

Brandenburgische Technische Universität Cottbus  
Institut für Informatik, Informations- und Medientechnik  
Lehrstuhl Grafische Systeme

## Bachelorarbeit



# Generierung eines 3D-Modells des Branitzer Parks in VRML

Robert Moschner  
Matrikelnr.: 2303053

*25.01.2008*

1. Betreuer: Prof. Dr. Winfried Kurth
2. Betreuer: Dr. Erwin Roth

## **Erklärung**

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und mich anderer als der im beigefügten Verzeichnis angegebenen Hilfsmittel nicht bedient habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Robert Moschner

Cottbus, 25.01.2008

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2 Aufgabenstellung</b>	<b>7</b>
<b>3 Die Branitzer Parklandschaft</b>	<b>8</b>
3.1 Einführung zum Branitzer Park . . . . .	8
3.2 Geschichte des Parks . . . . .	9
3.3 Der Branitzer Park als virtuell begehbare Modell . . . . .	10
3.3.1 Das virtuelle Modell "Branitzer Park" und die Sichtachsen . . . . .	10
3.3.2 Motivation für historische Parkmodelle . . . . .	11
3.3.3 Motivation für fiktive Parkmodelle . . . . .	11
<b>4 VRML</b>	<b>13</b>
4.1 Einführung . . . . .	13
4.2 Überlegungen zu Performance und Qualität der VRML-Welten . . . . .	14
<b>5 Software &amp; Datengrundlagen</b>	<b>17</b>
5.1 Geoinformationssysteme . . . . .	17
5.2 Aufbau und Funktionsweise von ArcGIS . . . . .	18
5.2.1 ArcGIS-Anwendungen . . . . .	18
5.2.2 ArcGIS Erweiterung 3D-Analyst . . . . .	19
5.3 Datentypen . . . . .	20
5.3.1 Das Shape-Format . . . . .	20
5.3.2 Vektordaten . . . . .	21
5.3.3 Rasterdaten . . . . .	22
5.3.4 Sachdaten . . . . .	23
5.3.5 Das TIN . . . . .	23
5.4 Relevanz eines Modellers . . . . .	27
5.5 Vorhandenes Datenmaterial . . . . .	28
5.5.1 Überfliegungsgebiet . . . . .	28
5.5.2 Datensätze . . . . .	29

<b>6</b>	<b>Erstellung der Modelle mit ArcGIS und Maya</b>	<b>31</b>
6.1	Bearbeitung des Rohmaterials mit ArcGIS – Überführung in ein TIN . . .	31
6.2	Erzeugung eines aktuellen Modells . . . . .	36
6.2.1	Einarbeitung zusätzlicher Information in das TIN . . . . .	36
6.2.2	Bearbeitung des Geländes mit Maya . . . . .	46
6.2.3	Einfügen von Gebäuden . . . . .	48
6.2.4	Exemplarisches Einsetzen von Bäumen . . . . .	51
6.3	Erzeugung eines historischen Modells . . . . .	57
6.3.1	Einarbeitung historischer Informationen in Teile des TINs . . . . .	57
6.3.2	Bearbeitung des Geländes mit Maya . . . . .	59
6.3.3	Einfügen von Gebäuden in das Modell . . . . .	59
6.3.4	Exemplarisches Einsetzen von Bäumen . . . . .	61
6.4	Erzeugung eines Modells mit möglichen zukünftigen Bebauungsszenarien .	61
6.4.1	Erweiterung des Messegeländes . . . . .	61
6.4.2	Einfügen einer Umgebungskarte . . . . .	64
<b>7</b>	<b>Erzeugung der VRML-Welten</b>	<b>65</b>
7.1	Zusammenfügen aller Objekte zu einer kompletten VRML-Welt . . . . .	65
7.1.1	Gelände . . . . .	65
7.1.2	Gebäude . . . . .	65
7.1.3	Bäume . . . . .	66
7.2	Viewpoints . . . . .	69
<b>8</b>	<b>Auswertung</b>	<b>70</b>
8.1	Genauigkeit und Realitätsnähe der Modelle . . . . .	70
8.1.1	Das aktuelle und das fiktive Modell . . . . .	70
8.1.2	Das historische Modell . . . . .	71
8.2	Performance der fertigen VRML-Welten . . . . .	73
8.3	Nutzbarkeit von ArcGIS im Vergleich zu anderen Methoden . . . . .	74
8.4	Ausblick & Schlussfolgerungen . . . . .	76
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>78</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>80</b>

# Abbildungsverzeichnis

3.1	Die Lage von Cottbus in Deutschland . . . . .	8
5.1	Shapefile-dateien . . . . .	20
5.2	Beispiel für Vektordaten: Der innere Park . . . . .	21
5.3	Rasterdarstellung: Der innere Park . . . . .	22
5.4	Die konvexe Hülle eines TINs . . . . .	24
5.5	Reihenfolge der Möglichkeiten der TIN-Bearbeitung . . . . .	26
5.6	Raster der Überfliegung . . . . .	28
6.1	Auszug einer Textdatei . . . . .	32
6.2	Schema.ini nach der automatischen Generierung durch ArcGIS . . . . .	32
6.3	Schema.ini nach der manuellen Bearbeitung . . . . .	32
6.4	Fehlerhafte Bereiche im TIN . . . . .	37
6.5	Eingearbeiteter Seen- und Flussgrund . . . . .	38
6.6	Abgesenkter Bereich der Landpyramide . . . . .	39
6.7	Fehlerhafte Darstellung der Bereiche um Schloss und Besucherzentrum . .	40
6.8	Erzeugung der Landpyramide . . . . .	41
6.9	Das bearbeitete TIN mit den nachkonstruierten Objekten . . . . .	42
6.10	Das Gelände-TIN vor und nach der Dezimierung . . . . .	43
6.11	Das Gelände-TIN und die herausgelösten Wege . . . . .	45
6.12	Die Oberfläche des Modells in Maya . . . . .	49
6.13	Erstellung einer Brücke in Maya . . . . .	50
6.14	Der Blick vom Hermannsberg in ArcScene . . . . .	53
6.15	SQL-Abfrage . . . . .	55
6.16	Eine Baumdarstellung in Maya . . . . .	56
6.17	Das historische TIN nach der Geländeänderung . . . . .	58
6.18	Der Graph der Sichtbarkeitsanalyse . . . . .	63
7.1	Auszug aus der VRML-Hauptdatei . . . . .	66
7.2	LOD-Datei des Kavaliershauses . . . . .	67
7.3	Auszug einer Transform-Datei . . . . .	68

# 1 Einleitung

Geoinformationssysteme gewinnen im Bereich der Erzeugung von Geländemodellen immer weiter an Bedeutung. Dreidimensionale Modelle machen Zusammenhänge sichtbar, die in einer 2D-Ansicht nicht erfassbar sind. Diese Arbeit beschäftigt sich im Wesentlichen mit dem reinen Visualisierungsaspekt und der dreidimensionalen Darstellung von Geländedaten. Dabei wird auf den Prozess der Erstellung der virtuellen Welten besonders eingegangen.

Das Ziel der Arbeit ist es, aus bestimmten vorgegebenen geoinformationssystemgestützten Datensätzen virtuelle Welten des Branitzer Parks zu erstellen. Dabei wird auf Material von Fernerkundungen und bereits bestehendem VRML-Material zurückgegriffen, um realitätsnahe Modelle zu erzeugen. Damit Veränderung gezeigt werden können, sollen verschiedene Modelle des Branitzer Parks zu jeweils unterschiedlichen Zeitpunkten erzeugt werden. Der Gestaltungsschwerpunkt dieser virtuellen Welten liegt auf speziellen Perspektiven, die Wandlungen zeigen und dem Betrachter Vergleiche zwischen verschiedenen Zeitpunkten ermöglichen.

Für die Anforderungen an die fertigen virtuellen Welten reicht ein Geoinformationssystem aber nicht aus, weshalb auf eine 3D-Computergrafik Software zurückgegriffen werden soll. Diese wird für die Zusammenfassung aller Daten zu einer virtuellen Welt und für eine adäquate Darstellung dieser in VRML eingesetzt. Neben der Erstellung der VRML-Welten ist es ein Teilziel dieser Arbeit, zu untersuchen, inwiefern das Geoinformationssystem ArcGIS geeignet ist, um die relevanten Daten für die VRML-Darstellung zu erzeugen, und die Qualität der entstandenen VRML-Welten in Hinsicht auf bestimmte Gesichtspunkte zu bewerten.

