

# Spezifikation und Echtzeitvisualisierung von Vegetation und Landschaften

Stefan Hiller, Carsten Colditz und Oliver Deussen\*  
Technische Universität Dresden

## Zusammenfassung

Landschaftsplaner verwenden abstrakte Darstellungen von Vegetations- und Geländedaten, um ihre Planungen zu visualisieren. In der Regel sind nicht alle Personen, die in den Prozess der Planung und Entscheidungsfindung aktiv involviert sind, in der Lage, diese Repräsentationsformen von Landschaft richtig zu verstehen und zu beurteilen. Eine photorealistische Echtzeitvisualisierung der Landschaftsdaten kann die Planungsvarianten der Landschaftsplaner allen beteiligten Personen anschaulich darlegen, und viele Verständnisprobleme lösen. Die vorliegende Arbeit stellt die dafür notwendigen Konzepte und eigenentwickelte Werkzeuge zur Datenerstellung und Visualisierung vor. Es wird insbesondere auf die Notwendigkeit der Systemneuentwicklung eingegangen indem vorhandene Softwarelösungen Dritter kurz umrissen werden.

## 1 Motivation

In unserem von der Deutschen Bundesumweltstiftung geförderten Forschungsprojekt sollen virtuelle Landschaften so dargestellt werden, wie sie jeder Spaziergänger aus seiner eigenen natürlichen Sinneswahrnehmung kennt. Wir verstehen unter einer *photorealistischen Echtzeitvisualisierung von Landschaftsdaten* eine möglichst real wirkende, interaktive Darstellung von Landschaftsdaten, in unserem Fall Pflanzen, Boden, Wasser und Gebäude. Die Ansicht soll dabei aus der Ich-Perspektive eines Menschen erfolgen. Damit ergeben sich eine Reihe von Restriktionen, die unter anderem den Maßstab und Detailgrad der verwendeten Geometriedaten betreffen.

Das direkte praktische Anwendungsgebiet für diese Technologie ist die Landschaftsplanung. Landschaftsplaner (Landschaftsarchitekten) nutzen in der Regel spezielle abstrakte Informationsdarstellungen, um ihre Planungsvarianten zu visualisieren.

Oft sind nicht alle Personen, die in den Prozess der Planung aktiv involviert sind, in der Lage diese Repräsentationsform von Landschaft richtig sowie vollständig zu verstehen. Die abstrakten Visualisierungen der Landschaftsplaner sind nicht dazu geeignet, die planerischen Inhalte gegenüber den Planungsbeteiligten anhand leicht verständlicher und vor allem optisch interessanter Präsentationen zu vermitteln. Es fehlt eine natürliche d.h. realistische Darstellung der geplanten Landschaft. Landschaftsplaner nutzen fast immer 2D-Kartenmaterial mit spezieller, mitunter variierender Symbolik um die Vegetationszusammensetzung einer Fläche zu spezifizieren. Für den Laien wäre eine möglichst geringe Ab-

---

\*Fakultät für Informatik, Institut für Software und Multimediatechnik, D-01069 Dresden, Germany

straktionsebene anschaulicher. Prozentuale Bestandszusammensetzungen interessieren den Laien weit weniger als die realitätsnahe visuelle Wiedergabe der geplanten Landschaft. Auf Grundlage einer bestmöglichen grafisch-realistischen Darstellung, sowohl von realen Daten als auch von simulierten Landschaftsdaten, können Planungsentscheidungen anschaulicher und unmissverständlicher diskutiert werden. Der überaus wichtige Kommunikationsprozess zwischen allen Planungsbeteiligten wird so durch natürliche Kommunikationsformen, nämlich der photorealistischen Echtzeitvisualisierung konkretisiert.

### **1.1 Was ist ein Landschaftsplan?**

Der Landschaftsplan ist ein Naturschutz-Fachplan. Er beschreibt, bewertet und stellt dar, wie die Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege in einer Gemeinde erreicht werden können. Der Landschaftsplan dient insbesondere:

1. zur Vorbereitung und Ergänzung der Bauleitplanung,
2. zur Vorbereitung von Maßnahmen nach § 28 NNatG zum Schutz besonders wertvoller Landschaftsbestandteile (z.B. Bäume, Hecken oder Wasserläufe),
3. zur Gestaltung von Grünflächen, Parks und anderen Freiräumen.

Bei Beurteilungen und Entscheidungen, die im Rahmen der Planung und Umsetzung getroffen werden, bietet der Landschaftsplan fachliche Orientierungen und Anleitungen zum Handeln.

### **1.2 Wozu ein Landschaftsplan?**

Der Landschaftsplan dient der nachhaltigen Sicherung und Nutzung der natürlichen Lebensgrundlagen des Menschen. Der Auftrag ist es, Natur und Landschaft auch in der Verantwortung für die künftigen Generationen so zu schützen, zu pflegen und zu entwickeln, dass die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes, die Tier- und Pflanzenwelt sowie die Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft auf Dauer gesichert sind (§ 16 BNatSchG).

