Software PhotoModeler Lite). Außerdem wurden, ausgehend vom Riesenbühlturn und vom Ort Schluchsee, Landschaftsaufnahmen vom Untersuchungsgebiet gemacht, um dieses „reale“ Bildmaterial mit den erzeugten virtuellen 3D-Ansichten vergleichen zu können.

Als letzter Einsatzzweck wurden mit der Digitalkamera noch Bäume fotografiert. Die hierbei entstandenen Bilder werden als Grundlage zur Erstellung eines Baumtextur-Katalogs herangezogen werden, der im Zusammenhang mit der *Billboard*-Technik Verwendung finden soll.

2.1.2 Vektordaten

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, mit Ausnahme des Triangulations-Netzwerkes (TIN), liegen in diesem Format vor.

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

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Vektordaten im Shapefileformat

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 FOGIS¹².

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

¹² FOGIS ist das forstliche GIS der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg; vgl. HÖHNE (1996)

Die Gebäudedaten aus dem „Amtlichen Liegenschaftskataster“ (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 Geländemodell (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 SILVA (hierzu gehören die Bestandesgeometrien mit den angehängten Attributen, die digitale Standortkarte 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.

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.

Zur Optimierung der 3D-Darstellung werden die Gebäudegrundrissflächen¹³ mit in das TIN eingerechnet. Dazu wird die jeweilige Gebäudefläche mit **einem** Höhenwert belegt. Die mittlere Höhe über NN für jeden Gebäudegrundriss lässt sich dafür aus dem digitalen Geländemodell abfragen. Liegt die mittlere Gebäudehöhe für jeden Grundriss als Attribut vor, können die Geometrien mit ihrer Höhe in das Geländemodell eingerechnet werden. Die Randbereiche zu den jeweiligen Gebäudeflächen werden dabei wiederum interpoliert, so dass diese gleichmäßig, ohne starke Geländekanten, erscheinen. Im konkreten Fall wurden die Grundrissgeometrien in ArcGIS als „Hard Replace Polygon“ mit in das TIN eingerechnet. Dabei wurde das zuvor angelegte Attribut mit den für die Flächenmittelpunkte errechneten Höhenwerten als Höhen-Quelle („Height source“) angegeben. Das bedeutet, dass der Grundrissgeometrie eine einheitliche Höhe zugeordnet wird und dieser Geometriebereich den „ursprünglichen“ Bereich im TIN ersetzt.

2.1.3 Sachdaten und ihr Verwendungszweck

Zur Generierung von einzelbaumbezogenen Waldstrukturen bedarf es einiger Sachinformationen. Die für die vorliegende Arbeit genutzten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Datensatz	Jahr	Bemerkung
Forsteinrichtungswerk	1995	digital
Betriebsinventur (BI)	1990	in aufbereiteter Form

Tabelle 2: Liste der tabellarischen Sachinformationen

¹³ die vorliegenden Gebäudedaten aus dem ALK sind weiter oben in diesem Kapitel beschrieben

Das Forsteinrichtungswerk 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 stratifizierten BI-Daten ist dabei eine Liste erstellt worden, in der, nach Baumart und Alterstufe getrennt, folgende Mittelwerte enthalten sind:

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

2.2 Software

2.2.1 Geografische Informationssysteme

Bei der Auswahl des geeigneten GI-Systems wurde auf die Produktpalette der Firma *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) zurückgegriffen. Diese haben in Deutschland die größte Verbreitung in den Anwendungsbereichen, in denen es um die Verwaltung flächenbezogener Daten geht. Diese Produkte 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 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.

Um grundsätzliche Bedenken gegen den Einsatz der ESRI-Produkte für die der Arbeit zu Grunde liegenden Zielsetzungen auszuschließen, wurde versucht, vor dem Start des Projektes über ein Literaturstudium abzuschätzen, ob diese GIS-Produkte zumindest grundsätzlich für einen Einsatz entsprechend der gestellten Zielsetzung in Frage kommen. Nachdem dies bejaht werden konnte, wurden die Desktop-Versionen, ArcView 3.x und Produkte aus der ArcGIS 8.x-Reihe, für die Untersuchung verwendet.

PC ARC/INFO (aktuell Version 4.0) und ArcInfo Workstation (aktuell Version 8.02) werden in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt. Diese Produkte sind für den modernen Desktop-Einsatz nicht geeignet. So ist PC ARC/INFO standardmäßig nur über die Kommandozeile zu bedienen, und es ist kein 3D-Visualisierungsmodul vorhanden. ArcInfo Workstation ist eigentlich für den Serverbetrieb gedacht und für den Desktopeinsatz zu teuer. Das hierfür optionale 3D-Modul (ARC TIN) eignet sich zudem nur für einfache 3D-Darstellungen - es ist vor allem zur Volumendarstellung der Geländedaten konzipiert worden. ArcInfo (Desktop) ab der Version 8.x bezieht im Punkt 3D-Visualisierung die gleiche optionale Erweiterung mit ein, die auch von ArcView 8.x genutzt wird. Im Folgenden werden von daher nur die Produkte ArcView 3.x und ArcView 8.x verwendet.

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 viele Restrikti-

onen. 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-Analysts (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 und 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 hinzu zu ziehen.

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 doch nun möglich, innerhalb des GIS auch eine Texturierung von senkrechten Flächen vorzunehmen.

Leider sind Programmierungen, die in diesen beiden Programmversionen gemacht werden, 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 zur Folge, dass Programmierungen für beide GIS-Programme 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.

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).

2.2.2 Waldwachstumssimulator

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist die Visualisierung von Waldstrukturen und Waldstrukturentwicklung. Will man flächenbezogene Bestandesdaten in eine **einzelbaumbezogene** Darstellung umwandeln oder Waldentwicklungen aufzeigen/veranschaulichen, so bedarf es dazu 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 zurückgegriffen. Die Auswahl für dieses Projekt ist vor allem auf drei 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 auch Gegenstand der Forschungen eines eng mit vorliegender Arbeit verknüpften Projektes¹⁴. 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 bietet SILVA die Option eines *Batch-Modus*, über den das Programm extern und automatisiert angesteuert werden kann. Der automatisierte Modus hat gegenüber der manuellen Steuerung von SILVA über dessen Benutzeroberfläche einen wesentlichen Vorteil. Dieser ermöglicht, durch die Definition von Steuerdateien nicht nur Einzelbestände, sondern ganze Betriebe auf einmal von SILVA prognostizieren zu lassen, ohne dass hierzu ein Benutzereingriff notwendig ist.

2.2.3 3D-Referenzsystem

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

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

Bei der Auswahl der „externen“ Referenz-Visualisierungsumgebung waren die wichtigsten Prüfkriterien die Realitätsnähe der erzeugten 3D-Szenen sowie die Eignung zur Kombination mit einem GIS. Außerdem sollte aus wirtschaftlichen Überlegungen heraus eine möglichst kostengünstige Software ausgewählt werden. Aus einer Reihe von getesteten Programmen wurde das Programm Enviro aus dem „Virtual Terrain Projekt“ ausgewählt, was folgendermaßen zu begründen ist:

- VTP steht kostenlos zur Verfügung.¹⁵ Viele der anderen getesteten Produkte sind möglicherweise zu teuer, um sie in die Praxis bei Bedarf einer größeren Anzahl an Lizenzen einzuführen.
- Es gibt keine Restriktionen bei der Verwendung des Programms.¹⁶
- Der Quellcode ist verfügbar, und das Programm lässt sich somit an die eigenen Bedürfnisse anpassen. Enviro lässt sich durch den freien SourceCode beliebig erweitern, anpassen und weitergeben.
- Das VTP-eigene Dateiformat ist offengelegt, und es ist von daher einfach, die Geodatenbasis in das VTP-eigene 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 weitgehend realistische Darstellung der Vegetation.

¹⁴ das Projekt „SDSS“, das im Rahmen des BMBF-Forschungsprojektes „Südschwarzwald“ parallel am Inst. für Forstökonomie durchgeführt wurde

¹⁵ Informationen über den Bezug der Software findet man online unter der URL: <http://www.vterrain.org/Request/> (13.03.2003)

¹⁶ vgl. <http://www.vterrain.org/privacy.html#License> (13.03.2003)

- Enviro unterstützt außerdem die Verwendung von 3D-Objekten mit Fototextur. So lässt sich das erstellte Modell des Riesenbühlturns dort auch mit Fototextur darstellen.
- Enviro besticht durch vorgenannte Funktionen in seiner Darstellungsqualität.
- Die erzeugten 3D-Szenen sind interaktiv und „begehrbar“. 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.

Enviro bietet eigentlich alle Vorteile, die zum Erreichen der Projektziele notwendig sind. Diesen stehen einige wenige Nachteile entgegen: fehlende Navigationshilfen (vor allem zum automatisierten Positionieren des Kamerastandorts schon beim Start von Enviro); es können derzeit keine Animationen erzeugt werden (Filmsequenzen, automatisierte „Flüge“ durch die Szene) und - dies ist der gravierendste Nachteil gegenüber einigen anderen Visualisierungspaketen - es ist kein direkter Zugriff auf die Geodaten-Basis im Shapefileformat möglich, was aber durch das offen gelegte Dateiformat von VTP kompensiert werden kann (s.o.). Ebenso ist es durch den verfügbaren Quellcode möglich, die notwendigen Programmierkenntnisse vorausgesetzt, die „fehlenden“ Funktionen zu implementieren. Gerade das Potential das sich aus der Verfügbarkeit des Quellcodes ergibt, macht Enviro im Vergleich zu den anderen vorgestellten Systemen sehr interessant, für künftige, zielgerichtete Weiterentwicklungen.

Enviro

Enviro, Teilprogramm des „Virtual Terrain Projects“ (VTP), ist ein frei verfügbares Programm¹⁷ zur interaktiven 3D-Landschaftvisualisierung, 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 4 links) dient zur Übersicht über die geografische (Welt-)Lage einzelner Landschaftsprojekte. Deren Lage wird in der Weltansicht farblich markiert. In der Weltansicht kann gezoomt (Abbildung 4 rechts), die Erde rotiert und Landschaftsprojekte durch „Anklicken“ ausgewählt und angezeigt werden.