Im Anschluss an dieses Kapitel wird auf die Aufgabenstellung (Kap. 2) eingegangen. In Kapitel 3 folgen Ausführungen zum Branitzer Park und dessen Geschichte, und die Motivation für einzelne Parkmodelle wird erläutert. Kapitel 4 geht auf VRML ein, und Aspekte der Optimierung einer VRML-Welt werden beschrieben. In Kapitel 5 werden die Grundlagen eines GIS, die unterschiedlichen Datentypen, sowie die verwendete Software ArcGIS erklärt. Weiterhin werden die Relevanz einer 3D-Computergrafik Software und das vorhandene Datenmaterial beschrieben. In Kapitel 6 wird auf die Überführung der Rohdaten in ein Geländemodell eingegangen und die Erzeugung weiterer Daten in der 3D-Computergrafik Software erläutert. Die Zusammenführung aller erzeugten Daten zu einer kompletten virtuellen Welt wird in Kapitel 7 beschrieben. Im letzten Kapitel (8) erfolgt eine Bewertung der entstanden virtuellen Welten sowie des verwendeten Geoinformationssystems und Schlussfolgerungen werden gezogen.

## 2 Aufgabenstellung

Im Rahmen des Projektes Virtueller Branitzer Park soll ein VRML-Modell des heutigen Branitzer Parks erstellt werden, sowie mittels historischer Karten, Teilansichten des Parks vor 150 Jahren, und ein Modell für zukünftige Bebauungsszenarien. Es liegen Daten vor, die durch ein Laserscanning einer Überfliegung erhoben wurden, sowie historisches und aktuelles Kartenmaterial. Darüber hinaus gibt es bereits erzeugte VRML-Modelle von Teilen des Parks. Für die Bearbeitung und Erstellung der detaillierten Modelle des Parks wird ein Geoinformationssystem zum Einsatz kommen. Im weiteren Verlauf kommt ein 3D-Modeller, zum Nachbearbeiten und zur Erzeugung repräsentativer Teile des Parks, zum Einsatz. Die Arbeit entstand im Rahmen einer Kooperation des Lehrstuhls Grafische Systeme mit dem Systemhaus Stahr, Cottbus.

# 3 Die Branitzer Parklandschaft

## 3.1 Einführung zum Branitzer Park

Die Branitzer Parklandschaft, nahe der Stadt Cottbus gelegen, gehört zu den bekanntesten kulturgeschichtlichen und touristischen Attraktionen der Region. Cottbus befindet sich im südöstlichen Teils des Bundeslandes Brandenburg, das wiederum im Osten Deutschlands liegt (Abb. 3.1). Cottbus hat heute ca. 102.000<sup>1</sup> Einwohner und zählt somit, als zweitgrößte Stadt des Bundeslandes, zu den Großstädten.



Abbildung 3.1: Die beiden Kartenausschnitte stellen die Lage von Cottbus und dem Branitzer Park in Deutschland dar. Quelle: Google Earth

Der Branitzer Park ist nach dem Zonierungsprinzip<sup>2</sup> angelegt, wodurch sich die einzelnen Bereiche gestalterisch voneinander abgrenzen. Der Branitzer Park gliedert sich in einen inneren Park und den sehr viel größeren Außenpark. Der innere Park hat eine Größe von ca. 100 Hektar und wird oft gemeint, wenn vom Branitzer Park gesprochen wird. Zum inneren Park gehören neben den beiden Pyramiden im Westen auch die Gärtnerei und die Schmiede im Osten. Das um 1770 erbaute Schloss, sowie die gegenüberliegenden Gebäude, der Marstall und das Kavaliershhaus, bilden dabei das Zentrum des Parks. Die bekanntesten Teile des Parks sind der Pleasureground (Blumenpark) mit dem Schloss

<sup>1</sup>Stand 2007 Quelle: <http://www.wikivoyage.org/de/Cottbus> Besucht 17.12.2007

<sup>2</sup>Das Zonierungsprinzip beschreibt die Aufteilung eines Gebietes in mehrere Areale



und der Pyramidenground mit dem Tumulus (Wasserpypamide), der Landpyramide und der ägyptischen Brücke. Wie bereits erwähnt, wird der innere Park von einem Außenpark umgeben. Dieser gestaltet sich kranzartig um den inneren Park und hat eine Größe von ca. 600 ha.

### 3.2 Geschichte des Parks

Der Branitzer Park hat eine belegte Geschichte, die über 550 Jahre zurück reicht. Hier soll nur auf die Zeit von 1845 bis 1903 eingegangen werden. In dieser Zeit geschahen die meisten baulichen sowie gestalterischen Veränderungen, die deshalb Anregungen zur Erstellung historischer Parkmodelle sein können. Bei den Ausführungen zu den geschichtlichen Daten wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben.

Der Branitzer Park gilt als Alterssitz des Fürsten Hermann von Pückler-Muskau. Der Fürst wollte mit dem Branitzer Park, seiner Hauptschöpfung, dem Muskauer Park, ein ganz eigenes Werk hinzufügen. Pückler hatte in Branitz weniger gute natürliche Gegebenheiten. Die Umgebung des geerbten Gutes gab wenig her, und das Schloss war in vernachlässigtem Zustand. Die Wirtschaftsgebäude, sowie schlechte Stallungen unmittelbar am Wohnhaus, hatten mit einem schönen und bequemen Altersruhesitz, wie er Pückler vorschwebte, wenig zu tun. Eine sandige, ebene Kiefernheide umgab das Anwesen, und die Stadt Cottbus war als Silhouette am Horizont zu sehen. Er begann 1845 aus einer 'Wüste' in der 'märkischen Streusandbüchse' eine 'Oase' zu schaffen. [14, S. 6-7]

Pückler verkaufte im April 1845 die Standesherrschaft Muskau. Im August des gleichen Jahres begannen in Branitz erste Kauf- und Tauschverhandlungen mit den Bauern, die ihre Höfe beiderseits des Dorfteiches, heutiger Schwarzer See, hatten. Ab 1846, nach Aufenthalt des Fürsten in Thüringen, Babelsberg und Italien, begann Pückler mit der Gestaltung des Parks. Drei Parkpläne wurden in dieser Zeit erstellt und ein 13 Hektar umfassendes Areal gestaltet. Der vorhandene Schlossgraben wurde teilweise zugeschüttet. Im April 1847 kam der Dresdner Baumeister auf Einladung Pücklers, Gottfried Semper nach Branitz und fertigte mehrere Zeichnungen an. Zu dieser Zeit wurde eine Fläche von 40 Hektar, im Mittelpunkt das Schloss, bearbeitet. Größere Erdumschichtungen sowie Aushebungen begannen. 1847 bis 1848 erfolgten wichtige Eingriffe an der heutigen Pergola, sowie Arbeiten am ursprünglichen Wirtschaftsgebäude, dem heutigen Marstall, das nach dem Vorbild der Tudorgotik umgestaltet wurde. Es diente damals als Stall, Wagenremise und Wohnraum. 1850 erhielt das Schloss durch Aufschüttung eine Terasse. 1847 bis 1851 wurde das Parkinspektorenhaus, heutiges Torhaus, umgebaut. 1848 bis 1850 wurde das Blaue Haus, das Ananashaus und das Treibhaus der Schlossgärtnerei errichtet. 1849 bis 1851 entstand die Parkschmiede im Tudorstil und diente neben der wirtschaftlichen Nutzung auch als Wohn- und Torwächterhaus. Sie bildete den Haupteingang zu Park und Schloss Branitz. Bis 1850 wurden etwa 400 große Bäume gepflanzt, wovon 20 Prozent wieder eingingen und ersetzt werden mussten. Die ersten Arbeiten gelangten zu einem Abschluss, und die Familie Pückler nahm Branitz als ständigen Wohnsitz. 1853 hat der Park eine gestaltete Fläche von 38 Hektar. Von 1855 bis 1857 wurden der Pyramidensee ausgehoben, der Tumulus aufgeschüttet und die Wasserfläche

am Schloss mit dem Schilfsee verbunden. Zwischen 1857 und 1860 fanden umfangreiche Veränderung am Schloss statt, das Torhaus am Muskauer Weg wurde erbaut und das Parisol errichtet. Die Aufschüttung der Landpyramide begann und wurde 1862 abgeschlossen. Ursprünglich war sie als Stufenpyramide angelegt und zur Begräbnisstätte für die Fürstin Pückler bestimmt. 1864 bis 1867 wurde die ägyptische Brücke am Fuße der Landpyramide errichtet. 1868 begannen die Arbeiten am hinteren Schlangensee und dem Hermannsberg, der höchsten Erhebung im Branitzer Park. Am 4. Februar 1871 stirbt Fürst Pückler-Muskau auf Branitz. Den Branitzer Park erbte sein Vetter, Hermann Victor Sylvius Albrecht Ludwig Heinrich Graf von Pückler (1835-1897). 1877 bis 1882 wurden verstärkt Instandsetzungsarbeiten und bauliche Veränderungen vorgenommen. 1879 pflanzte Parkinspektor Bleyer, überwiegend Kiefern auf dem Hermannsberg, sowie Weymouthkiefern und Fichten an verschiedenen Stellen im Park. 1871 bis 1890 fanden Eingriffe im Gelände der Gärtnerei statt, wie der Abriss des Blumensalons und des Vermehrungshauses. Mit dem Tode Graf Heinrichs (1897) war der Park nunmehr fast vollendet. 1903 wurde ein Parkplan angefertigt. Zu dieser Zeit umfasste der Branitzer Park ca. 650 Hektar. [5, S. 37-43]