Der Landschaftsplan will die Planungen und Entwicklungen in der Gemeinde so unterstützen, dass Eingriffe in den Naturhaushalt und das Landschaftsbild so gering wie möglich gehalten werden.

### **1.3 Wer plant die Landschaft?**

Ein Landschaftsplan wird im Regelfall von Gemeinden oder Städten erstellt. Die Gemeinde beauftragt dazu ein Landschaftsplanungsbüro. Deren Fachplaner erfassen und bewerten die Landschaft im Gemeindegebiet mit ihren unterschiedlichen Lebensräumen (Istzustand). Auf dieser Grundlage zeigen sie Entwicklungsmöglichkeiten auf, die sich z.B. an den naturschutzfachlichen Zielen orientieren. Handelnde und betroffene Menschen vor Ort erarbeiten gemeinsam mit dem Fachplaner ein Leitbild für die zukünftige Entwicklung von Natur und Landschaft im Gemeindegebiet. Die Vertreter von Interessengruppen sowie alle Bürger

können und sollten sich aktiv am Planungsprozess beteiligen. Die Informationsübermittlung zwischen den Gruppen ist durch die verschiedenen Abstraktionsebenen während den Planungsphasen schwierig. Hier greift unser Ansatz einer möglichst photorealistischen Visualisierung in Echtzeit.

#### 1.4 Wie entsteht ein Landschaftsplan?

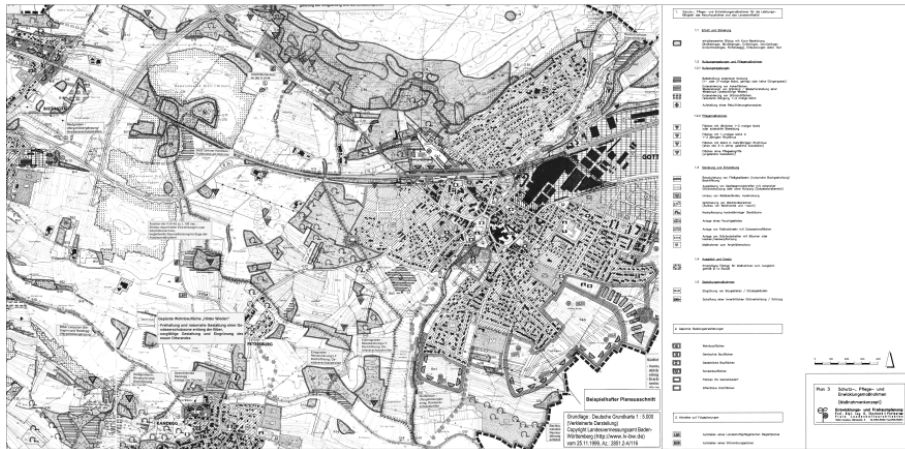


Abbildung 1: Typische, 2d-Darstellungen von Vegetationstypen, entnommen aus [FUBW02]

Abbildung 1 zeigt Beispiel-Kartenmaterial. Die Modellierung der Planungsvarianten erfolgt heute mit Hilfe von computergestützten Geoinformationssystemen (GIS). Das GIS ist das zentrale Werkzeug der Landschaftsplaner. Die Daten werden durch GIS in gleicher oder ähnlicher Form wie in Abbildung 1 angezeigt. Die im GIS vorliegenden Planungsdaten können auch mittels Zwischenverarbeitungsschritt durch unser Landschaftsdateneditor-Werkzeug in eine für das Echtzeit-Visualisierungssystem günstige Datenstruktur überführt werden. Liegen diese Daten vor, können sie auf geeigneten Datenträgern (CD, DVD) gespeichert und an die Mitglieder der Planungskommission verschickt werden. Die Empfänger sind jetzt in der Lage, die Planungsdaten auf handelsüblichen Desktop-Computern der oberen Leitungsklasse in Echtzeit zu visualisieren.

Der Ablauf der Landschaftsplanung kann sich folgendermaßen darstellen:

1. Der Gemeinde- bzw. Stadtrat fasst den Beschluss zur Aufstellung eines Landschaftsplanes. Anschließend wird ein Landschaftsplanungsbüro mit der Bearbeitung des Landschaftsplanes beauftragt.
2. Nun folgt die inhaltliche Bearbeitung des Landschaftsplanes: Bestandsaufnahme und Bewertung, Entwicklung des Zielkonzepts und Erarbeitung von Schutz, Pflege- sowie Entwicklungsmaßnahmen.
3. Zu allen Bearbeitungsschritten erfolgt eine Information und Beteiligung des Gemeinde-/ Stadtrates, der anderen Fachplanungen, der Landeigentümer und -nutzer, der örtlichen Interessenvertreter (z.B. Naturschutzverbände, Bürgerinitiativen) und der Bürger. In planungsbegleitenden Arbeitskreisen werden Ziele und Handlungsvorschläge diskutiert, so dass sie allgemeine Zustimmung finden können. Die Öffentlichkeit wird mit Informationsveranstaltungen und über die Presse über den Stand des Planungsprozesses informiert.