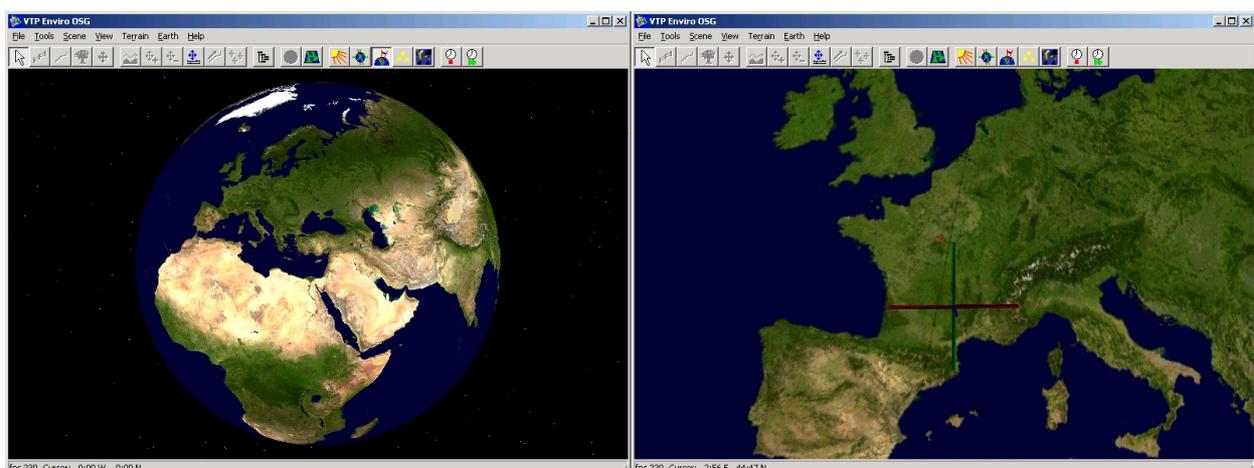


Abb. 4: „Weltansicht“ in Enviro; links Totalansicht, rechts gezoomt

¹⁷ VTP ist OpenSource; nähere Informationen finden sich bei DISCOE 2003

Die 3D-Landschaftsansicht (Abbildung 5) 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 5 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.

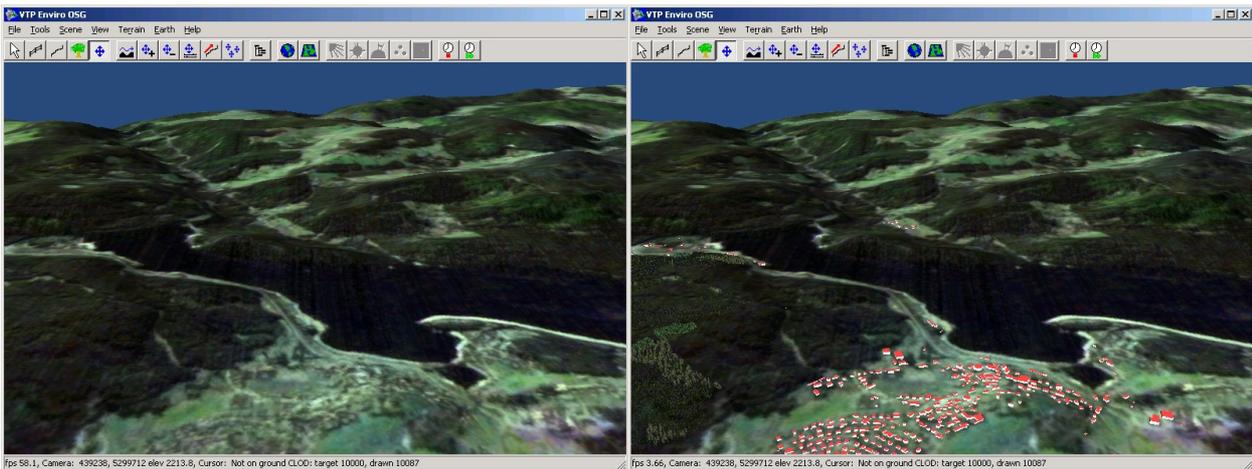


Abb. 5: 3D-Landschaftsansicht in Enviro; links ohne, rechts mit 3D-Landschaftselementen

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 OpenSource und durch das offen gelegte Dateiformat lässt sich Enviro „beliebig“ anpassen, erweitern und auch extern ansteuern.

2.2.4 Programmierwerkzeuge

Die Ansätze, die in der vorliegenden Arbeit entwickelt werden, erfordern auch den Einsatz von Programmierungen. In der Arbeit sind Schnittstellen (*Interfaces*) zwischen dem verwendeten GIS und einem Waldwachstumssimulator bzw. einem 3D-Visualisierungssystem zu entwickeln. Des weiteren ist eine Benutzeroberfläche zur Aufbereitung der GIS-Datenbasis und zur Bedienung der Interfaces zu programmieren. Die vorgestellten GIS bieten zur Erweiterung und Automatisierung dabei unterschiedlich mächtige Programmieroptionen.¹⁸

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

¹⁸ Die verwendeten GIS sind in Kapitel 2.2.1 beschrieben. Hier finden sich auch Ausführungen über die Inkompatibilität in Bezug auf vorhandene Programmierungen bei einem GIS-Wechsel.

bereits bei der Auswahl der GIS-Software beschrieben¹⁹, wurde mit den Arbeiten an diesem Projekt vor Erscheinen von ArcGIS 8.x begonnen. In der Arbeit finden sich AVENUE-Programmierungen, die zur Datenweiterverarbeitung genutzt werden. Diese sind in ihrer Funktion nicht nach ArcGIS überführt worden, da bei dessen Erscheinen die Datenaufbereitung bereits abgeschlossen war.

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 abgewägt werden, da sich jeweils unterschiedliche Vor- und Nachteile ergeben.

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

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. Zu diesem Zweck muss der Programmcode in VB erst kompiliert (übersetzt) werden. Die Einbindung in das GIS geschieht durch das Erstellen von dynamisch gelinkten Bibliotheken („dll“²⁰) 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 so 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, da leicht zu umgehen, nicht sehr 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 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 zumindest theoretisch möglich, eigenständige, vom GIS unabhängige Programme zu erstellen. Dazu können in VB die zur Verfügung gestellten ActiveX-Komponenten²¹ eingebunden werden, die wiederum über die ArcObjects-Programmierbibliothek angesprochen werden können. Der Einwand „theoretisch“ begründet sich in dem Sachverhalt, dass auch für den Einsatz der ActiveX-Kom-

¹⁹ zur GIS-Auswahl vgl. Kapitel 2.2.1

²⁰ dll = dynamik link library

²¹ Die wichtigsten, durch ESRI bereitgestellten ActiveX-Komponenten sind eine 2D- (MapControl) und eine 3D-Komponente (SceneViewerControl).

ponenten 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. Von daher ist hier im Grunde auch von einer Abhängigkeit zu sprechen.

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 erforderliche 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.

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

2.3 Methoden im engeren Sinne

2.3.1 Methode der Stratenbildung

Für die Erzeugung von SILVA-Steuerdateien aus dem GIS heraus sind eine große Anzahl von bestandes- und baumartenbeschreibender Parameter notwendig. Aus den Daten der Forsteinrichtung und 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 ha** (in m² je ha) bzw. **Stammzahl pro ha** (in Stück je ha). In der vorliegenden Arbeit wird dieses Problem durch Integration von Auswertungen der Betriebsinventur (BI)²² gelöst, die durch das parallel laufende SDSS-Projekt 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.²³

²² die BI wird in Baden-Württemberg für gößere staatliche und kommunale Betriebe durchgeführt - so auch 1990 im Untersuchungsgebiet

²³ zur Stratifizierung vgl. HANEWINDEL 2003, S. 27 f. und HANEWINDEL 1998 S. 93ff und 96 ff

Die geografische Lage der BI-Stichprobenpunkte ist über Gauß-Krüger-Koordinaten bekannt. Optimal wäre es, wenn in jede Bestandesfläche mindestens ein BI-Punkt fallen würde. Da die BI-Punkte aber nicht bestandesbezogen ausgewählt werden, sondern über ein unabhängiges, regelmäßiges Stichprobennetz von 200x100 m definiert sind, tritt dieser Fall nicht auf. Von daher wird in der vorliegenden Arbeit der Bezug zwischen Bestandesgeometrie und BI-Punkten über Stratifizierung hergestellt. Sowohl die Bestände als auch die BI-Punkte werden nach den gleichen Kriterien stratifiziert. Dies sind:

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

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)“.²⁴

Sie werden seit 1999 in der Forsteinrichtung von Baden-Württemberg genutzt.²⁵ 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).²⁶

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, ...) 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).**²⁷

Um die **Höhenstufe** jedes BI-Punktes bzw. Bestandes festlegen zu können, muss dessen absolute Höhenlage über NN bestimmt und entsprechend der zonalen Gliederung im Untersuchungsgebiet²⁸ eingestuft werden. Die vertikal-zonale Gliederung umfasst im Untersuchungsgebiet nur die montane und hochmontane Höhenstufe (Trennung bei 1150 m). Für die vorliegende Arbeit kann auf die digi-

²⁴ LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG 1999, S. 1

²⁵ vgl. dazu auch TEUFFEL 1999 und TEUFFEL und KREBS 1999

²⁶ vgl. LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG 1999

²⁷ zur Bildung der Standortseinheitengruppen vgl. HANEWINKEL 2003, S. 27 f.

²⁸ zur zonalen Gliederung im Untersuchungsgebiet vgl. SCHLENKER, MÜLLER ET AL. 1978

tale 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).

2.3.2 Auswahl der Vegetationsdarstellungsform

Zur Visualisierung der Waldvegetation existieren 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 Entwicklung 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 können. Flächenhafte Darstellungen, z.B. als Blockmodell mit durchschnittlicher Bestandeshöhe (Abbildung 15, S. 29) oder als Geländemodell mit eingerechneten Einzelbaumhöhen (Abbildung 17, S. 30), 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 (Abbildung 18, S. 30).