### **3.3 Der Branitzer Park als virtuell begehbare Modell**

#### **3.3.1 Das virtuelle Modell "Branitzer Park" und die Sichtachsen**

Der Branitzer Park wurde, vom Systemhaus Stahr in Zusammenarbeit mit der Stiftung des Branitzer Parks, schon als VRML-Modell realisiert. Die Bereiche der Pyramiden bis hin zum Hermannsberg und der Bereich des Schlosses mit Marstall und Kavalierhaus sind bereits modelliert. Als Grundlage für die Erzeugung dieser Modelle diente eine CAD<sup>3</sup>-Karte, anhand derer die beiden Szenarien mit Hilfe einer 3D-Computergrafik Software manuell "nachgebaut" wurden. Es fand hier nur eine Annäherung an das reale Abbild des Parks statt, und somit stellt es kein an der Realität exakt orientiertes, virtuelles Modell dar. Weiterhin ist die Vegetation, die eine wichtige Rolle für den Park spielt, in ihrer Darstellung nur exemplarisch angedeutet. Die bereits bestehenden Gebäude, wie beispielsweise das Schloss und umliegende Bebauung, sind hingegen sehr detailreich modelliert und lassen sich mit dem Original gut vereinbaren. In dieser Arbeit werden Teile übernommen und in das Ergebnis einfließen. Die Grundlage für eine weiterführende Arbeit ist zusätzliches Datenmaterial, mit dem es möglich ist, ein Modell mit größerer Genauigkeit zu erstellen. Material aus Fernerkundungen, das die exakte Bestimmung der Oberflächenform ermöglicht, sowie Karten, die die Standpunkte von Bäumen und Gebäuden definieren, bilden dabei das Fundament. Benötigtes, schon modelliertes Material, wie die Gebäude, wird in die Arbeit übernommen und gegebenenfalls modifiziert. Einen wichtigen Anhaltspunkt für die Gestaltung des Modells bilden Sichtachsen, die Pückler zu seiner Zeit bewusst in den Park eingearbeitet hat. Sie sollen bei der Erstellung und Platzierung von Objekten und Bäume im Modell, besonders berücksichtigt werden. Das virtuell begehbare Modell soll einen Eindruck des heutigen Parks vermitteln, aus dem

---

<sup>3</sup>CAD steht für Computer Aided Design und meint das computergestützte Konstruieren

auch Vergleiche zu historischen und zukünftigen Modellen möglich sind.

### 3.3.2 Motivation für historische Parkmodelle

Unter dem Aspekt, Einblicke zu geben, wie der Park zu Pücklers Lebzeiten aussah, können Szenarien erstellt werden, die das Aussehen des gesamten Parks oder von Teilen des Parks, vor und während der Entstehung widerspiegeln. Im Vordergrund stehen prägnante Veränderungen des Geländes mit seinen Wegen, Gewässern und Bäumen. Desweiteren sind Veränderungen an Gebäuden nicht irrelevant und werden in die Erzeugung mit einbezogen. Die Erstellung eines Szenarios stützt sich auf die detaillierte Beschreibung der Parkgeschichte zwischen 1845-1903 (Kap. 3.2), in der häufig Veränderungen am Park vorgenommen wurden. In dieser Zeit vollzog sich eine rasante Entwicklung, da die Veränderung der Landschaft, der Gebäude, der Vegetation und der Ausdehnung des Parks schnell voranschritt. Innerhalb von ca. 60 Jahren wuchs der Park von 13 Hektar auf 650 Hektar an.

Dies begründet sich einerseits darin, dass Pückler unter gewissen Druck stand, da er selber schon 60 Jahre alt war, als er den Park übernahm, in dem er seinen Altersruhesitz sah. Andererseits hatte Pückler durch einen Vertrag mit dem städtischen Gefängnis bis zu 130 Arbeiter zur Verfügung, was ihm half, seine Pläne in kürzester Zeit umzusetzen. [5, S. 41]

Es sollen aus vorhandenem Kartenmaterial, Bildern und Vermessungsdaten, Modelle und damit Sichten zu ausgewählten Zeiten rekonstruiert werden. Von besonderem Interesse sind Szenarien, die sich überwiegend auf vorhandenes Material stützen, um möglichst ein annähernd reales, nachvollziehbares Modell zu erhalten. Hierbei besteht kein Anspruch auf vollständige historische Korrektheit der entstehenden Modelle, es sollen vielmehr Einblicke gegeben werden, wie es hätte aussehen können. Relevante Fakten, die nicht oder nur teilweise überliefert sind, die aber zur Erzeugung eines aussagekräftigen Szenarios nötig wären, werden nach bestem Wissen und Gewissen ergänzt.

### 3.3.3 Motivation für fiktive Parkmodelle

Der Außenpark diente zu Lebzeiten des Fürsten Pückler als Einstimmung auf den inneren Park sowie als wichtiger wirtschaftlicher Faktor für den gesamten Branitzer Park. Um die Wirtschaftlichkeit zu sichern, und dennoch gestalterisch mit dem inneren Park zu harmonisieren, wurde durch den Fürsten Pückler-Muskau der Außenpark im Sinne einer Ornamental Farm<sup>4</sup> gestaltet und betrieben. Für das Parkerlebnis waren diese landwirtschaftlich genutzten Flächen von großer Bedeutung. Der Fürst hatte seinerzeit eine Trennung in Innen- und Außenpark, wie es heute der Fall ist, nicht angestrebt. Seine Intention war, das gesamte Areal gärtnerisch zu gestalten. Er hatte die Absicht eine Route anzulegen, die eine Umfahrung des kompletten Parks ermöglicht, und von der Blicke in den Park, aber auch hinaus möglich sind, ohne die Grenzen zu errahnen. [5] *Ettrich* schreibt: *„Die schönsten Punkte entlang dieser Routen sind häufig mit der ‚Lebensreise‘*

---

<sup>4</sup>ausgeschmückte Landwirtschaft

*des Fürsten Pückler verknüpft. Bild- und Bauwerke, Bäume und Seen, Inseln und Wege, Lichter und Schatten, Farbe und Raum offenbaren das Streben nach der Einheit der Künste und dem Traum vom Gesamtkunstwerk.”* [5, S. 6]

Nach dem Tode des Fürsten und nach den Entwicklungen ab 1945, die mit der Enteignung, der Ansiedlung von Neubauern und der anschließenden Kollektivierung der Landwirtschaft verbunden waren, verlor der Außenpark zunehmend seine gestalterischen Konturen. Das von Pückler angestrebte Gesamtkunstwerk konnte immer weniger als solches wahrgenommen werden, da der Zusammenhang zwischen Außen- und Innenpark immer undeutlicher wurde. Als Folge dieser Entwicklung verschwanden mehr und mehr Sichten, die Pückler ursprünglich gezielt eingesetzt und seinen Park nach diesen entworfen und angelegt hatte. Weiterhin sind große Teile des Pücklerschen Parkareals durch bergbaubedingte Grundwasserabsenkungen beeinträchtigt worden. Durch intensive landwirtschaftliche Nutzung gingen kleinteilige Strukturen verloren, und zahlreiche Zweckbauten wurden errichtet. Diese werden als Störung des Gesamtensembles wahrgenommen. [13]

Heutige Maßnahmen der Stiftung Fürst-Pückler-Museum beschäftigen sich mit der Erhaltung und Wiedergewinnung des Gesamtkunstwerkes Branitzer Park- und Kulturlandschaft und, damit verbunden, mit der Wiederherstellung der Sichten. [13, S. 24] Von weiterem Interesse ist die Entwicklung in der näheren Umgebung, aber auch die Entwicklung des Branitzer Parks selbst, um Aussagen über eventuell entstehende, unerwünschte Sichten zu treffen und gegebenenfalls diesbezügliche Veränderungen im Vorfeld zu unterbinden. Teilziel dieser Arbeit ist es, Sichten zu generieren, die Szenarien andeuten sollen, unter der Annahme, dass geplante Bauvorhaben durchgeführt werden oder auch natürliche Phänomene, wie beispielsweise die Absenkung des Wasserspiegels oder das Absterben von Bäumen, bedingt durch einen Klimawandel, auftreten. Es gilt zu untersuchen, inwiefern sich Sichten von verschiedenen Standpunkten im Vergleich zu heute verändern. Es soll sich hierbei so nah wie möglich an der Realität orientiert werden, um möglichst genaue Szenarien zu erzeugen.