## 2 Stand der Technik

Es existiert eine kleine Menge von spezialisierten und kommerziell vertriebenen Werkzeugen, die zum Modellieren und dem photorealistischen Rendern von Landschaften geeignet sind. Die Softwarepakete, die vornehmlich für leistungsstarke Desktop-Computer unter Win2000/XP verfügbar sind, besitzen allerdings keine Möglichkeit, die Landschaftsdaten in Echtzeit photorealistisch wiederzugeben. Siehe [DHP<sup>+</sup>98], hier werden pro Frame 85 Minuten Rechenzeit veranschlagt.

Aktuelle Beispiele für kombinierte Modellier- sowie Standbild-Renderingwerkzeuge sind: „Bryce 3D“ erhältlich für Windows/MAC-Plattform [Com02a], „Terragen“ Terraingenerator [con02], zur Zeit als Freeware mit kleineren Funktionseinschränkungen erhältlich. „Vue d’Esprit“ ist für Mac/Windows erhältlich [eosi02]. Es handelt sich hierbei um das funktional wie auch qualitativ umfangreichste bzw. fortschrittlichste System zur Landschaftsmodellierung bzw. Visualisierung.

Folgende Einschränkungen gelten für alle System die derzeit auf dem Markt vertrieben werden bzw. hier genannt wurden: kein Echtzeitrendering, keine Darstellung von komplexer Pflanzengeometrie bzw. nur Geometrie mit geringer Vertexanzahl. Keine Navigations- oder Interaktionsmöglichkeit innerhalb der künstlichen Landschaftsdarstellung, da keine Echtzeitdarstellung. Derzeitige Softwaresysteme für die Landschaftsmodellierung sind dafür geeignet Landschaftsdaten zu bearbeiten und photorealistische Einzelbilder bzw. Bildsequenzen zu rendern. Sie sind definitiv nicht für Echtzeit/VR-Anwendungen nutzbar. Zu der sehr kleinen Menge der Echtzeitviewer für Landschaftsdaten zählt die „G-Vista“ Software der GEONOVA AG. Hierbei handelt es sich um eine Viewer-Komponente zur Echtzeit-3D-Darstellung von großen Landschaftsarealen. Das Datenmaterial besteht hierbei aus digitalem Geländemodell und Orthobild (Satelliten- oder Flugzeugaufnahmen). „G-Scene“ ist die zugehörige Editor-Software um Szenen zu erstellen bzw. zu bearbeiten.



darstellung geeignete Datenformate umgesetzt. Dieser Schritt ist wichtig, da der Echtzeitviewer sehr hardwarenah implementiert ist. Eventuell wird dies von Firmen übernommen, die sich auf diese Aufbereitung spezialisiert haben. Innerhalb des Landschaftseditors werden beispielsweise Objektinstanzierungen, Level-of-Detail und andere Vorabberechnungen durchgeführt. Ebenso werden die Auflösungen der verwendeten Texturen oder Shadowmaps vorberechnet.

### 3 Landschaftsdateneditor

Zweck des Werkzeugs ist es, Landschaften auf Basis von Skizzen, Luftbildern oder/und GIS-Daten zu modellieren. Vornehmlich geht es dabei um die Anordnung von Vegetationstypen (Pflanzen) auf der Landschaftsoberfläche. Die Oberfläche wird durch eine Höhenmap spezifiziert (DGM). Im Anforderungskatalog für den Editor stehen dabei folgende Hauptpunkte: Benutzerfreundlichkeit d.h. GUI, schnelle Einarbeitungszeit für die Benutzer, geringer Ressourcenbedarf (auf aktuellen Desktop-Computern lauffähig), Plattformunabhängigkeit. Für die softwaretechnische Umsetzung ergab sich die Verwendung der QT-GUI Bibliothek [Com03b] und C++ als Programmiersprache. QT ist plattformunabhängig und umfasst neben einer GUI-API auch Datenbank-, Network- und File-API's, was die Entwicklung sehr effektiv gestaltet.

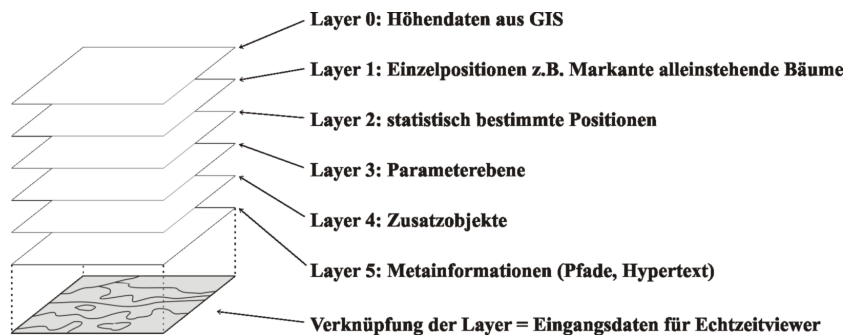


Abbildung 3: Hauptebenen des Landschaftseditor

#### 3.1 Leistungsumfang

Zunächst muß die Frage bezüglich der Benutzerzielgruppe geklärt werden. Die grafische Nutzerschnittstelle ist so ausgelegt, daß sowohl Landschaftsarchitekten als auch Nichtexperten in der Landschaftsplanung sich in der Funktionsweise des Editors schnell einarbeiten können. Zum derzeitigen Projektzustand arbeiten noch primär die Projektentwickler mit der Editorsoftware. Aktuell werden vornehmlich Testdaten für das Viewersystem bearbeitet. Aus diesem Grund wäre es zu früh, die Editorfunktionalität auf die Benutzerzielgruppen zu spezialisieren. Die Bearbeitung der Daten erfolgt zur Zeit in Form einer