Für die vorliegende Arbeit wird daher eine einzelbaumbasierte Darstellung angestrebt. Hierzu wurden verschiedene, zur einzelbaumbasierten 3D-Visualisierung von Waldstrukturen geeignete Varianten 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 müssen bei gut programmierten Visualisierungsprogrammen zwar nicht alle gleichzeitig dargestellt werden (*Level Of Detail*), aber die Tendenz ist deutlich sichtbar.

Bei den *Performance*-Tests der vorliegenden Arbeit 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-Aufrisszeichnung²⁹ 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 6). Für andere Zielsetzungen wäre der Einsatz möglichst detaillierter Bäume anzustreben (z.B. für Konkurrenzmodelle oder auch, um eine Analyse im

²⁹ SILVA kann maximal 3000 Bäume je Prognoseschritt verwalten; vgl. SEIFERT 1998, S. 13

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.

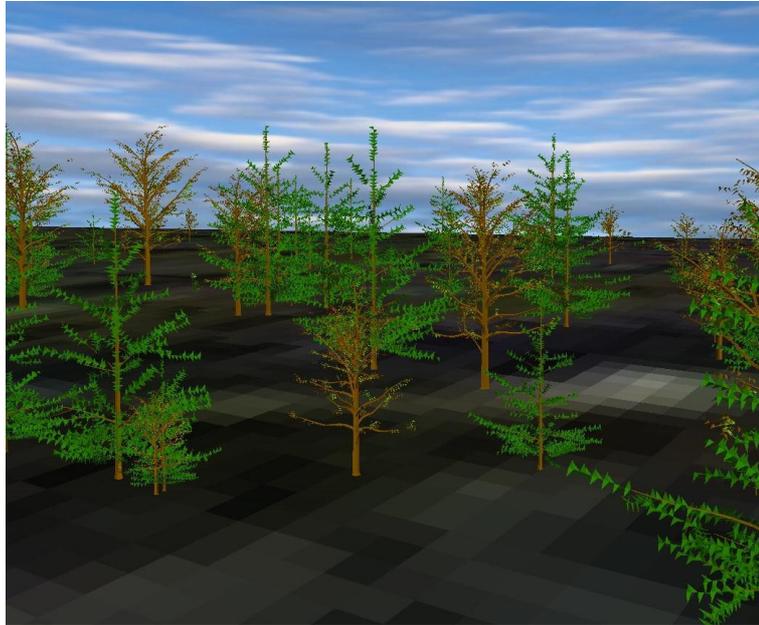


Abb. 6: AMAP-Bäume in der 3D-GIS-Ansicht

Als **Ergebnis** der Abwägungen wird in der vorliegenden Arbeit auf die **Billboard-Technik** 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.

Eine weitere realistisch wirkende Alternative zu 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 sogenannte *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. 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-symmetrische Objekte können auf diese Weise mit sehr wenig Rechenzeit in sehr guter Qualität dargestellt werden.

Ist die *Billboard*-Technik in Programmen nicht realisierbar, so bietet sich als Alternative an, mehrere Rahmen ineinander zu kreuzen (vgl. Abbildung 7) und auf jeden Rahmen das gleiche Bild des gewünschten Objektes zu legen.

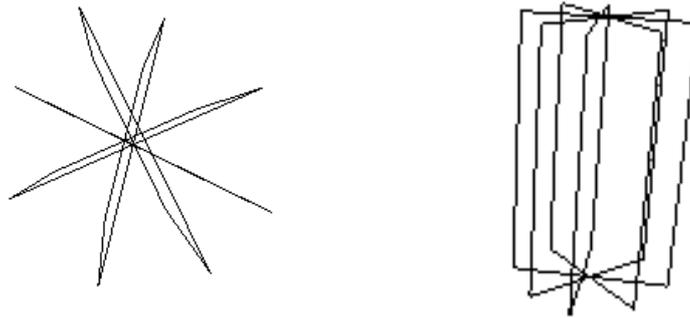


Abb. 7: Verwendung von gekreuzten Rahmen als Vorbereitung zur realistischen 3D-Darstellung von Bäumen; links: Ansicht von oben; rechts: Ansicht aus Beobachtersicht

Allen Texturtechniken ist gemein, dass eine Hintergrundtransparenz bei den Objektphotos verwendet wird. Nur dadurch wird eine realistische Darstellung erreicht (vgl. Abbildung 8).

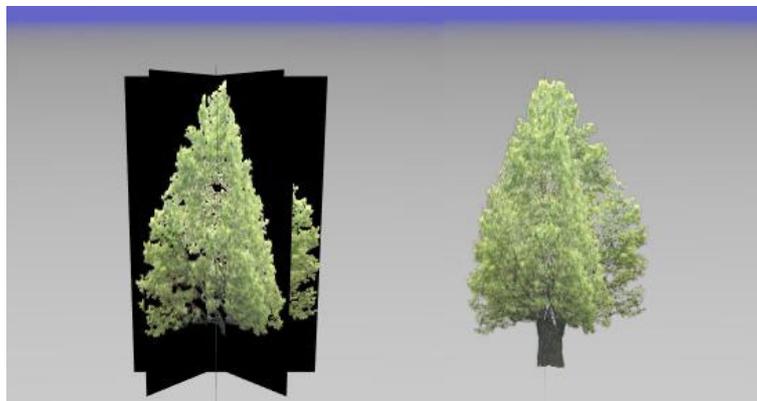


Abb. 8: Texturdarstellung von 3D-Bäumen auf gekreuzten Rahmen; links: ohne Hintergrundtransparenz; rechts: mit Hintergrundtransparenz

2.3.3 MultiPatches

Eine Sonderform innerhalb der Geometrieklassen bilden die MultiPatches.

„The MultiPatch coclass is a high-level three-dimensional Geometry shape with linear edges. The shape of a MultiPatch is defined as a collection of surface patches. Surface patches are geometries which, when added to a MultiPatch, define a three-dimensional surface. TriangleFan, TriangleStrip, or Ring objects can all be surface patches. A MultiPatch can consist of one or more objects, using any combination of the named surface patch coclasses.“³⁰

„A Multipatch is a type of geometry used to provide a boundary representation for 3D features. Multipatches can be used to represent simple things such as cylinders, cones, and spheres, as well as more complex objects such as buildings. [...] By default, multipatches are rendered as a collection of flat shaded faces, but it's possible to place images on them and to draw them using smooth shading.“³¹

Diese eignen sich für die Darstellung von Objekten in der dritten Dimension.

³⁰ siehe ESRI 2001a, S. 1059

³¹ siehe ESRI 2001b, S. 22

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. 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 (allererste angegebene 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 der 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 so möglich, auch Texturkoordinaten mit diesem M-Wert zu speichern. Diese Eigenschaft ist die entscheidende für einen Einsatz von MultiPatches in der vorliegenden Arbeit.

3. Ergebnis

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

Das Potential und die Bedeutung, die GIS als Träger der Datenbasis zukommt, ist im Forstfachbereich und im Bereich der Landschaftsplanung hinreichend erkannt und führt dazu, dass in vielen Projekten GIS in dieser Funktion bereits erprobt und eingesetzt worden ist. 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 diesen 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 weiter zu führen 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 Potential. 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 Lösungen, die in dieser Arbeit vorgestellt werden. Um das Potential dieses Lösungsansatzes evaluieren zu können, wird ein direkter Vergleich mit einem externen 3D-Visualisierungsprogramm hergestellt, das mit den bisherigen in der forstlichen Praxis verwendeten 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

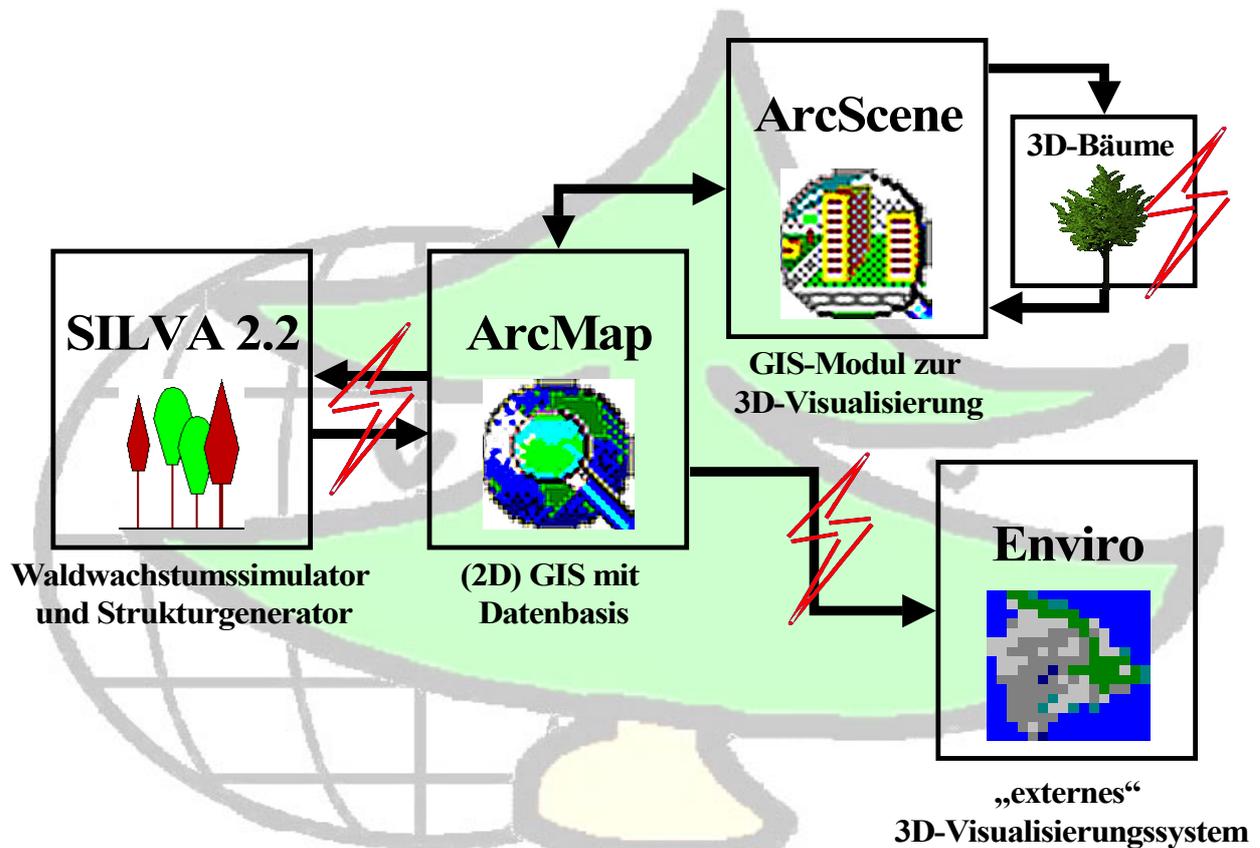


Abb. 9: Modulares Konzept des Lösungsansatzes VisTree3D; Bereiche mit eigener Programmierung durch roten Blitz gekennzeichnet

Der Lösungsansatz versucht, in einem modularen Konzept verschiedene Softwareprogramme zu einem System zu verbinden. Abbildung 9 zeigt die vier Softwarepakete, die für den Lösungsansatz herangezogen wurden.