# 4 VRML

## 4.1 Einführung

Zur Realisierung des Branitzer Parks als virtuell begehbare Modell bedarf es einer Möglichkeit der Darstellung. Als Plattform zur Repräsentation der generierten Szenen soll VRML dienen. Hase schreibt: *”VRML (Virtual Reality Modeling Language) ist im wesentlichen ein Dateiformat zur Beschreibung von Objekten im Raum. Diese Objekte können außer dreidimensionalen geometrischen Strukturen auch eine Reihe anderer Dinge enthalten, und zwar alles, was man zur Beschreibung dreidimensionaler Welten oder Szenen benötigt; hierzu gehören zum Beispiel auch Bilder und Töne.”* [6, S. 9] Mittels VRML ist es dem Anwender möglich, durch virtuelle Welten zu navigieren und mit Objekten zu interagieren. Virtuelle Welten werden in VRML mittels Objekten beschrieben. Diese Objekte werden Knoten genannt und sind die Grundbausteine einer VRML-Datei. Knoten können beliebige Inhalte speichern, wie beispielsweise Transformationen, Materialeigenschaften, Geometrieigenschaften uvm. Eine komplette Übersicht der Knoten ist in [11, S. 74-84] zu finden. VRML erlebte 1994 seine Geburtsstunde. Es wurde entwickelt mit dem Ziel, eine dreidimensionale Schnittstelle für das World Wide Web (WWW) zu schaffen. [11, S. 7-9] VRML besitzt nach Daessler [12, S. 111]

- Geometrische Primitive (Kegel, Kugel, Zylinder)
- Licht-, Material-, Textur-, Videosteuerung
- Räumliche Klänge
- Animationen
- Kollisionserkennung durch Verkörperung des Betrachters
- Hyperlinks, Aussichtspunkte, Navigationsarten
- Prototyping zur Spracherweiterung
- Verschiedene Skriptsprachen für die Implementierung einer Szenenlogik
- Ergebnisbehandlung und Ereignisweiterleitung

VRML gleicht herkömmlichen Programmiersprachen nicht. Der Quelltext wird im ASCII-Format geschrieben und nicht kompiliert, um ihn auszuführen, sondern vom darstellenden Rechner abgearbeitet und direkt wiedergegeben. [6, S. 2] Um VRML-Szenen zu betrachten, bedarf es eines VRML-Browsers. Dieser muss die Fähigkeit besitzen,

VRML-Quellen zu parsen und als dreidimensionale Szene darstellen zu können. Je nach Ausführung ist dieser Browser entweder ein eigenständiges Programm, das ohne einen WWW-Browser auskommt, oder eine durch ein Plugin integrierte Lösung. Es gibt eine Vielzahl von VRML-Browsern als Plugin oder Standalone<sup>1</sup>. Ausschlaggebend für die Wahl eines VRML-Browsers zur Darstellung der generierten Szenen sind Stabilität, korrekte Darstellung der Szenen und eine gute Navigierbarkeit. Für die Arbeit kommt der VRML-Browser *BS Contact V. 7.039* der Firma Bitmanagment Software GmbH zum Einsatz. Der Browser bietet die Möglichkeit, VRML-Welten im WWW-Browser oder in einem eigenständigen Fenster zu betrachten.

## 4.2 Überlegungen zu Performance und Qualität der VRML-Welten

VRML wird für dieses Projekt genutzt, da es auf jedem Computer lauffähig ist und keiner großen Vorbereitungen durch den Benutzer bedarf. Grundvoraussetzung, neben einem Computer, ist der VRML-Browser. Da von realen Gegebenheiten ausgegangen wird, in der Kapazitäten beschränkt sind, ist es nötig, im Vorfeld zu klären, welche Ausmaße eine Szenerie annehmen kann, um komplexe Inhalte dennoch adäquat darstellen zu können. Zu den ausschlaggebenden Faktoren für die Qualität der Darstellung und Benutzbarkeit zählt zum einen die benutzte Hardware und gegebenenfalls die Geschwindigkeit des Internetzugangs. Zum anderen ist die Größe und Komplexität der VRML-Welt maßgeblich für die Performance. Da kein Einfluss auf verwendete Hardware genommen werden kann, soll sie für weitere Überlegungen außer acht gelassen werden. Der Ansatz, um eine gewisse Leistung und Stabilität zu gewährleisten, besteht darin, die Optimierung an den VRML-Szenen vorzunehmen. Ein Aspekt, der dazu beitragen soll, ist die einfache Editierbarkeit durch einen elementaren Aufbau der Szene. Das heißt, dass es jeder Zeit möglich sein soll, kleinste Veränderung vornehmen zu können, ohne komplette Quelltexte zu durchsuchen. Einzelne Modelle werden als eigenständige Objekte in die komplette VRML-Welt integriert und können auch außerhalb des Zusammenhanges einer Szene betrachtet werden. Weiterhin gilt es zu ermitteln, welche Faktoren einer VRML-Szene lange Ladezeiten verursachen, oder die Navigation durch die virtuellen Welten beeinträchtigen. Möglichkeiten zur Reduzierung der Daten und die damit verbundene Performancesteigerung sollen im Folgenden beschrieben werden. Die Ausführungen sind Auszüge und stützen sich auf *Chen* [2, S. 84-85].

### Strukturierung der Modelle

Einzelne Objekte, die nicht aus geometrischen Primitiven bestehen, sind in VRML durch *IndexedFaceSets*<sup>2</sup> beschrieben. Szenen mit einer großen Anzahl von *IndexedFaceSets* verlangsamen den Browser. Wenn diese Einzelobjekte zu einem Objekt zusammengefasst werden, erhöht sich die Geschwindigkeit drastisch. Desweiteren sollte in der VRML-Datei

---

<sup>1</sup>für sich allein ausführbares Programm

<sup>2</sup>*IndexedFaceSets* definieren eine Menge von Polygonflächen

das Backface Culling<sup>3</sup> aktiviert werden, wann immer möglich. Dies kann die Renderzeit um die Hälfte verkürzen.

### **Szenen-Komplexität**

Die Komplexität einer Szene, in Abhängigkeit vom Betrachterstandpunkt, kann mit dem Level of Detail-Knoten (LOD) reduziert werden. Nicht immer ist es nötig, ein Objekt in all seinen Einzelheiten zu sehen, wenn man sich weit entfernt hat. Mit dem LOD-Knoten kann bestimmt werden, ab welcher Entfernung komplexe Objekte durch vereinfachte ersetzt werden. Um den Effekt eines plötzlich aus dem Nichts entstehenden Objekts zu umgehen, muss ein gewisser Raum zwischen den einzelnen Objekten bestehen. Deshalb kommt das Prinzip des LOD oft nur in weit geöffneten Räumen zur Anwendung.

### **Räumliche Organisation**

Die meisten Browser rendern komplette Gruppen- und Transformationsknoten gleichzeitig, um die Geschwindigkeit des Renderns zu erhöhen. Sind zwei Objekte gruppiert, die räumlich stark separiert sind, reduziert das die Möglichkeit des Browsers, zu entscheiden, welche Gebiete gerendert werden müssen. Beide Objekte werden immer gerendert, sobald eines von beiden innerhalb des Sichtkegels des Anwenders ist. Daher sollte schon im Vorfeld darauf geachtet werden, welche Objekte gruppiert werden. Desweiteren ist es bei räumlich weit ausgedehnten Objekten, wie einem Terrain, sinnvoll, die Geometrie in einzelne räumlich kompakte Cluster zu unterteilen, wenn der Benutzer immer nur einen kleinen Teil der Szenerie betrachtet. Das IndexedFaceSet wird in mehrere unterteilt. Das ermöglicht dem Browser, Bereiche auszusondern, die nicht im Sichtfeld des Betrachters sind, was sich in einer Steigerung der Performance widerspiegelt.