2D-Ansicht. Sicher ist die Anwendung damit leicht beschränkt. Erfahrungsgemäß kann eine 3D-Bearbeitungssicht den Benutzer überfordern. Viele Funktionen lassen sich auch nur auf der 2D-Ebene mit herkömmlichen Eingabewerkzeugen wie Maus und Tastatur umsetzen. Im folgenden Abschnitt wird der derzeitige Funktionsumfang des Editors aufgelistet.

### 3.1.1 Funktionsumfang/Bedienelemente

Der Editor unterstützt ein Ebenensystem für die logische Trennung heterogener Datenbestände. Dadurch werden unterschiedliche Datentypen auf verschiedene Layer verteilt - analog zu gängigen CAD-Systemen oder Zeichenwerkzeugen. Jeder Layertyp kann aus mehreren Unterlayern zusammengesetzt sein. Daraus ergibt sich die folgende Aufteilung:

1. Layer 0: Eingabe von Höhenlinien/Maps (DEM - Digital Elevation Maps), Grundabmessungen und Maßstab sind hiermit gegeben.
2. Layer 1: Platzierungsebenen für Einzelpositionen (Bereiche bestimmter Populationen). Die Individuen dürfen sich innerhalb der Layer nicht überschneiden. Hier erfolgt die Definition von festgelegten Einzelpositionen für verschiedene Pflanzenarten. Layer+Unterlayer lassen sich frei arrangieren, ein- und ausblenden, Layer können miteinander verschmolzen werden, sind danach evtl. aber nicht mehr editierbar. Unschärf begrenzte Flächen besitzen Randausdünnungen.
3. Layer 2: Platzierungsebenen für statistisch berechnete Positionen. In diesem Layer erfolgt die Definition von mit unterschiedlichen Pflanzenarten befüllten Bereichen. Die Füllung wird hierbei durch parametrisierbare, statistische Funktionen charakterisiert.
4. Layer 3: Parameterebenen - dienen der Definition von Steuerparametern für Platzierungsebenen, diese dürfen sich innerhalb einer Ebene (Layer) nicht überschneiden.
5. Layer 4: Ebenen für zusätzliche Objekte wie Bebauungen, evtl. Felsen, Steine.
6. Layer 5: Ebenen zur Verwaltung von Metainformationen wie Text, Wegmarken, Animationspfade.

Layer lassen sich frei arrangieren d.h. verschieben, rotieren, skalieren sowie ein- und ausblenden. Layerdaten können einzeln exportiert und importiert werden. Mehrere Platzierungsebenen können einer Parameterebene untergeordnet werden, so dass die Einstellungen für alle wirksam werden.

Folgende Formen von Werkzeugspitzen sind definiert: Pinsel (Unschärfe), Rechteck, Kreis, Linienzeichner gerade, Linienzeichner gekrümmt, Radiergummi. Die Art der Werkzeugspitzen orientiert sich damit an gängige Zeichenprogrammen.

Im folgenden nun eine Auflistung von Werkzeugen, die auf die Platzierungsebenen 1 und 2 wirken können:

1. **Punkt-Zeichenwerkzeuge:** Wirkt auf alle Platzierungsebenen. Die Funktionsweise ist umkehrbar, Punkte setzen/löschen mit gleichem Werkzeug möglich. Werkzeug

dient dem Setzen von Einzelpunkten, Erzeugen von Punktclustern nach verschiedenen Presets (z.B. regelmäßige Reihen, intermittierende Reihen etc.), Punktcluster mit zufälliger Verteilung, Flächenpinsel zum Definieren von statistisch befüllten Bereichen (Layer 2).

2. **Bereichszeichenwerkzeuge** für Parameterebenen: Polygone (Bereiche) können durch Angabe der Eckpunkten festgelegt werden, oder durch Abfahren der Kanten. Durch Pinsel-Operationen, bzw. Angabe von Kantenparametern wird die Art der Überblendung von Bereichen bestimmt (Cross-Fade). Durch flächige Werkzeuge können Bereiche „beschnitten“ werden.
3. **Editierwerkzeuge für Einzelpositionen** von Objekten/Pflanzen: Verschieben, Abstoßen (Pfadbildung), Anziehen (Clusterbildung), Relaxieren d.h. gleichmäßige Verteilung, Parameteränderung.
4. **Metawerkzeuge**: Zoom, Rechteckauswahl (Bearbeitungs/Zoom-Bereich) und Freiformauswahl. Mit einer Auswahl lässt sich der Wirkungsbereich der Editierwerkzeugen einschränken, Punkt- bzw. Bereichsfelder lassen sich löschen oder verschieben und zwischen Ebenen kann hin- und her kopiert werden.
5. **Werkzeugspitzen**: In einer Werkzeugspitzenpalette lassen sich verschiedene Werkzeugspitzen definieren, die in Verbindung mit Werkzeugen benutzt werden und deren Wirkungsbereich steuern. Definition der Werkzeugspitzengröße, Definition der Wirkstärke des Werkzeugs, Definition der Randcharakteristik (harter bis weicher Randabfall). Werkzeugspitzen werden auch für Bereichszeichner verwendet und definieren die Übergangscharakteristik zwischen verschiedenen Bereichen (harter Übergang oder Interpolation).