Zentrales Element ist dabei die GIS-Software ArcGIS. 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).

Für den GIS-internen Lösungsansatz wird die 3D-Visualisierung im GIS mit dem optionalen Modul **ArcScene** (Kapitel 2.2.1) durchgeführt. Bei diesem Lösungsansatz kann direkt auf die existierende (vgl. Kapitel 2.1) und die neu erstellte (vgl. Kapitel 3.2) Geodatenbasis zurückgegriffen werden.

Parallel dazu wurde als externe 3D-Visualisierungsumgebung das Programm **Enviro** aus dem „Virtual Terrain Project“ verwendet (Kapitel 2.2.3). 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 3.5).

Einpassen der Module in einen integrativen Lösungsansatz

Das Programmieren von Schnittstellen ermöglicht das weitgehend automatisierte Zusammenspiel der einzelnen Module, so dass (fast) 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, die zur Integration der Module in die Gesamtlösung notwendig sind, sollen nachfolgend skizziert und ihr „Ineinandergreifen“ erläutert werden. Dabei lassen sich vier Hauptarbeitsschritte benennen:

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 das 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 3.1)

Genauer können die Schritte so beschrieben werden:

- a) Ausgangslage ist GIS als Träger des flächigen IST-Zustandes. Datenbasis ist die aktuellste Forsteinrichtung (digitale Bestandskarte und digitales Forsteinrichtungswerk) sowie die digitale Standortkarte, Geländemodell und dessen Ableitungsprodukte und Daten aus der Betriebsinventur 1990 => Kapitel 3.1
- b) Erzeugen von Steuerdateien innerhalb von ArcGIS aus der bestehenden Geodatenbasis heraus (über Programmierung) => Kapitel 3.1
- 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-Format => Kapitel 3.1
- d) Reimport der SILVA-Prognoseergebnisse in das GIS: GIS ist Träger der IST- und prognostizierten Einzelbaumstruktur und flächenbezogener Prognoseergebnisse. Rückführung der Prognoseergebnisse in GIS mit **Duplikation** der einzelbaumbasierten Ergebnisse auf Bestandesfläche (Resultat: Kombination der Flächeninformation des GIS mit der „räumlich begrenzten“ aber hoch-aufgelösten einzelbaumbasierten Stukturerzeugung und Wachstumssimulation) => Kapitel 3.2

2. (SILVA =>) ArcMap => ArcScene

Der rückgeführte SILVA-Output kann im GIS direkt in 2D genutzt und dargestellt werden. Für eine 3D-Visualisierung sind diese aufzubereiten: so müssen die einzelbaumbasierten Baumlisten, die in SILVA in einem schematischen Blockmodell erstellt werden, in eine den Bestandesgeometrien ent-

sprechende Form überführt werden. Eine Aufgabe, die ebenfalls mittels eines neuen Interfaces gelöst wurde (vgl. Kapitel 3.3).

3. ArcScene => 3D-Bäume => ArcScene

Die Darstellung der 3D-Bäume in großer Anzahl warf hier zunächst Probleme auf, die durch die kreative Implementierung einer geeigneten einzelbaumbasierten Visualisierungstechnik in ArcScene gelöst werden konnte (Kapitel 3.3: *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 3.5).

Optische Aufwertung der 3D-Landschaftsszenen

Einen notwendigen Sachverhalt des erarbeiteten Lösungsansatzes VisTree3D stellt die Frage nach dem darzustellenden Inhalt in 3D-Szenen dar. Ein Bereich, in dem für diesen Lösungsansatz bereits bekannte Techniken eingesetzt werden, 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 sachlich haltbar, verständlich und glaubwürdig zu veranschaulichen (vgl. Kapitel 1.). Zur Visualisierung des Objektes Wald werden unterschiedliche räumliche Objekte / thematische Ebenen einbezogen (Kapitel 3.4 und 3.5). Dabei handelt es sich um die eigentliche Vegetationsebene, eine Geländeebene (Relief) und deren „Oberflächendarstellung“ (Farbe, Textur durch Luft-/Satellitenbild), andere physisch sichtbare Objekte wie Straßen, Stromleitungsnetz und Bauten (Häuser, Brücken, Aussichtstürme, ...) sowie um physisch nicht sichtbare Objekte wie Grenzen (Verwaltungs-, Besitz-, ...) 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.

3.1 Erzeugung der SILVA-Steuerdateien innerhalb des GIS

Für die Erzeugung der SILVA-Steuerdateien aus dem GIS heraus ist eine Benutzeroberfläche entwickelt worden, die auf eine Minimal-Eingabe durch den Benutzer optimiert wurde. Es müssen lediglich die Parameter eingestellt werden, die sich nicht aus der Geo-Datenbasis ableiten lassen. In Abbildung 10 ist der Hauptdialog zur SILVA-Steuerung zu sehen.

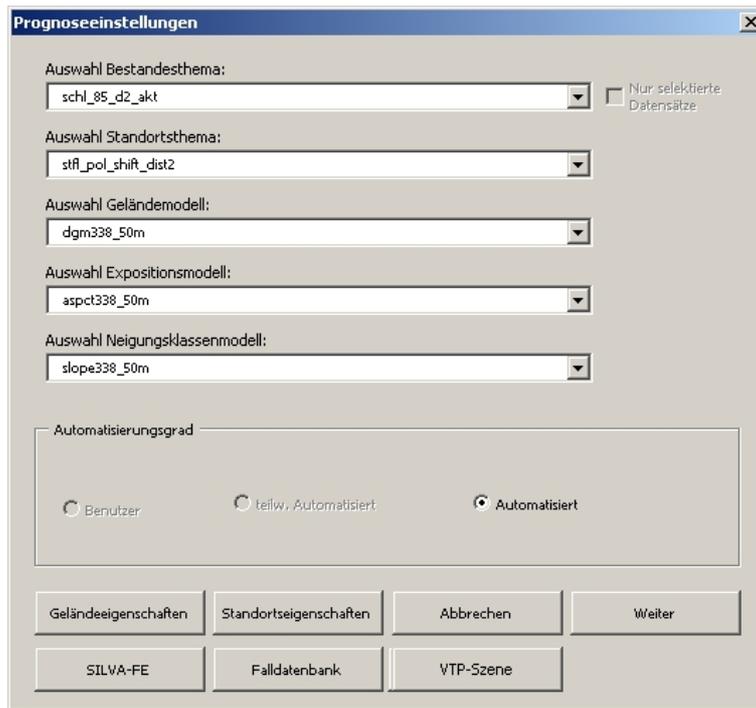


Abb. 10: Hauptdialog zur SILVA-Steuerung

In ihm wird die Auswahl der Geodaten vorgenommen, welche die zur Erstellung der SILVA Steuerdateien benötigten Informationen enthalten. Es sind dies: das aktuelle Bestandesthema (Herkunft z.B. aus FOGIS), die digitale Standortkarte, das digitale Geländemodell und dessen Ableitungsprodukte „Exposition“ und „Hangneigung“.



Abb. 11: Einstelldialog für die Standortparameter

Die verschiedenen Schalter im unteren Teil der Abbildung 10 werden erst aktiviert, wenn die jeweils benötigten Themen ausgewählt worden sind. Zur Berechnung der Geländeeigenschaften müssen so z. B. mindestens das Bestandesthema und das digitale Geländemodell (DGM) ausgewählt sein. Sind zusätzlich die Ableitungsprodukte des DGM ausgewählt, werden diese ebenfalls bei Betätigung des

Schalters „Geländeeigenschaften“ mit berücksichtigt. Die Parameter „Höhe über NN“ und gegebenenfalls „Exposition“ (°) und „Geländeneigung“ (°) werden in das Bestandesthema eingetragen.

Die Standortparameter werden aus der digitalen Standortskarte abgeleitet. Nach Wahl des Schalters „Standortseigenschaften“ öffnet sich ein Unterdialog (Abbildung 11). In diesem wird eine Parameterdatei von der Festplatte geladen, die für jeden Bodentyp eine Einstufung des Standortes zulässt. Die Parameterdatei ist in diesem Dialog auch direkt editierbar. Für jeden Einzelbestand wird der flächenmäßig größte Standortstyp bestimmt. Für diesen werden die Parameter „Bodenfrische“, „Nährstoffe“ und „Bewertung des Standorts“ entsprechend der vorgenannten Parameterdaten ermittelt und als Attribute an das Bestandesthema angehängt.

Nach Auswahl des Schalters „Weiter“ wird ein weiterer Unterdialog (Abbildung 12) geöffnet, in dem solche für die SILVA-Prognose notwendigen Parameter eingestellt werden, die nicht aus der Geodatenbasis abgeleitet werden können.