### **Instanziierung**

Die Instanzierung einzelner Objekte ist eine weitere Möglichkeit, die Performance einer VRML-Welt zu erhöhen. VRML hat dafür die 'DEF'- und 'USE'-Befehle. Schon einmal benutzte Geometrie kann somit beliebig oft instanziiert werden. Der Vorteil besteht darin, dass der Overhead einer Datei drastisch reduziert werden kann, was sich auch auf die Leistung auswirkt. Der Nachteil dabei besteht darin, dass jedes instanziierte Objekt ein Abbild vom Original ist, das heißt, wird das Original verändert, verändern sich auch alle Instanzen. Für Knoten, die auf das Dateisystem zugreifen müssen, um beispielsweise Bilder zu laden, reduziert sich die Ladezeit signifikant.

---

<sup>3</sup>Der Begriff Backface Culling bezeichnet eine Technik der 3D-Computergrafik, mit der ein Großteil von nicht sichtbaren Dreiecken einer Szene eliminiert werden kann, um so die Darstellungsgeschwindigkeit zu erhöhen.

## **Texturen oder Polygone**

Texturen können komplexe Geometrie ersetzen. Dabei sollten verwendete Texturen möglichst wenig Speicher belegen und wenig transparente Bereiche besitzen, um maximale Leistung sicherzustellen. Sie sollten an den Stellen eingesetzt werden, an denen die Realisierung eines Objektes, aufgrund der Detailliertheit mittels Polygonen, zu aufwändig wäre.



# 5 Software & Datengrundlagen

## 5.1 Geoinformationssysteme

Ein Geoinformationssystem, kurz GIS, ist ein Informationssystem für raumbezogene Daten. Es erfasst und verarbeitet Objekte und deren Beziehung zu anderen Objekten der realen Welt. Eine grundlegende Definitionen für GIS gibt es in der Forschungswelt nicht, daher sei an dieser Stelle auf *Bill* verwiesen. *„Ein Geographisches Informationssystem ist ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software, Daten und Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfasst und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert, und analysiert sowie alphanumerisch und graphisch präsentiert werden.“* [1, S. 5]

Räumliche Daten werden in einer Datenbank gespeichert und organisiert. Dies erlaubt einen schnellen sowie sicheren Zugriff und garantiert zügige Abfragen für Analyse- und Auswertungszwecke. Die Anfänge der GIS liegen in den 60er Jahren, als man begann, die geografische Beschaffenheit der Erde mittels Computerdatenbanken darzustellen und zu visualisieren. [8, Seite 6] Ab den 80er Jahren wuchs dieser Markt drastisch, als das große Potential erkannt, und unabkömmlich für Wirtschaft, Regierung und Forschung in vielerlei Anwendungsgebieten wurde. [4, Abschnitt 1-2] Heute werden nach *Liebig* [9, Seite 3] GIS u.a. in den folgenden Bereichen eingesetzt:

- Umweltschutz (Biotop- und Nutzungstypen, Altlastenkataster, Nationalpark)
- Notdienste (Polizei, Feuerwehr, Rettungswesen)
- Stadt- und Raumplanung (Deponiestandorte, Kanalnetze)
- Versorgungsunternehmen (Strom, Wasser, Gas, Kommunikation)
- Land- und Forstwirtschaft
- Wissenschaft und Technik (Geologie, Geographie, Biologie, Hydrografie <sup>1</sup>, Bergbau)
- Fachhochschulen, Universitäten, Software- und Hardwarefirmen (Informatik, Mathematik)

---

<sup>1</sup>Hydrografie oder auch geografische Gewässerkunde bezeichnet die Lehre von Erscheinungsformen, Eigenschaften, Vorkommen, Verbreitung und Haushalt des Wassers in Verbindung mit der Erdoberfläche.

## 5.2 Aufbau und Funktionsweise von ArcGIS

### 5.2.1 ArcGIS-Anwendungen

In dieser Arbeit geht es vornehmlich um die Realisierung und Präsentation dreidimensionaler Daten. Deshalb soll in diesem Kapitel näher auf ausgewählte Bestandteile der ArcGIS-Produktfamilie eingegangen werden, da diese einen Kernpunkt darstellen. Unter dem Aspekt, Möglichkeiten zu diskutieren, adäquate 3D-Modelle zu erzeugen und einen großen Teil dieses Prozesses in einem GIS zu realisieren, ist es notwendig, genauer auf das Verwendete einzugehen. Die folgenden Ausführungen stützen sich hauptsächlich auf die Hilfe von ArcGIS, solange nicht anders vermerkt. Für diese Arbeit wurde das Softwarepaket ArcGIS von ESRI<sup>2</sup> zur Verfügung gestellt, mit dem es möglich ist, Daten zu erfassen, zu verwalten, zu strukturieren, zu analysieren und zu visualisieren. ArcGIS ist der Sammelbegriff für eine umfassende GIS-Produktfamilie, die aus sich ergänzenden GIS-Software-Produkten besteht. Es ist in verschiedene Module gegliedert, die unabhängig voneinander genutzt werden können. ArcGIS wurde von ESRI entwickelt und wird stetig weiterentwickelt.

Als Grundvoraussetzung zur Erstellung, Bearbeitung oder Aufbereitung von raumbezogenen Daten dient das Modul ArcGIS Desktop. ArcGIS Desktop setzt sich wiederum aus den Anwendungen ArcMap und ArcCatalog zusammen.

**ArcMap** ArcMap ist eine kompakte Anwendung, mit der Geodaten erstellt, ausgewertet und präsentiert werden können. Es stellt die zentralen Funktionen wie das Editieren, Analysieren und Erstellung von Karten aus raumbezogenen Daten zur Verfügung. ArcMap kennt generell zwei verschiedene Ansichten:

- Die Datenansicht ist eine Umgebung, in der raumbezogene Daten als Layer symbolisiert sind. Diese können analysiert und zu gewünschten Sichten zusammengestellt werden. Ein Inhaltsverzeichnis strukturiert Anzeige und Zugriff auf die Darstellungseigenschaften. Die Datenansicht liefert einen Blick auf einen Ausschnitt beliebiger GIS-Daten.
- Die Layoutansicht ist eine dem Seitenlayout einer Karte entsprechende Ansicht mit zusätzlichen kartografischen Elementen wie: dem Maßstabsbalken, einem Nordpfeil oder Übersichtskarten, Legenden, Planstempel, etc. Diese Ansicht dient für die Anordnung aller zur Ausgabe vorgesehenen Elemente im Layout. Es handelt sich um eine Vorbereitung für die Ausgabe in Druckform oder als Grafik.

**ArcCatalog** ArcCatalog ist eine Managementoberfläche, in der alle Daten und Dokumente verwaltet werden. Es wird dann eingesetzt, wenn Daten erstellt, gesucht, struk-

---

<sup>2</sup>ESRI (Environmental Systems Research Institute) mit Sitz in Redlands, Kalifornien (USA), ist die weltweit erfolgreichste Firmengruppe auf dem Gebiet der Geografischen Informationssysteme (GIS) und in mehr als 90 Ländern der Erde tätig. In Deutschland wird ESRI Inc. durch die 1979 gegründete ESRI Geoinformatik GmbH in Kranzberg bei München als exklusivem Distributor vertreten.

turiert, organisiert oder über Metadaten dokumentiert werden sollen. Hierzu gehören Karten, Globen, Datensätze, Modelle, Metadaten und Dienste.

**ArcToolbox** Arc Toolbox vereint alle Werkzeuge, mit denen man vorhandene Daten bearbeiten kann. Es dient als Zusammenfassung aller möglichen Operationen auf Daten und Datensätzen.

**Spatial Analyst** Für die Analyse räumlicher Beziehungen von Daten, zur Erstellung von Funktionsmodellen und für komplexe Berechnungen gibt es das Modul ArcGIS Spatial Analyst. Der ArcGIS Spatial Analyst stellt ein großes Repertoire an Werkzeugen und Analysemöglichkeiten von Rasterdaten zur Verfügung.