Der Editor unterstützt Pflanzensets. Darunter sind die Zusammenfassung von Vegetationsdaten (Vertex+Texturinformation) und deren Modellparameter zu verstehen. Verschiedene Pflanzensets lassen sich anlegen, speichern und einlesen. Sets sind farbcodiert und lassen sich wie eine Zeichenfarbe zur Verteilung der Spezies auf den Platzierungsebenen verwenden.

Durch einen parametrisierbaren Ausgabefilter lassen sich die Landschaftsdaten an den Echtzeitviewer übergeben.

## 4 Visualisierungssystem

In den folgenden Abschnitten werden die Anforderungen an das Echtzeit-Visualisierungssystem aufgezählt, die für unseren Anwendungsfall eine untere Mindestgrenze darstellen. Folgende Fragestellungen leiten sich daraus ab: Wie groß ist die zu erwartende Geometrie Komplexität, damit einhergehend, welche(s) Grafikkarte, CPU, Speicherinterface und Hauptspeichergröße sind anzusetzen?

## 4.1 Grundkonzept

Mit Hilfe des Visualisierungssystems soll dem Benutzer die Möglichkeit gegeben werden, aus der Perspektive eines Spaziergängers, in Echtzeit frei durch die dargestellte Szene zu navigieren. Um den Anforderungen der verschiedenen Benutzergruppen gerecht zu werden, muss sowohl bei der Darstellung des Terrains, als auch bei der Visualisierung der Pflanzen ein hoher Detailgrad und größtmögliche Exaktheit gewährleistet werden. Außerdem bietet das Visualisierungssystem die Möglichkeit, Pflanzenpopulationen und Landschaften in den verschiedensten Größen und Detailstufen darzustellen.

## 4.2 Datenaufkommen

Für eine beispielhafte Szene mittlerer Größe soll der Große Garten Dresden dienen. Ziel ist es, die Parkanlage aus Fußgängerperspektive in Echtzeit wiederzugeben. Der Nutzer bewegt sich mit „Fußgängergeschwindigkeit“ bei Bildwiederholraten von mindestens 15 Frames pro Sekunde durch die virtuelle Landschaft. Nehmen wir an, man möchte eine Parkanlage wie den *Großen Garten Dresden* visualisieren. Dieser Park ist die schönste, mit 2 km<sup>2</sup> gleichzeitig auch die größte zusammenhängende Parkanlage der Stadt Dresden. Seine Länge beträgt ca. 1900 Meter und seine Breite ca. 900 bzw. 1000 Meter. Mit einer modellierten durchschnittlichen Pflanzdichte (Abstand) von rund 0.3 Metern ergeben sich rund 8 Millionen Einzelstandorte. Da wir es mit einer begrenzten Menge von möglichen Pflanzengattungen (120-200 Arten) zu tun haben, bietet sich eine Objektinstanzierung geradezu an. Durch Bildung von Instanzen benötigen wir pro Individuenstandort rund 30 bis 120 Byte um Position, Skalierung, Drehung, Pflanzennamen sowie weitere Parameterdaten des Pflanzenmodells zu speichern. Bei 8 Millionen Standorten ergibt sich daraus eine Datenmenge von 230 MByte bis rund einem Gigabyte. Dazu addiert sich die gleiche Datenmenge für Pflanzenmodellgeometrie, Pflanzen- und Boden-, Himmels-Texturen, zusätzlichen Daten wie Shadow-maps, Bump-maps, Steuerdaten und evtl. Daten von Bauwerken. Wir gehen davon aus, in Datenmengen von mindestens 1 Gigabyte in Echtzeit zu navigieren. Durch das Volumen der Daten und die begrenzte Bustransferleistung auf der Zielplattform sind spezielle Datenstrukturen notwendig. Um die Modelldaten zu partitionieren, wird eine Quadtreestruktur verwendet. Darauf aufbauend wird ein eigener, besonders für Pflanzenmodelle geeigneter Level-of-Detail Ansatz angewendet.

## 4.3 Darstellung der Daten

Um ein Navigieren mit etwa 10 bis 15 Bildern pro Sekunde zu ermöglichen, besteht die Notwendigkeit, bei der Darstellung der Szene auf verschiedene Level-of-Detail Ansätze zurückzugreifen. Eine Quadtreebasierte Datenorganisation ermöglicht hierbei eine Ausblendung von Geometriedaten, die nicht im Betrachtungsvolumen des Spaziergängers liegen. Dazu findet pro Bild ein Vergleich zwischen dem Sichtvolumen und den einzelnen Quadtreezellen statt. Zellen, die das Sichtvolumen nicht schneiden, werden verworfen. Sollte eine Zelle das Sichtvolumen schneiden, so werden die darin enthaltenen Objekte und Modelle auf die gleiche Art und Weise auf ihre Sichtbarkeit hin untersucht.