Abb. 12: Parametereinstellung für die automatisierte SILVA-Fortschreibung

Auch die hier eingestellten Werte werden im Bestandes-Geothema gespeichert. Nach Auswahl des Schalters „SILVA-FE“ im Dialog Abbildung 10 werden die noch nicht erfassten baumartenspezifischen Werte (wie Mitteldurchmesser und Mittelhöhe) aus dem digitalisierten FE-Werk abgegriffen und mit den zuvor im Bestandesthema gespeicherten Werten in SILVA-Steuerdateien gespeichert. Die Prognose wird nach bestätigter Abfrage (Abbildung 13) automatisch gestartet. Die notwendigen Skripte sind damit erstellt und die Schnittstelle ist funktionell fertig gestellt.

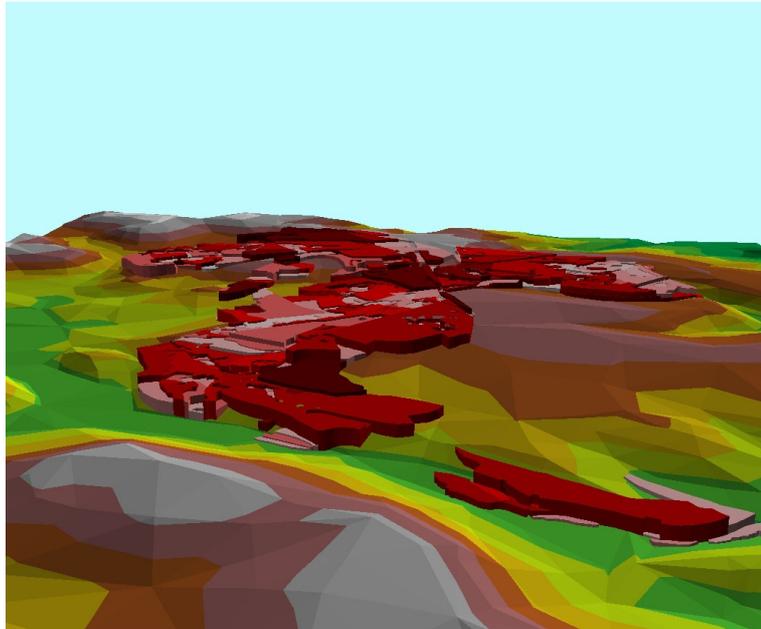


Abb. 15: 3D-Darstellung – Bestände über Mittelhöhe extrudiert; Volumen über Rotton kodiert (je dunkler der Rotton, desto höher das Volumen)

Auch die rückgeführten Baumlisten lassen sich innerhalb des GIS in 2D (Abbildung 14) und in 3D darstellen. Die über die Baumhöhe *extrudierten* Einzelbäume sind entsprechend den in den

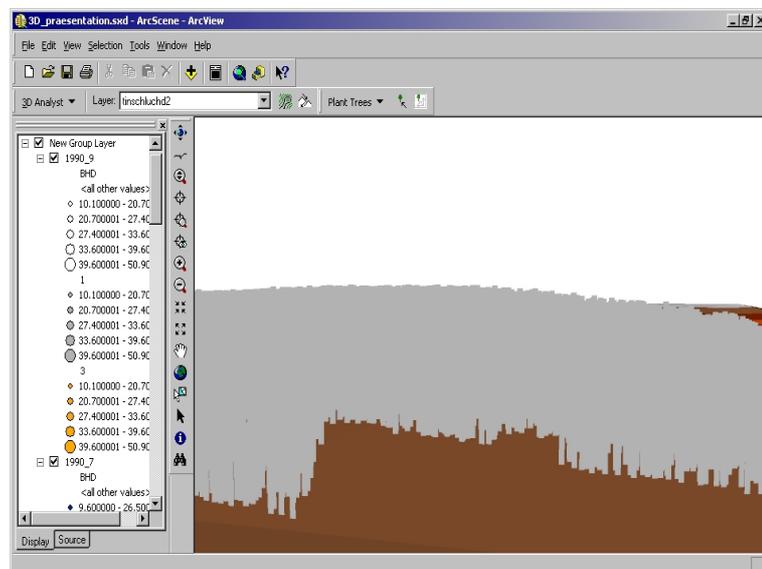


Abb. 16: 3D-Darstellung der Bestände auf Einzelbaumebene. Die Einzelbäume sind entsprechend ihrer Höhe extrudiert und entsprechen der Richtlinien der Forsteinrichtung koloriert.

Verwaltungsvorschriften für die Forsteinrichtung Baden-Württemberg genannten Farbkodierungen dargestellt (Fichte = grau, Tanne = dunkelrosa, usw.). Wie aus Abbildung 16 ersichtlich, ist die Trennung der Einzelbäume in der Ansicht fast nicht möglich.

Ein besseres visuelles Ergebnis erhält man durch Integration der Einzelbaumobjekte in das vorhandene Geländemodell. Dazu wird die Gesamthöhe der Einzelbäume über NN durch Addition der aus dem Gelände ermittelten Höhe des Baumstandpunktes und der Baumhöhe bestimmt. Anschließend lassen sich die Punktoobjekte in Form von Höheninformationen in das Geländemodell (TIN) als

Messpunkte einrechnen. Das Ergebnis ist ein entsprechend der Baumhöhen überhöhtes Geländemodell (Abbildung 17).

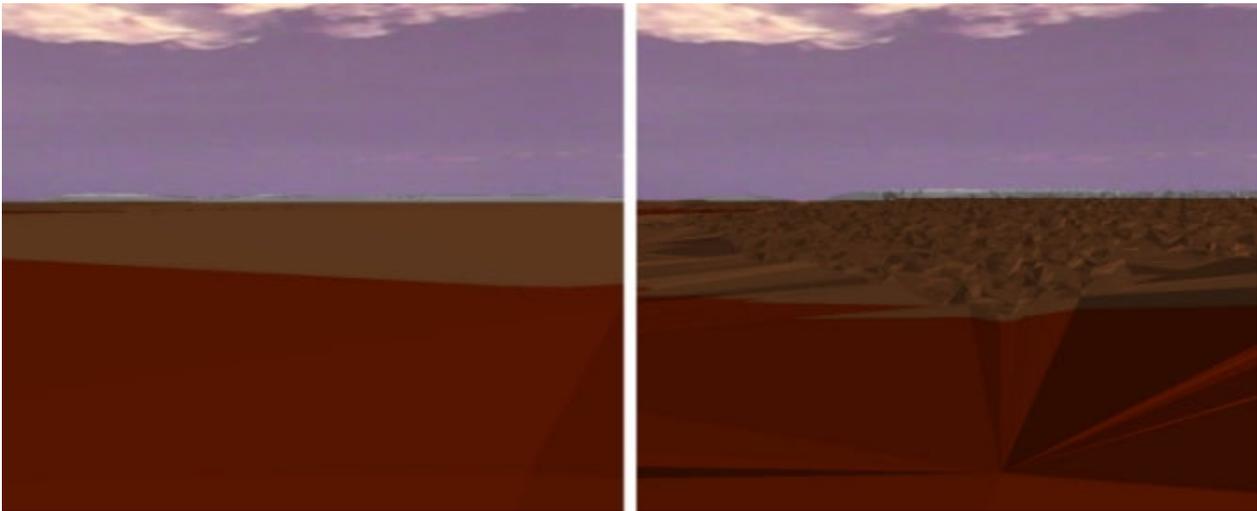


Abb. 17: TIN links ohne, rechts mit eingerechneter Vegetationshöhe

Optisch aufgewertet wird das Geländemodell durch die Überlagerung mit einem hoch aufgelösten Satellitenbild, einem Luftbild oder einem Fusionsbild (vgl. Zwischenbericht 2000). In Abbildung 18 wird das „Vegetations-Geländemodell“ mit einem Fusionsbild aus Landsat-TM und IRS-1c-Pan überlagert. Um die Darstellungsqualität der Bestandesvegetation realistisch erscheinen zu lassen, wurden im Randbereich der Bestände *Billboard*-Bäume³² eingesetzt.



Abb. 18: TIN mit eingerechneter Vegetationshöhe, überlagertem Fusionsbild und *Billboard*-Bäumen im Vordergrund

Eine wesentlich höhere Abbildungsqualität erhält man bei ausschließlicher Verwendung von *Billboards* (Abbildung 19).

³² vgl. Kapitel 2.3.2

3D-Darstellung der Vegetation mittels X-Billboards (gelöst durch Multipatches)

Eine Erweiterung für *Billboard*-Bäume von ArcGIS ist in der standardmäßigen Installation des „ArcObjects Developer Kit“ enthalten³³. 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:

Alle Einzelbäume werden als Grafikelemente erzeugt und in einem Grafikcontainer der jeweiligen Projektdatei gespeichert. Im Vergleich zur Speicherung als Shapefile birgt dies Nachteile sowohl bei der Speicherung (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), der Ladegeschwindigkeit der Projektdatei (da alle Einzelbäume gleich beim Start wiederhergestellt werden müssen), in der Darstellungsgeschwindigkeit (alle Einzelbäume werden unabhängig vom Beobachterstandort immer im Speicher gehalten) 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.

Von daher wurde in der vorliegenden Arbeit ein gänzlich neuer Ansatz entwickelt. Bei diesem werden die *Billboards* nicht als Grafikelemente erzeugt, sondern als Geodatensätze (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. Die ins GIS (re-)importierten Baumlisten liegen als Punkte-Shapefile vor³⁴. Eine der wichtigsten in den Baumlisten enthaltenen Informationen ist schon beim Reimport der Baumlisten in Punktegeometrien umgesetzt worden - die Stammfußkoordinaten der Einzelbäume im Bestand. 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 zuordnen 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 [Baumhöhe - 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

³³ 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

³⁴ Reimport der Baumlisten vgl. Kapitel 3.2

Polygone senkrecht auf der Erdoberfläche stehende Objekte repräsentieren - die Textur erscheint komplett schwarz.

Die Lösung dieses Problems wurde durch die Einbeziehung des (eher unbekanntes) Geometrietyps „MultiPatch“³⁵ erzielt. MultiPatches lassen sich innerhalb des GIS nur durch Programmierung generieren. Multipatches können als *X-Billboard*³⁶ verwendet werden, da diese die Fähigkeit besitzen, zusammen mit den Raumkoordinaten (X, Y und Z) jedes Geometriepunktes noch weitere Werte speichern zu können. Beim Geometrietyp Polygon (bzw. PolygonZ) ist dies nicht möglich. Weiterhin nutzt der Geometrietyp MultiPatch 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.