### 5.2.2 ArcGIS Erweiterung 3D–Analyst

Wie bereits in Kapitel 5.2.1 erwähnt, ist die Einbeziehung der dritten Dimension und damit die Darstellung sowie Analyse von Oberflächendaten, ein zentraler Punkt. Der ArcGIS 3D-Analyst ist eine Erweiterung, mit der es ermöglicht wird, in drei statt nur in zwei Dimensionen zu arbeiten. Der 3D-Analyst stellt u.a. folgende Funktionalitäten bereit:

- die Erstellung von dreidimensionalen Ansichten
- die Abfrage von Oberflächenwerten, Sichtbarkeitsanalysen, Volumenberechnungen
- die Navigation in drei Dimensionen
- die Erzeugung von Videosequenzen aus Visualisierungsergebnissen
- das Im-/Exportieren vorhandener Daten als VRML oder als Image

ArcGIS 3D-Analyst beinhaltet neben der Funktionalität, dreidimensionale Daten zu bearbeiten, auch zwei Anwendungen, die zur Visualisierung dieser Daten dienen, ArcScene und ArcGlobe.

**ArcScene** ArcScene ist eine Anwendung, um dreidimensionale Daten darzustellen und zu analysieren. Es ist möglich, jede beliebige Perspektive auf die Daten einzunehmen, wodurch ein realitätsnaher Eindruck vermittelt wird. In der dritten Dimension können Zusammenhänge sichtbar werden, die in einer zweidimensionalen Darstellung übersehen würden. Auch zweidimensionale Daten können räumlich dargestellt werden, indem sie über bestehende Höhenmodelle drapiert werden.

**ArcGlobe** ArcGlobe kann im Gegensatz zu ArcScene extrem große 3D-Datenbestände in globalem oder lokalem Kontext visualisieren. Es ist geeignet enorme Datenmassen darzustellen. Auch die räumliche Integration von 'nicht 3D-Daten' kann mit diesem Modul realisiert werden.

## 5.3 Datentypen

### 5.3.1 Das Shape-Format

ArcGIS benutzt ein eigenes Datenformat, das Shape-Format. Dieses kann von jedem Modul der ArcGIS-Reihe, aber auch von anderer GIS-Software gelesen und bearbeitet werden. Nicht topologische Geometrie und deren räumliche Informationen werden in einem Datensatz gespeichert, dem so genannten Shapefile. Ein Shapefile setzt sich wiederum aus mehreren Dateien mit jeweils gleichem Namen und unterschiedlicher Endung zusammen. In Abb. 5.1 werden die wichtigsten Dateien aufgelistet. Als Vorteile der

Datei	Funktion
Shapefile.shp	Die Hauptdatei in der die Geometrie gespeichert ist. (benötigt)
Shapefile.shx	Die Datei die den Index der Geometrie speichert. (benötigt)
Shapefile.dbf	Eine Tabelle im dBASE Format die die Attributinformation speichert. (benötigt)
Shapefile.sbn Shapefile.sbx	Dateien zur Speicherung des räumlichen Index.
Shapefile.xml	Metadatei für ArcGIS welche Informationen über das Shapefile enthält.

Abbildung 5.1: Auflistung der Daten die für ein Shapefile benötigt werden

Aufteilung in mehrere Dateien ergeben sich nach *Klemmer* [7]:

- Datensätze können schneller angezeigt werden
- einzelne Datensätze können aus unterschiedlichen Quellen miteinander verknüpft werden
- eine vereinfachte Editierbarkeit
- die Daten brauchen weniger Speicherplatz und sind einfacher zu lesen und zu schreiben

Ein Shapefile kann genau eine Geometrieart an Vektordaten besitzen. Diese werden im nächsten Kapitel näher erläutert.

### 5.3.2 Vektordaten

Vektordaten beschreiben die Geometrie von Punkten, Linien und Flächen und werden über Koordinaten definiert. Diese können entweder durch Messverfahren, wie das Laserscanning, oder mittels Kamera erhoben werden. Weiterhin ist die manuelle Eingabe von Vektordaten in ArcGIS möglich. Der Punkt, als kleinste geometrische Einheit, bildet dabei die Grundlage für alle Vektormodelle.

**Punkte** haben X-, Y-Koordinaten und, wenn es benötigt wird, eine Z-Koordinate, um eine Höhe zu repräsentieren. Sie besitzen keine räumliche Ausdehnung und somit keinen Radius. Standorte von Bäumen oder Straßenschilder werden meist als Punkt dargestellt.

**Linien** bestehen aus miteinander verbundenen, geordneten Punkten und deren dazugehörigen Koordinaten. Sie haben keine seitliche Ausdehnung und somit keine Breite. Verkehrswege werden mittels Linien dargestellt

**Flächen** bestehen aus geschlossenen Linien, d.h. Anfangs- und Endpunkt sind identisch. Als zweidimensionales Objekt haben sie eine Ausdehnung in X- und Y-Richtung. Länder oder Waldgebiete werden als Flächen dargestellt.

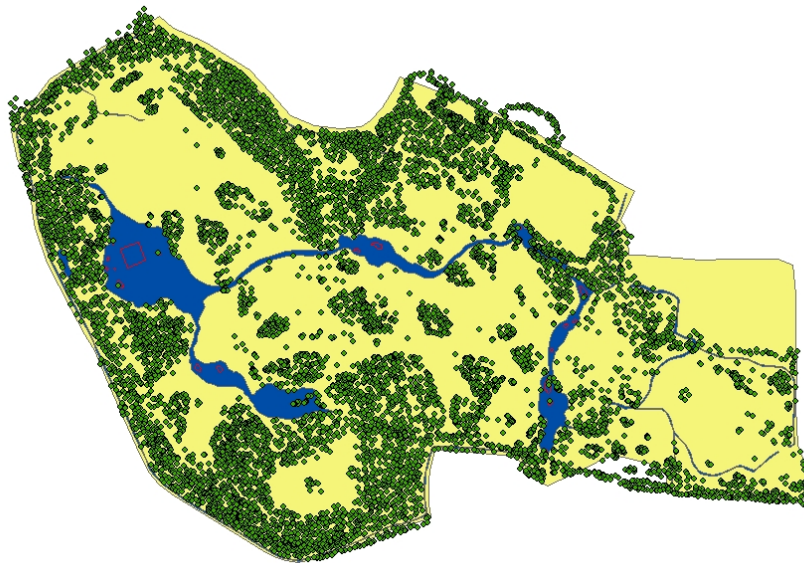


Abbildung 5.2: Beispiel für Vektordaten: Der innere Park

### 5.3.3 Rasterdaten

Rasterdaten sind im wesentlichen Bilddaten. Diese können aus einem Flugzeug oder Satelliten aufgenommen und digital bearbeitet werden. Eine weitere Methode ist, ein Raster aus Oberflächen-Scannings mittels Algorithmen zu interpolieren, worauf am Ende dieses Abschnitts eingegangen werden soll. Ein Rasterdatensatz ist ein Gitternetz, bestehend aus einzelnen Pixeln (Zellen), die regelmäßig in Zeilen und Spalten zu einer Matrix angeordnet sind. Die Genauigkeit wird hierbei von der Zelldimension bestimmt. Je kleiner die Zellen sind, desto präziser ist die Oberflächendarstellung.

Rasterdaten werden hauptsächlich für die Repräsentation von Bildern und Höhenmodellen (Abb. 5.3) eingesetzt. Dabei enthält jede einzelne Zelle einen X- und Y-Wert, bei Höhenmodellen einen Z-Wert, und kann darüber hinaus noch weitere rasterspezifische Werte beinhalten. Rasterdaten zeigen die Erdoberfläche aus einer senkrechten Sicht von oben, sind aber im Gegensatz zu Vektordaten in der Regel weniger detailliert, nicht skalierbar und weniger genau. Rasterdaten dienen in dieser Arbeit vornehmlich der Visualisierung von Geländedaten, um Eindrücke über Ausdehnung und Größe einzelner Objekte zu bekommen. Dies stellt eine räumliche Orientierung für die Arbeit mit anderen raumbezogenen Daten dar und bietet eine Vielzahl an Analysemöglichkeiten.