Dies allein reicht bei weitem noch nicht aus, um interaktive Frameraten zu gewährleisten. Weiterhin kommt ein speziell für die Darstellung von Pflanzen entwickelter dynamischer LoD-Ansatz zum Tragen. Blattstrukturen werden dabei ab einer bestimmten Entfernung zum Betrachter durch einzelne Punkte approximiert. Ast-/Zweigstrukturen werden durch geometrisch weniger komplexe Linien ersetzt, siehe [DCSD02].

Herkömmliche LoD-Ansätze speichern meist mehrere Repräsentationen eines Modells in verschiedenen Detailstufen ab. Bei zunehmender Entfernung des Objektes zum Betrachter wird dabei zwischen den einzelnen Stufen umgeschaltet. Der Nachteil dieser Technik besteht darin, dass der Umschaltvorgang zwischen den einzelnen Detailstufen oft für den Betrachter sichtbar ist. Diese Animationsartefakte können sehr störend wirken.

Wir verwenden deshalb einen dynamischen Ansatz, der mehrere Vorteile bietet. Ein Blatt besteht meist aus 10 oder mehr Dreiecken. Ab einer gewissen Entfernung zum Betrachter besitzt das Blatt auf dem Bildschirm nur noch die Größe eines einzelnen Pixels. Ohne LoD-Ansatz würden an dieser Stelle immer noch alle Dreiecke des Blattes gerendert werden. Bei unserer Technik wird jedoch nur noch ein einzelnes Punktprimitiv dargestellt. Dazu wird bei der Modellbeschreibung zu jedem Blatt eine kleine Untermenge von Punkten abgespeichert, welche die Form des Blattes am besten approximieren. Während des Anzeigevorgangs wird nun entfernungsabhängig die Dreiecksdarstellung schrittweise in die Punktdarstellung überblendet.

Für die Verwaltung der Modelle im Hauptspeicher wird auf Vertexarrays zurückgegriffen. Diese bieten den Vorteil einer hohen Darstellungsgeschwindigkeit und die Möglichkeit des dynamischen Zugriffs. Außerdem besteht bei modernen Grafikkarten die Möglichkeit, Teile des Videospeichers der Karte für das Abspeichern von Vertexarrays zu benutzen. Dadurch wird eine nochmalige Leistungssteigerung erzielt. Die Bestimmung der Entfernung findet aus verständlichen Gründen (Performance) nicht für jedes einzelne Blatt statt, sondern wird für alle Blätter einer Pflanze nur einmal durchgeführt. Die Modelle werden bei der Darstellung in Wuchsrichtung trianguliert, d.h. sie sind „von der Wurzel hinauf zu den Blattspitzen“ im Speicher abgelegt. Ohne weitere Maßnahmen hätte dies zur Folge, dass der Umschaltvorgang zwischen der Dreiecks- und Punktrepräsentation für den Betrachter gut sichtbar wäre, da er genauso in Wuchsrichtung erfolgt und somit störend wirkt. Deshalb werden alle Blätter einer Pflanze untereinander zufällig durchmischt, bevor sie im Speicher innerhalb der Vertexarrays linear abgelegt werden. Hiermit wird gewährleistet, daß die Überblendung gleichmäßig über das gesamte Pflanzenmodell verteilt stattfindet. Somit entsteht ein homogener Gesamteindruck beim Betrachter. Bei Stämmen, Ästen und Zweigen verhält es sich ähnlich. Ab einer gewissen Entfernung zum Betrachter erscheinen diese Pflanzenkomponenten nur noch als Linien. Wir speichern für diese Komponenten die aus der Ursprungsgeometrie abgeleiteten Linien ab. Während der Navigation des Betrachters durch die Szene werden dann wieder die beiden Darstellungsrepräsentationen entfernungsabhängig überblendet.

Um dem Betrachter ein der Realität möglichst nahe kommendes Abbild der Natur zu präsentieren, werden weiteren Techniken angewandt um die Qualität der Darstellung zu verbessern. Neben dem Einsatz von Vertex- und Pixelshadern kommt auch 4x Fullscreen Antialiasing zur Anwendung. Mit Hilfe der Vertex- und Pixelshader wird die diffuse und spekulare Beleuchtungsberechnung realisiert. OpenGL und DirectX [web03, Com03a] bie-

ten in ihren Standardpipelines nur sehr eingeschränkte Möglichkeiten, das zugrunde liegende Beleuchtungsmodell programmseitig zu beeinflussen. Mit Hilfe der Shader ist es dem Programmierer möglich, seine genauen Vorstellungen bezüglich der Beleuchtung umzusetzen. Mit der Shader-Hochsprache „Cg“ von Nvidia [Com02b] besteht nun weiterhin die Möglichkeit, die Shader schneller und effizienter anzusprechen als unter der bisherigen assemblerverwandten Shaderprogrammiersprache. Auch lässt sich die Schattendarstellung mit Hilfe von Shadowmaps durch die Shader relativ einfach realisieren. Die Notwendigkeit für Antialiasing ergibt sich vor allem aus den oft sehr feinen Pflanzenstrukturen, wie z.B. bei Gräsern und kleinen Sträuchern. Um die unerwünschten Treppenstrukturen an Kanten der Modelle zu verhindern ist der Einsatz von Full-Screen-Anti-Aliasing (FSAA) daher unumgänglich.