Um nun die *X-Billboards* im GIS durch MultiPatches nachzubilden, wurde ein VBA-Makro programmiert, das die Attributwerte Baumhöhe und Kronenbreite in *X-Billboard*-Rahmen 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 große Vorteil hierbei ist, dass nicht mehrere Datensätze „händisch“ ausgewählt werden müssen, um alle zu einem *X-Billboard* gehörenden Flächen zu erfassen und zu bearbeiten.

Eine Zuweisung der Texturkoordinaten der Bildtexturen zu den *X-Billboard*-Rahmen ist recht einfach 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, wird von daher 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. Die Texturkoordinaten werden gemeinsam mit den Rahmeneckpunkten gespeichert: in der sogenannten M-Komponente des MultiPatches. 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.

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 - der 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 19 zeigt eine resultierende 3D-Szene unter Verwendung der zuvor beschriebenen *X-Billboard*-Technik, die innerhalb der GIS-Umgebung neu ist.

³⁵ Zur Definition von MultiPatches vgl. Kapitel 2.3.3

³⁶ vgl. Kapitel 2.3.2

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 räumlich zu den durch solche Abfragen gefundenen Beständen navigiert werden.

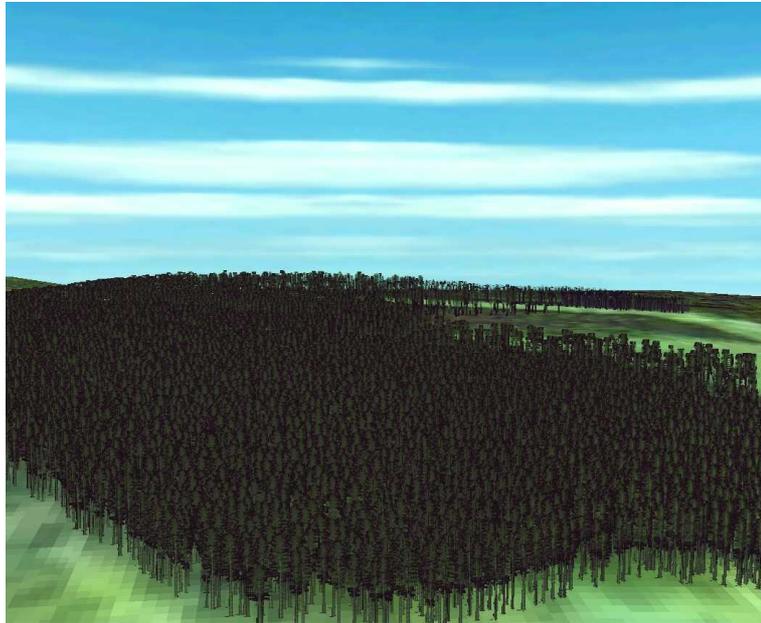


Abb. 19: Vegetation repräsentiert durch *Billboards*

3.4 Aufbereitung der 3D-Visualisierung mit weiteren markanten anthropogenen Objekten

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 aufgenommen. Dabei handelt es sich um das komplette Wegenetz, Gebäudeblockmodelle (Abbildung 20) und ein Modell des Riesenbühlturnms als markanten Geländepunkt (Abbildung 21). Die Gebäude wurden auf Grundlage von ALK-Daten erstellt, die freundlicherweise vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg zur Verfügung gestellt wurden. Die 3D-Szene lässt sich mit beliebigen 3D-Modellen - die in einem vom GIS lesbaren CAD-Austauschformat (dxf oder dwg) vorliegen müssen - aufbereiten. So finden sich im Internet eine Vielzahl von kostenfreien Modellen. Stellvertretend für diese wurde ein 3D-Modell eines Zeppelins³⁷ mit in die 3D-GIS-Szene eingebunden (Abbildung 22).

Das Modell des Riesenbühlturnms wurde mit dem Programm „Photomodeler Lite“³⁸ aus selbst erstellten Digitalfotografien des Originalturmes erstellt.

³⁷ Quelle des Zeppelins online unter der URL: <<http://www.3dcafe.com/models/blimp1.zip>> (03.04.2003)

³⁸ vgl. Online unter der URL: <<http://www.photomodeler.com/Lite/>> (30.05.2003)

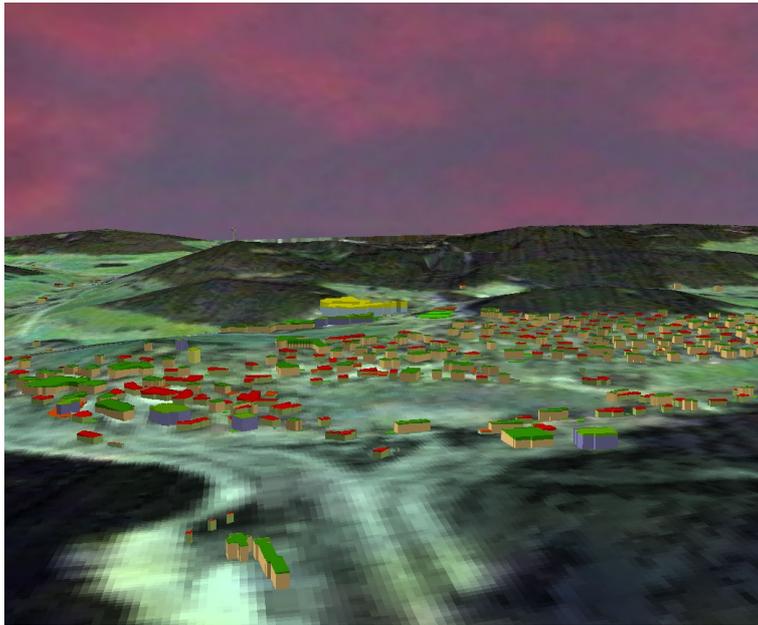


Abb. 20: Blockmodell der Stadt Schluchsee erstellt aus ALK-Grunddaten



Abb. 21: 3D-Modell des Riesenbühlerturms



Abb. 22: 3D-Modell eines Zeppelins in der 3D-GIS-Szene

3.5 3D-Visualisierung mit Enviro

Um das Potential des im vorangegangenen Kapitel vorgestellten „GIS-internen“ Lösungsansatzes evaluieren zu können, wird ein direkter Vergleich mit einem externen 3D-Visualisierungsprogramm hergestellt, das mit den bisherigen in der forstlichen Praxis verwendeten 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. Hierzu wird Enviro, ein Teilprogramm des „*Virtual Terrain Projects*“ (vgl. Kapitel 2.2.3), herangezogen. Im aktuellen Projekt wurde ein Interface geschrieben, das es ermöglicht, die GIS-Datenbasis in die VTP-eigenen Dateiformate zu konvertieren (Abbildung 23).

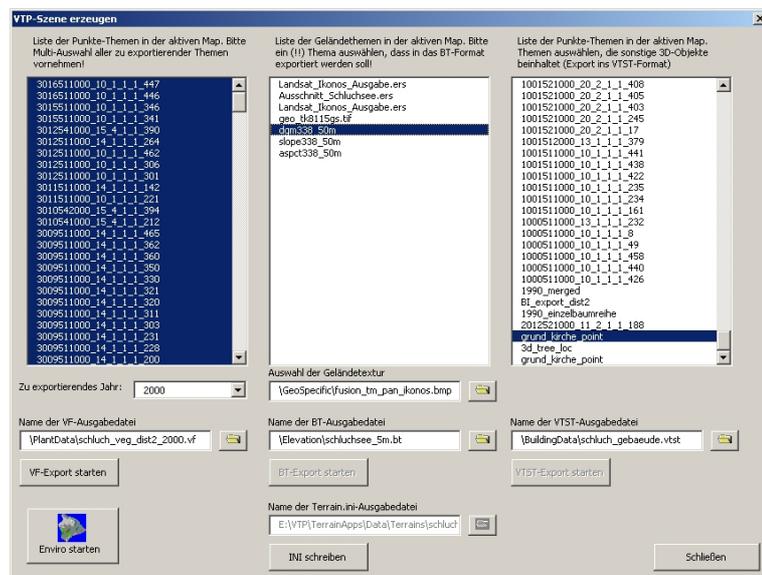


Abb. 23: Dialog zum Export der Geodaten-Basis in die VTP-eigenen Dateiformate

Nachdem die Datenbasis konvertiert ist, kann diese, automatisiert über das Interface, mit Enviro angezeigt werden. Abbildung 24 gibt einen Überblick über das Untersuchungsgebiet (Schluchsee) dargestellt mit Enviro. Auch in Enviro kann die Vegetation über *Billboards* repräsentiert werden (Abbildung 25) und zusätzliche 3D-Objekte mit eingebunden werden (Abbildung 25). Enviro unterstützt hierbei, im Gegensatz zum 3D-GIS, auch Fototexturen (Abbildung 26).