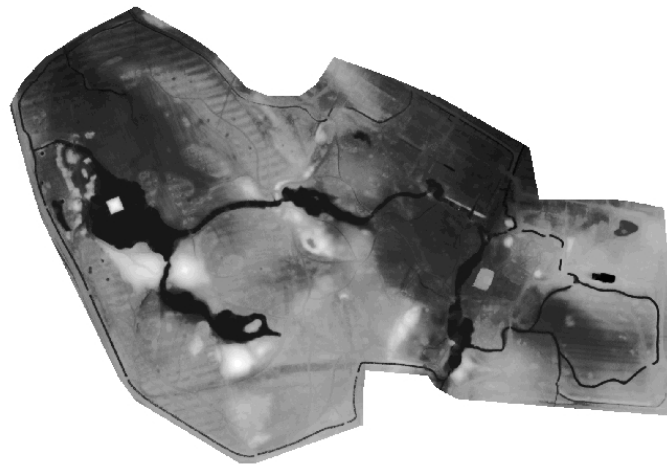


Abbildung 5.3: Rasterdarstellung des inneren Parks. Symbologie: helle bis weiße Bereiche stellen Erhebungen dar, dunkle bis schwarze Vertiefungen

Um Rasterdaten aus Shapefiles zu erhalten, müssen die Punkte mit Höhenwert nach bestimmten Algorithmen interpoliert werden. ArcGIS bietet hier vier Algorithmen, die durch Interpolation ein Raster erzeugen. Es wird jedoch an dieser Stelle nicht genauer auf diese Algorithmen eingegangen, sondern auf *DeMers* [3, ab Seite 266] verwiesen.

### 5.3.4 Sachdaten

Sachdaten beinhalten zusätzliche Informationen zu Raster- und Vektordaten. Sie werden separat gespeichert und beschreiben ihrerseits Attribute, die keine geometrischen Daten enthalten. Zu einer Fläche kann zum Beispiel die Länge der Umrisskanten oder der Flächeninhalt gespeichert werden.

### 5.3.5 Das TIN

#### 5.3.5.1 Merkmale eines TINs

Ein weiterer Datentyp, mit dem raumbezogene Daten bearbeitet und dargestellt werden können, ist das TIN<sup>3</sup>. Dieser Datentyp steht mit der Aktivierung des 3D-Analyst zur Verfügung. Ein TIN ist zusammengesetzt aus Knotenpunkten, Kanten, Dreiecken, und einem Hüllenpolygon. Diese Daten werden für jedes TIN in einem Ordner mit dem Namen des TINs angelegt. In diesem Ordner befinden sich in der Regel mehrere Dateien, die die topologische Struktur des TINs beschreiben. Die Dateien definieren ein TIN durch folgende Werte:

- Anzahl der Dreiecke
- Nummer jedes angrenzenden Dreiecks
- Punkte, die ein Dreieck definieren
- X- und Y-Koordinaten jedes Knotenpunktes
- Höhenwert jedes Knotenpunktes
- Kantentyp jeder Kante des Dreiecks (Kapitel 5.3.5.2)

Der Datentyp wird an dieser Stelle angeführt, da die Arbeit mit TINs einen zentralen Punkt darstellt und das Verständnis für die Arbeitsweise erleichtert werden soll. Wie in diesem Kapitel schon erwähnt wurde, ist ein TIN aus mehreren Attributen zusammengesetzt, auf die hier etwas näher eingegangen werden soll.

**Knotenpunkte** (*nodes*) bilden die Stützpunkte für das TIN. Sie besitzen einen Höhenwert.

**Kanten** (*edges*) verbinden jeden Knotenpunkt mit dem nächst gelegenen Nachbarn

---

<sup>3</sup>Triangulated Irregular Network

nach der Delaunay-Triangulation<sup>4</sup>, um Dreiecke zu formen. Dabei hat jede Kante mindestens zwei Knoten, wobei aber ein Knoten zwei oder mehr Kanten haben kann.

**Dreiecke** (*polygon*) beschreiben einen Teil der TIN-Oberfläche. Die Werte der X-, Y- und Z-Koordinaten eines Dreiecks können benutzt werden, um verschiedene Informationen abzuleiten, beispielsweise die Form, Neigung oder Größe der Oberfläche. Das komplette TIN betrachtend, ist es möglich, weitere Informationen abzuleiten wie Oberflächenvolumen, Oberflächenprofile, und es bietet die Möglichkeit, Sichtbarkeitsanalysen durchzuführen.

**Die Hülle** (*hull*) eines TINs ist ein weiteres wesentliches Attribut. Sie besteht aus einem oder mehreren Polygonen und beinhaltet alle Punkte, die zum Konstruieren des TINs benötigt werden. Die Hülle definiert das Gebiet des TINs und grenzt dieses ab. Es ist nur möglich, innerhalb und auf diesen Grenzen zu arbeiten, um beispielsweise Höhenwerte zu interpolieren, Analysen durchzuführen oder Oberflächenansichten zu generieren. Außerhalb der Hülle sind keine Informationen ableitbar. Ein wichtiger Aspekt, der im weiteren Verlauf der Arbeit noch aufgegriffen werden wird, ist die Konvexität der Hülle eines TINs. Von ArcGIS erzeugte TINs werden immer konvex erzeugt. Eine konvexe Hülle ist ein Polygon mit der Eigenschaft, dass jede Linie, die beliebige zwei Punkte verbindet, selber in der Hülle oder Teil der Hülle sein muss. Bei Datenmaterial, das konkave Formen beschreibt, wird die Hülle dennoch konvex erzeugt, um die begrenzenden Kanten zu definieren. Eine nicht-konvexe Hülle muss daher durch den Anwender selbst definiert werden. Diese wird durch Operationen auf das TIN erzeugt. Ohne diese Operationen werden inkorrekte Werte, in den Bereichen ohne Datengrundlage, interpoliert und das TIN somit falsch dargestellt, was die Abbildung 5.4 verdeutlicht.

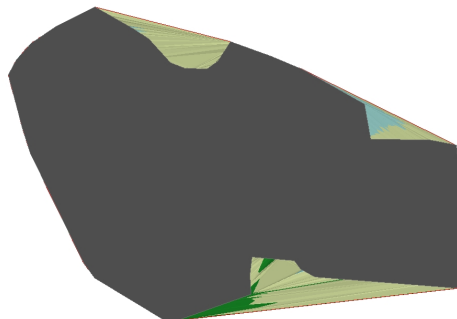


Abbildung 5.4: Die entstandene konvexe Hülle (bunt) und die Ausdehnung des Datenmaterials (grau) für ein TIN

---

<sup>4</sup>Die Delaunay-Triangulation beschreibt eine Technik, um ein kontinuierliches Netz nicht überlappender Dreiecke aus einem Datensatz von Punkten zu generieren. Die Delaunay-Triangulation ist benannt nach dem russischen Mathematiker Boris Nikolaevich Delaunay.



### 5.3.5.2 Erstellung und Bearbeitung eines TINs

Die Möglichkeit ein TIN zu generieren und zu bearbeiten, nimmt für diese Arbeit eine zentrale Bedeutung ein. Deshalb soll im Folgenden genauer darauf eingegangen werden, welche Möglichkeiten in ArcGIS bestehen, ein TIN zu erzeugen, und welche Methodiken zur Bearbeitung dieser genutzt werden können. Ein TIN kann auf mehrere Arten erzeugt werden. Im Folgenden soll auf die beiden grundlegenden Verfahren eingegangen werden.

#### Möglichkeiten der TIN-Erzeugung

- Das erste Verfahren beschreibt die Erzeugung eines TINs aus Vektordaten. Es ist dabei grundsätzlich möglich, aus jeder Art von Vektordaten ein TIN zu generieren, seien es Punkte, Linien oder Flächen, wobei der Punkt als elementarer Bestandteil von Vektordaten fundamental für die Erstellung eines TINs ist (Kapitel 5.3.2). Die Auflösung des entstehenden TINs ist abhängig von der Punktdichte der Ausgangsdaten. Darüber hinaus ist es auch möglich, mehrere Datenquellen gleichzeitig in die Generierung eines TINs einfließen zu lassen. Es kann dabei aber, kein direkter Einfluss auf die Funktion und damit auf die Reihenfolge, in der die Eingangsdaten bearbeitet werden, genommen werden. Die Reihenfolge ist durch die Methoden, mit denen sie erzeugt werden, festgelegt und entspricht der Reihenfolge der Auflistung in Abb. 5.5. Dieser Nachteil kann aber umgangen werden, indem der Anwender den Prozess manuell durchführt. Dann ist die Reihenfolge der Operationen auf das TIN selbst bestimmbar. Dabei ist ein mehrfacher Durchlauf unumgänglich. Ein weiterer Aspekt, auf den der Anwender Einfluss bei der Triangulation des TINs nehmen kann, ist die Art der Kantenbildung, da jede mit dem TIN verbundene Operation Bruchkanten erzeugt. Diese Bruchkanten, sogenannte 'Breaklines', definieren und kontrollieren das Verhalten der Oberfläche in Hinsicht auf Glätte und Kontinuität. Es gibt zwei Typen von Breaklines, die die Oberflächenbeschaffenheit beschreiben. Unterschieden wird hierbei in 'Hard breaklines' und 'Soft breaklines'.
  - 'Soft breaklines' werden genutzt, um sicherzustellen, dass bekannte Höhenwerte entlang eines Linien-Merkmals in das TIN eingearbeitet werden, ohne Unterbrechungen in Oberflächenbeschaffenheit und Neigung zu erzeugen.
  - 'Hard-breaklines' definieren Unterbrechungen in der Oberflächengeometrie und steigern somit die Genauigkeit. Sie stellen abrupte Sprungstellen oder starke Neigungswechsel dar.