## **5 Einsatzbeispiel**

Die Abbildung 4 zeigt Screenshots des interaktiven Landschaftsdateneditor sowie des Visualisierungssystems. Für dieses Beispiel wurde ein kleiner Garten (50 mal 50 Meter) mit Bäumen, Büschen, Grass und Staudenpflanzen modelliert. Für diesen sehr einfachen Geländeabschnitt wurde eine Gesamtdatenmenge von 61 MByte benötigt. Diese Daten enthalten alle Texturen, Geometriedaten und Instanzen-Parameter. Es wurden 25 unterschiedliche Pflanzenmodelle auf insgesamt 120 Millionen einzelnen Instanzen (Standorte) verteilt. Der Benutzer ist in der Lage, sich frei und in Echtzeit innerhalb der Scene zu bewegen. Änderungen an den Daten lassen sich sehr einfach und schnell mit Hilfe des Editors vornehmen.

## **6 Zusammenfassung und Ausblick**

Photorealistisch dargestellte Landschaftsdaten und speziell deren Animation in Form von Kamerafahrten gehören eher zur Seltenheit. Animationen werden aufgrund von Arbeits- und Zeitaufwand und damit Kostengründen nur für Spezialfälle erstellt (Film/Fernsehen oder Projektstudien). Von praktischer Relevanz für die Landschaftsplanung ist man noch weit entfernt.

In der vorliegenden Arbeit wurden selbst entwickelte Methoden und deren Umsetzung in Form von Werkzeugen vorgestellt, die diesem Nachteil entgegenreten. Die Werkzeuge tragen zur Verbesserung der Kommunikation zwischen den planungsbeteiligten Personen bei. Sie sind dafür gedacht, um schnell von Rohdaten zu ansprechenden Ergebnissen zu gelangen.

Die Echtzeitvisualisierung soll hierbei nicht die Karten der Landschaftsplaner mit ihren speziellen Piktogrammen und Kodierungsmethoden ersetzen. Vielmehr werden Kartendaten in einer weniger abstrakten Form d.h. als natürliche Landschaften wiedergegeben. Dadurch hat auch ein Laie einen direkten Einblick in die realen Auswirkungen der Landschaftsplanung. Wir glauben aber auch, daß der Landschaftsplaner durch die schnelle und realistische Wiedergabe der Planungsdaten bei seiner Arbeit maßgeblich unterstützt wird.