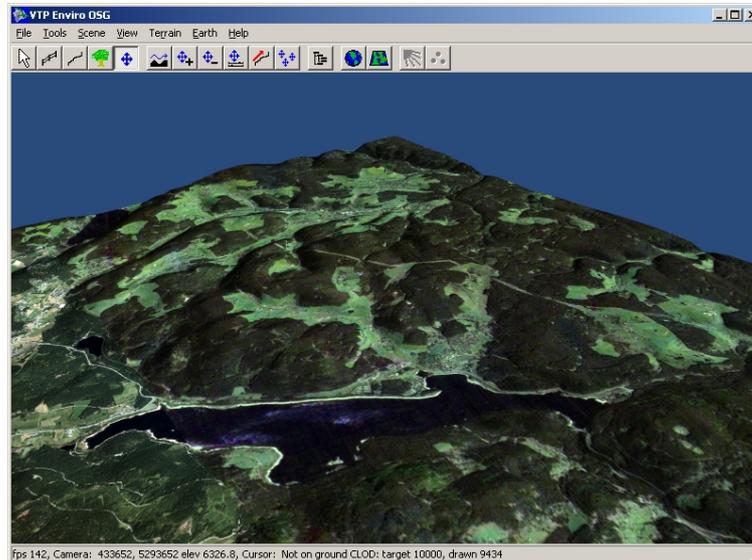


Abb. 24: Darstellung des Untersuchungsgebietes in VTP

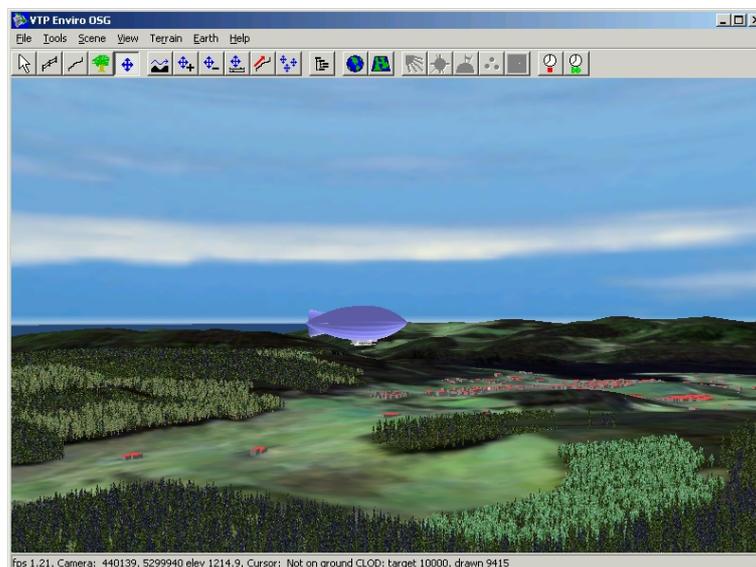


Abb. 25: 3D-Modelle in Enviro

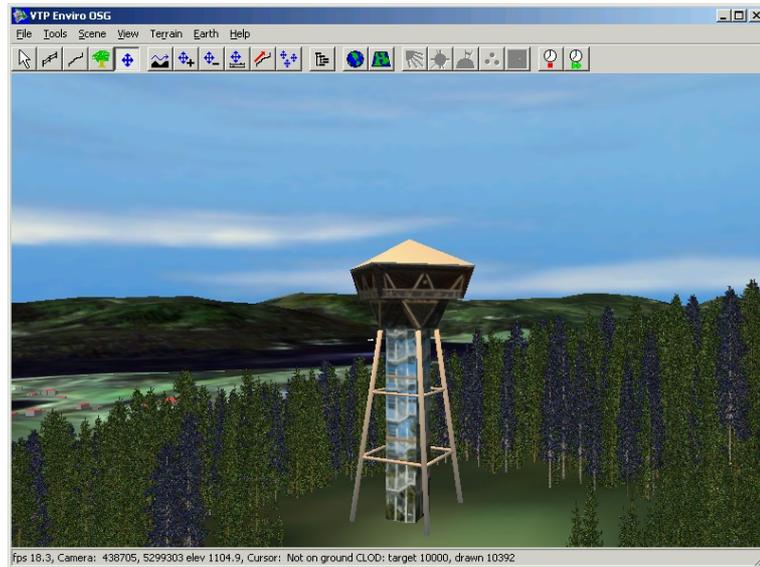


Abb. 26: Darstellung des Riesenbühlturnes mit FotoTextur innerhalb von VTP

3.6 Gegenüberstellung der beiden Lösungsansätze zur GIS-gestützten 3D-Visualisierung

In dem Projekt 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 Einzelbaumbasis - mit den aktuell zur Verfügung stehenden Werkzeugen sehr gut möglich ist. So können nunmehr sehr gute Visualisierungen innerhalb einer „Standard“-GIS-Umgebung (ArcScene) erzeugt werden - dies durch die Übertragung der *Billboard*-technik (Kapitel 2.3.2) in das 3D-GIS. Durch diese Übertragung lassen sich *Billboards* nun auf Grundlage der aus SILVA „reimportierten“ Shapefiles (Kapitel 3.2) erzeugen. Dabei können auch die jeweiligen Attributwerte, wie Art, Höhe und BHD, berücksichtigt werden.

Die beiden parallel entwickelten Lösungsansätze, eine „reine“ GIS-Lösung und eine GIS-basierte „externe“ Lösung, sind mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen zu bewerten.

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 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 Simulationsprogrammen bzw. Visualisierungsmodulen. 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.

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 werden auch besser in 2D visualisiert. Bei der integrierten GIS-Lösung ist so für die verschiedenen Perspektiven, die sich aus unterschiedlichen Zielsetzungen ergeben, kein Applikationswechsel notwendig.

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 diese sich mit dessen Funktionen flexibel handhaben (Kronenansatz, -breite, Mortalität, Bonität mit wechselnden Attribut-Feldnamen). 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 Fileformat 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 werden die unterschiedlichen Layer mit der Vegetationsentwicklung gleichzeitig vorgehalten - man kann zwischen den verschiedenen Jahreslayern einfach hin und her schalten. Dies ist möglich, ohne den Betrachtungsstandort verlassen zu müssen und/oder ihn wieder aufsuchen zu müssen. In externen Visualisierungs-Programmen kann demgegenüber oft nur ein Layer je thematischer Ebene geladen werden. Dies trifft auch auf Enviro zu. Hier ist ein Neustart der Applikation notwendig, um den Vegetationslayer „auszutauschen“. Beim 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 wiederherstellen 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“³⁹ 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 dem „*Animation-Builder*“⁴⁰). 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 27).

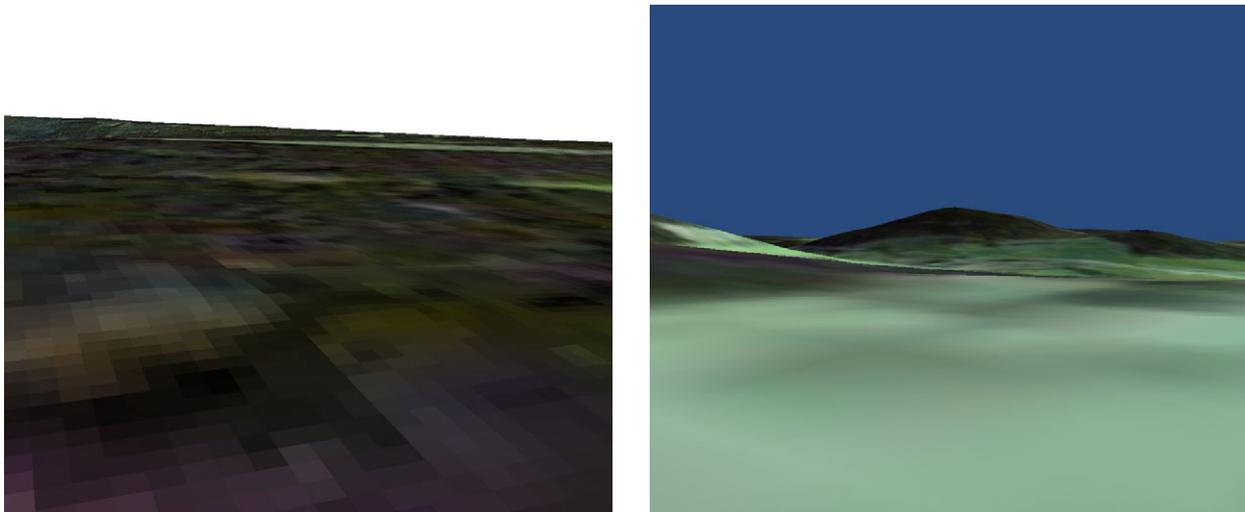


Abb. 27: Vergleich der Darstellungsqualität des Geländetexturbildes; links: im GIS; rechts: in Enviro

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

³⁹ die Erweiterung findet sich unter der URL: <<http://arcobjectsonline.esri.com/ArcObjectsOnline/Samples/3D%20Analyst/3D%20Visualization/FlyTool/FlyTool.htm>> (10.03.2003)

⁴⁰ Der AnimationBuilder wird seit der Version 8.2 standardmäßig mit ArcScene ausgeliefert.

spezielle Algorithmen integriert, die die Verwendung von *Billboards* optimieren. 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 28).

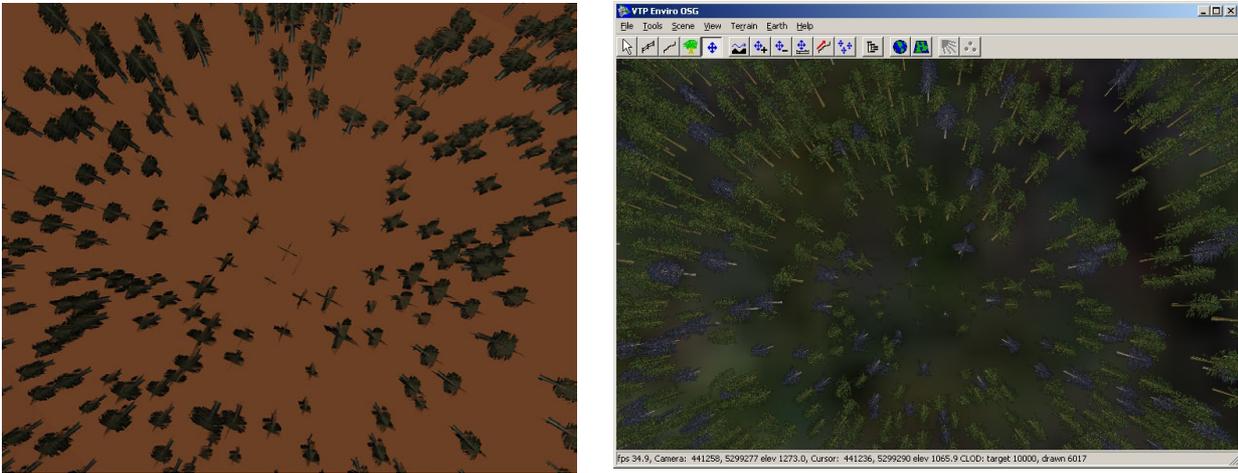


Abb. 28: Blick von oben auf die *Billboard*-Bäume im GIS (links) und in Enviro (rechts).