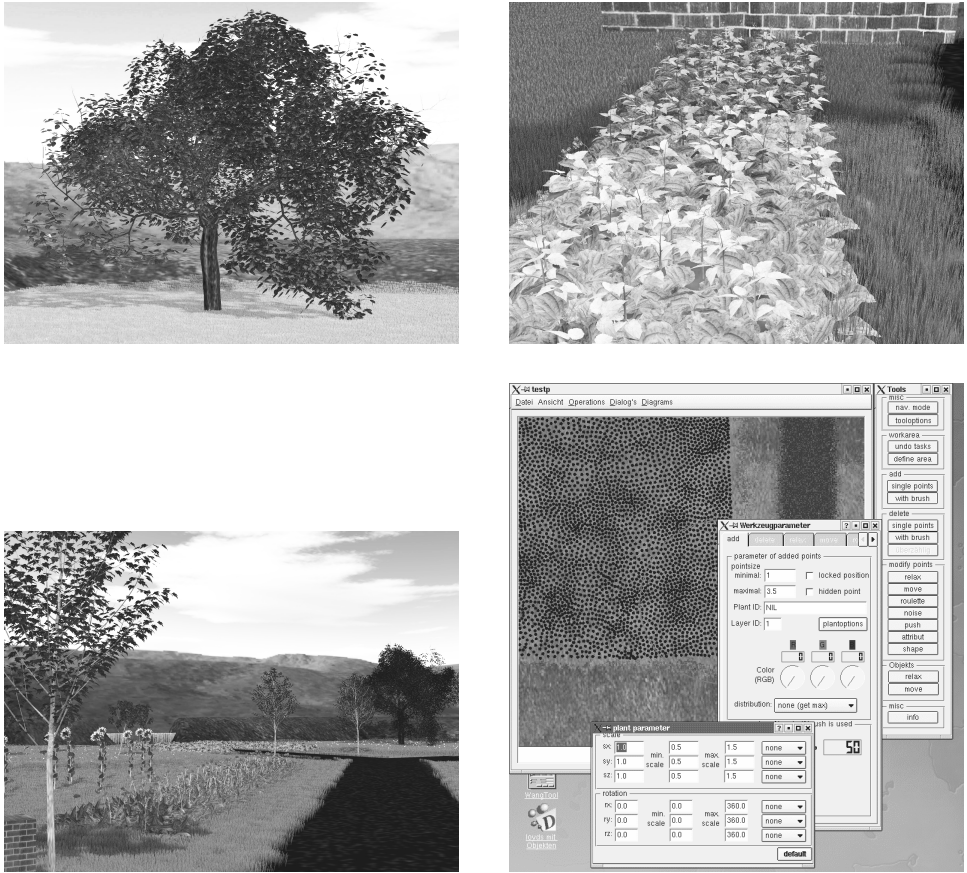


Abbildung 4: Viewer/Editor Screenshots

Das Editorwerkzeug ersetzt nicht das GIS oder den geschulten Landschaftsarchitekten. Es dient in erster Linie als Datenkonvertierungs/Aufbereitungswerkzeug und evtl. zur erweiterten Feinplanung. Ein weiterer Vorteil eines vom GIS abgekoppelten Editor liegt in der Möglichkeit der einfachen Datennachbearbeitung auch auf mobilen Rechnern wie Notebooks. GIS-Installationen sind oftmals wartungsintensive und zum Teil komplexe serverbasierte Systeme die intensive Schulungen der Benutzer und Administratoren voraussetzen. Die Planung wird durch das einfach zu bedienende und mobil einsetzbare Editierwerkzeug beschleunigt und ist flexibler.

Das von uns entwickelte System eröffnet die Möglichkeit, Landschaft mit hohem Detailgrad zu spezifizieren und in Echtzeit zu erkunden. Der Betrachter kann interaktiv Bereiche in der Landschaft erleben so wie er es in der Realität tun würde und ist nicht durch vorhergerenderte Ansichten und feste Kamerafahrten eingeschränkt.

Noch ist die Entwicklung der Werkzeugkomponenten sicherlich nicht abgeschlossen.

Während der Systementwicklung haben sich einige Problemschwerpunkte verschoben oder es haben sich neue Fragestellungen ergeben. Beispielsweise sind die Interaktionsmöglichkeiten der Benutzer innerhalb der Landschaften zu untersuchen. Auch ist die Fragestellung interessant, wie Planungsvarianten durch interaktives Überblenden visualisiert werden können. Der visuelle Eindruck, der sich durch das interaktive Ändern der Tages- oder auch Jahreszeiten ergeben kann, ist ebenfalls zu untersuchen. Sicher ist auch die Visualisierung von Wachstums/Entwicklungszeiträumen von Pflanzenpopulation gerade für die Landschaftsplanung von großem Interesse.

Daneben sind auch hardwaretechnische Fragestellungen näher zu untersuchen. Welche Beleuchtungsmodelle und visuellen Effekte lassen sich durch die Anwendung zukünftiger GPU Pixel/Vertex-Shader Sprachen erreichen? Welche Hauptspeicher/Busbandbreiten bietet die nächste Rechnergeneration und welche Darstellungsleistungen könnten damit erzielt werden?

## Literatur

- [Com02a] The COREL Company. *Bryce 3D - 3D landscaping tool for Windows*. Webressource, <http://www.corel.com>, 2002.
- [Com02b] The NVIDIA Company. *The NVIDIA Cg Toolkit (GForce4)*. Webressource, <http://www.nvidia.com>, 2002.
- [Com03a] Microsoft Company. *Microsoft DirectX9 - Technology Overview*. Webressource, <http://www.microsoft.com/windows/directx>, 2003.
- [Com03b] Trolltech Company. *QT - the cross-platform C++ GUI*. Webressource, <http://www.trolltech.org>, 1998-2003.
- [con02] contact@planetside.co.uk. *Terragen - scenery generator for Windows*. Webressource, <http://www.planetside.co.uk/terrigen>, 2002.
- [DCSD02] O. Deussen, C. Colditz, M. Stamminger und G. Drettakis. *Interactive Visualization of Complex Plant Ecosystems*. In: Proc. IEEE Visualization 2002, S. 219–226, ISBN 0-7803-7498-3, 2002. IEEE inc.
- [DHP<sup>+</sup>98] O. Deussen, P. Hanrahan, M. Pharr, B. Lintermann, R. Mech und P. Prusinkiewicz. *Realistic Modeling and Rendering of Plant Ecosystems*. In: Computer Graphics, S. 275–286, ISBN 0-89791-999-8, 1998. Addison-Wesley Publishing Company.
- [eosi02] e-on software inc. *Vue d'Esprit - 3D natural scenery generator*. Webressource, <http://www.e-onsoftware.com>, 2002.
- [fUBW02] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. *Naturschutz-Fachinformationen im World-Wide Web*. Webressource, <http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de>, 2002.

- [Tea02] GRASS Development Team. *GRASS - Geographic Resources Analysis Support System*. Webresource, <http://grass.itc.it>, 1999-2002.
- [web03] [webmaster@opengl.org](mailto:webmaster@opengl.org). *Developer and technical resources for OpenGL programming*. Webresource, <http://www.opengl.org/>, 2003.