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 (vgl. Kapitel 2.3.3). 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 von sehr 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“ Spiele-Grafikkarte, 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 Spielegrafikkarte der Oberklasse (ATI Radeon 9700 Pro mit 128 MB Grafikspeicher) nur maximal 200000 Einzelbäume dargestellt werden konnten. Diese wurden dann aber sehr gut dargestellt, und in der 3D-Szene konnte flüssig navigiert werden. Überstieg die Baumanzahl diese Grenze, so kam es zu einem Programmabsturz von ArcScene. Demgegenüber konnten mit einer älteren OpenGL-Karte (3DLabs Oxygen GVX1 mit 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 ist, viel leistungsschwächer ist als der mit der Spielekarte. Als Folge daraus ergibt sich, dass der Aufbau und die Navigation in der ArcScene-Szene nur sehr langsam verläuft. 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, statt, 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 von daher 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 absoluten „Programmierprofi“ 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 liegt 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 hardwareunterstützende OpenGL-Grafikkarte kostet mindestens 900 €.

Immerhin bietet sich für eine kostensparende 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.

4. Fazit für die Praxis

Hochdetaillierte Visualisierungen in Form von interaktiven Landschaftsdarstellungen können erheblich zu Akzeptanz und Verständnis von komplexen Zusammenhängen und erforderlichen forstlichen Maßnahmen führen. **Durch GIS und neue digitale Medien werden bestehende Methoden der waldbezogenen Planung sinnvoll ergänzt**, weil nahezu alle verfügbaren Daten eines Raumes in die Planung mit einbezogen, dargestellt und verwaltet werden können und durch neue Analyse- und Präsentationsverfahren eine neue Sichtweise der Umwelt möglich wird. Hierdurch wird auch eine umfassende Bürgerbeteiligung und eine bessere Kommunikation ermöglicht.

Durch das vorgestellte Projekt werden Methoden bereitgestellt, die zum Aufbau eines leistungsfähigen professionellen Werkzeuges zur 3D-Visualisierung von Waldstrukturen und deren Dynamik genutzt werden können. Diese müssen je nach gewähltem Anwendungszweck - interne Forstplanung, forstliche partizipative Planung oder waldbezogene Umweltbildung - unterschiedlichen Ansprüchen genügen. Für die „interne“ Forstplanung sind die technischen Ansprüche 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.

Bei der anvisierten Darstellung von Waldstrukturen und deren Dynamik müssen Landschaftsausschnitte zusammenhängend und realistisch dargestellt werden. Eine fotoreale Abbildung bei der Computer-basierten Darstellung von (Wald-)Landschaften ist jedoch nur bedingt möglich. Um dennoch die Realitätsnähe des hier empfohlenen Verfahrens nach dem jetzigen Stand der Technik soweit wie möglich zu optimieren, findet eine Konzentration auf dreidimensionale Darstellungen statt, die (3D-)Visualisierungen von vorausberechneten Szenarien wiedergeben. Inhaltlich sollen diese dabei einen Möglichkeitsraum für zukünftige Entwicklungen darstellen, das heißt, sie geben nicht die zukünftige Realität vollständig wieder, sondern sollen über die Darstellung von möglichen Szenarien Problemfelder aufzeigen und „visuell (be)greifbar“ machen.

Die größte Schwierigkeit einer realistischen Einzelbaum-basierten Walddarstellung ist die geeignete Technik zur 3D-Darstellung der Einzelbäume. Hierfür stellt die *Billboard*-Technik den zur Zeit 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.

Etwas ausführlicher kann die Gegenüberstellung der „GIS-internen Lösung“ und der „Einbeziehung von Enviro“ wie folgt beschrieben werden: 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 25 und 26 (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 Einzelbaumbene 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.

Es ist zu erwarten, dass die meisten der angesprochenen Probleme durch zukünftige Hardwareentwicklungen gelöst werden. Zudem ist abzusehen, dass bei dem verwendeten GIS-Programm Optimierungen in den neuen Versionen realisiert werden. So sollen, laut Herstellerankündigung, zukünftige Versionen von ArcScene beispielsweise eine verbesserte Importunterstützung von extern erzeugten 3D-Modellen aufweisen. Besonders wichtig wäre aber, dass in dem 3D-GIS bewährte Algorithmen (wie LOD) zur effizienten Darstellung einer großen Anzahl an Einzelobjekten implementiert werden.

Momentan scheint eine Kombination der GIS-internen und der GIS-externen 3D-Visualisierung zur Erreichung aller Anwendungsziele sinnvoll zu sein. Dabei ist je nach Anwendungszweck zu entscheiden, welches Visualisierungsmodul zu verwenden ist. Sowohl für die interne Planung als auch für den Bereich der partizipativen Planung ist ein Expertensystem 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 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. 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.

Literatur

- ALBERTZ, J. (1991): Grundlage der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern - Eine Einführung in die Fernerkundung, Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft, 204 S.
- DISCOE, B. (2003): Virtual Terrain Project, online unter der URL:
<<http://www.vterrain.org/>> (13.03.2003)
- 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.
- 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 Universität Freiburg, Freiburg, 225 S.
- FRITZ, R. (1999): Digitale Forstkartenerstellung und Felsgrenzendelinierung mit Hilfe hochauflösender Satellitensysteme - Zwei Anwendungsbeispiele aus der Forst- und Landwirtschaft, Dissertation an der Abteilung Fernerkundung und LIS der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 151 S.
- HANEWINKEL, M. (1998): Plenterwald und Plenterwaldüberführung., Schriften aus dem Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg, Band 9, 256 S.
- HÖHNE, A. (1996): Entwicklung und Aufbau des geographischen Informationssystems der LFV Baden-Württemberg, Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald Nr. 10, S. 535-538
- LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG (1999): Richtlinie landesweiter Waldentwicklungstypen, Stuttgart, 54 S.
- POHL, C. (1996): Geometric Aspects of Multisensor Image Fusion for Topographic Map Updating in the Humid Tropics., ITC Publication Number 39, 159 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
- STEINOCHE, K. (1997): Application of Adaptive Filters for Multisensoral Image Fusion. Proc. IEEE Symp. Gesci. Remote Sensing (IGARSS'97), Singapore, August 1997, S. 910-912
- TEUFFEL, K. v. (1999): Waldentwicklungstypen in Baden-Württemberg, In: AFZ/Der Wald, Nr. 13, S. 672-676
- TEUFFEL, K. v., KREBS, M. (1999): Forsteinrichtung im Wandel, In: AFZ/Der Wald, Nr. 16, S. 858-864

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: links oben DGM klassifiziert nach Höhenstufen; links unten abgeleitetes Beleuchtungsmodell; rechts Verschneidung zwischen DGM und Beleuchtungsmodell.....	5
Abb. 2: „Aspect“ und „Slope“.....	5
Abb. 3: Prinzip der Imagefusion.....	6
Abb. 4: „Weltansicht“ in Enviro; links Totalansicht, rechts gezoomt.....	13
Abb. 5: 3D-Landschaftsansicht in Enviro; links ohne, rechts mit 3D-Landschaftselementen ...	14
Abb. 6: AMAP-Bäume in der 3D-GIS-Ansicht.....	19
Abb. 7: Verwendung von gekreuzten Rahmen als Vorbereitung zur realistischen 3D-Darstellung von Bäumen; links: Ansicht von oben; rechts: Ansicht aus Beobachtersicht	20
Abb. 8: Texturdarstellung von 3D-Bäumen auf gekreuzten Rahmen; links: ohne Hintergrundtransparenz; rechts: mit Hintergrundtransparenz.....	20
Abb. 9: Modulares Konzept des Lösungsansatzes VisTree3D; Bereiche mit eigener Programmierung durch roten Blitz gekennzeichnet.....	23
Abb. 10: Hauptdialog zur SILVA-Steuerung.....	26
Abb. 11: Einstelldialog für die Standortparameter.....	26
Abb. 12: Parametereinstellung für die automatisierte SILVA-Fortschreibung	27
Abb. 13: Abfragedialog zum Start der SILVA-Prognose.....	28
Abb. 14: Reimportierte SILVA-Baumliste als Shapefile mit Attributtabelle.....	28
Abb. 15: 3D-Darstellung – Bestände über Mittelhöhe extrudiert; Volumen über Rotton kodiert (je dunkler der Rotton, desto höher das Volumen).....	29
Abb. 16: 3D-Darstellung der Bestände auf Einzelbaumebene. Die Einzelbäume sind entsprechend ihrer Höhe extrudiert und entsprechen der Richtlinien der Forsteinrichtung koloriert.....	29
Abb. 17: TIN links ohne, rechts mit eingerechneter Vegetationshöhe.....	30
Abb. 18: TIN mit eingerechneter Vegetationshöhe, überlagertem Fusionsbild und Billboard-Bäumen im Vordergrund.....	30
Abb. 19: Vegetation repräsentiert durch Billboards.....	33
Abb. 20: Blockmodell der Stadt Schluchsee erstellt aus ALK-Grunddaten	34
Abb. 21: 3D-Modell des Riesenbühlturns.....	34
Abb. 22: 3D-Modell eines Zeppelins in der 3D-GIS-Szene.....	35
Abb. 23: Dialog zum Export der Geodaten-Basis in die VTP-eigenen Dateiformate.....	35
Abb. 24: Darstellung des Untersuchungsgebietes in VTP.....	36
Abb. 25: 3D-Modelle in Enviro.....	36
Abb. 26: Darstellung des Riesenbühlturnes mit FotoTextur innerhalb von VTP.....	37
Abb. 27: Vergleich der Darstellungsqualität des Geländetexturbildes; links: im GIS; rechts: in Enviro.....	39
Abb. 28: Blick von oben auf die Billboard-Bäume im GIS (links) und in Enviro (rechts).....	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Vektordaten im Shapefileformat.....	8
Tabelle 2: Liste der tabellarischen Sachinformationen.....	9

ISSN 1431 - 8261