Weiterhin sei erwähnt, dass die Bearbeitung mit mehreren Datenquellen in einem Arbeitsgang immer andere Ergebnisse bringt, als die Durchführung in mehreren Schritten.

- Das zweite Verfahren beschreibt die Erzeugung eines TINs mittels Rasterdaten. Im Vergleich zu der ersten Variante bilden hier nicht Vektordaten die Grundlage, sondern Rasterdaten. Die Detailgenauigkeit des zu erzeugenden TINs ist von mehreren Faktoren abhängig. Zum einen ist die Genauigkeit, beziehungsweise die Zellengröße,

des Rasters ausschlaggebend, und zum anderen ist die Detailgenauigkeit abhängig von einem Toleranzwert, der in der Funktion zur Erzeugung festgelegt werden kann. Der Toleranzwert bestimmt den maximalen tolerierbaren Unterschied zwischen der dargestellten Höhe der Punkte des Ausgangsrasters und der Höhe der Punkte des zu erstellenden TINs. Dieser Wert ist durch ArcGIS voreingestellt, kann aber durch den Anwender verändert werden. Bei dieser Art der TIN-Generierung wird anfangs ein TIN erzeugt, mit ausreichend genug Punkten, um die komplette Fläche des Rasters abzudecken. Die Oberfläche des TINs wird dann durch einen iterativen Prozess, der mehr Stützpunkte einfügt, schrittweise verfeinert, bis die spezifizierte Toleranz erreicht ist. Die Funktion stellt somit nur ein Näherungsverfahren dar, kann aber bei minimalem Toleranzwert die Genauigkeit der ersten Variante erreichen, wenn die Ausgangsdaten die selben sind. Dieses aus Rasterdaten erstandene TIN kann mit den selben Methoden bearbeitet werden wie ein TIN, das aus Vektordaten erzeugt wurde.

Triangulation (Breakline)	Höhenwert	Geometrieart	Effekt
Masspoints	erforderlich	Punktwolken, Stützpunkte von Linien oder Flächen	TIN wird anhand der Höhenwerte erzeugt
Breaklines (Soft/Hard)	optional	Linien	Strukturlinien bzw. Bruchkanten werden eingefügt
Value fill (Soft/Hard)	optional	Flächen	allen Flächen innerhalb eines Bereiches wird ein Integerwert zugeordnet
Replace (Soft/Hard)	erforderlich	Flächen	erzeugt ebene Flächen mit bestimmter Höhe (Gewässer)
Clip (Soft/Hard)	optional	Flächen	Eine Fläche definiert eine Schnittkante, an der das TIN abgeschnitten wird
Erase (Soft/Hard)	optional	Flächen	betreffende Polygone werden entfernt

Abbildung 5.5: Reihenfolge der Möglichkeiten bei der TIN-Bearbeitung, aufgelistet nach der Art der Triangulation.

### **Bearbeitung eines TINs**

Den Möglichkeiten ein TIN zu bearbeiten, sind erhebliche Grenzen gesetzt. Es können hierbei nur die Operationen zum Einsatz kommen, die auch zur Erstellung eines TINs dienen (Abb. 5.5). Das heißt, es können nur Informationen aus Shapefiles zur Bearbeitung genutzt werden. Folglich ist kein direkter Eingriff in die Topologie des TINs möglich. Das bedeutet, dass eventuelle Fehler oder Unzulänglichkeiten bei der Erzeugung des TINs nur mit zusätzlichem Datenmaterial und Aufwand behoben werden können.

Diese Unzulänglichkeiten machen es nötig zusätzliche Software zu verwenden, um im weiteren Verlauf der Arbeit zu einem zufriedenstellenden Ergebnis zu kommen. Diese ermöglicht es, einzelne Punkte oder Bereiche gezielt zu verändern und zu manipulieren.

## 5.4 Relevanz eines Modellers

Wie schon in Kap. 5.3.5.2 erwähnt, sind der Bearbeitung des TINs erhebliche Grenzen gesetzt. Unter dem Aspekt einer Darstellung in VRML bedarf es einer Anpassung an dieses Format. Hierbei sind die Größe der Daten und die Performance der VRML-Szenen ausschlaggebend. Die Vereinfachung des TINs von einem konkreten Modell zu einer vereinfachten Version steht hierbei im Vordergrund. Weniger Datenvolumen, jedoch hohe Genauigkeit sind ein wichtiges Kriterium für die Visualisierung in VRML, und dahingehend ist die Bearbeitung durch die Methoden in ArcGIS stark eingeschränkt. ArcGIS ist kein 3D-Modeller, und es besteht daher nur sehr bedingt die Möglichkeit, Gebäude, beziehungsweise Objekte, adäquat darzustellen. Es ist möglich, in ArcScene schemenhaft Objekte wie Gebäude oder Bäume zu symbolisieren, aber es ist nicht möglich, diese zufriedenstellend zu exportieren. Es bedarf einer Software, die die erzeugten Daten aus ArcGIS einlesen und bearbeiten kann und es ermöglicht, diese mit andern Objekten in eine Szenerie zu kombinieren. Weitere Anforderungen sind räumliche Korrektheit und die Im- und Exportierbarkeit in das VRML-Format. Dafür bedarf es dieser speziellen Software. Ein 3D-Modeller stellt all diese Funktionalitäten bereit.

Es sind diverse freie und lizenzpflichtige Programme verfügbar, mit denen es möglich ist, die gestellte Aufgabe zu lösen. Für diese Arbeit soll die 3D-Computergrafik Software Maya<sup>5</sup> von Autodesk<sup>6</sup> in der Version 8.5 Verwendung finden. An dieser Stelle wird nicht genauer auf das Programm eingegangen, sondern auf *Mahintorbai* [10] verwiesen.

Maya kommt zum Einsatz, um genannte Defizite in ArcGIS auszugleichen, um Gebäude und Objekte zu erstellen und sie mit den GIS-basierten Modellen zu einer Szene zu kombinieren. Weiterhin dient Maya dazu, die Beschaffenheit der TIN-Oberfläche zu vereinfachen.

---

<sup>5</sup>Maya ist eine professionelle 3D-Visualisierungs- und Animationssoftware. Genutzt wird sie in der Film- und Fernsehindustrie und bei der Erstellung von Grafiken für Computer- und Videospiele.

<sup>6</sup>Autodesk ist ein Softwareunternehmen, das auf Programme für computergestützte Konstruktion, wie CAD-Anwendungen oder 3D-Grafik- und Animationssoftware, spezialisiert ist.

## 5.5 Vorhandenes Datenmaterial

### 5.5.1 Überfliegungsgebiet

Das darzustellende Gebiet, der innere Branitzer Park, ist ein Teilgebiet des Areal, das durch eine Überfliegung mit einem Laserscanner digitalisiert wurde. Das gesamte Areal wurde in 51 horizontalen Spuren mittels Airborne Laser Scanning<sup>7</sup> abgetastet. Der Auftrag wurde 2004 vom Lehrstuhl Altlasten der BTU Cottbus an die Milan-Flug GmbH vergeben. Die Daten der Überfliegung beschreiben ein ca. 20 km<sup>2</sup> großes Gebiet. Es umfasst in ETRS89<sup>8</sup>-Koordinaten folgenden Bereich: NW-Ecke 5735000/3454000 SO-Ecke: 573000/3460000. Die Scanauflösung beträgt 1x1 m<sup>9</sup>.

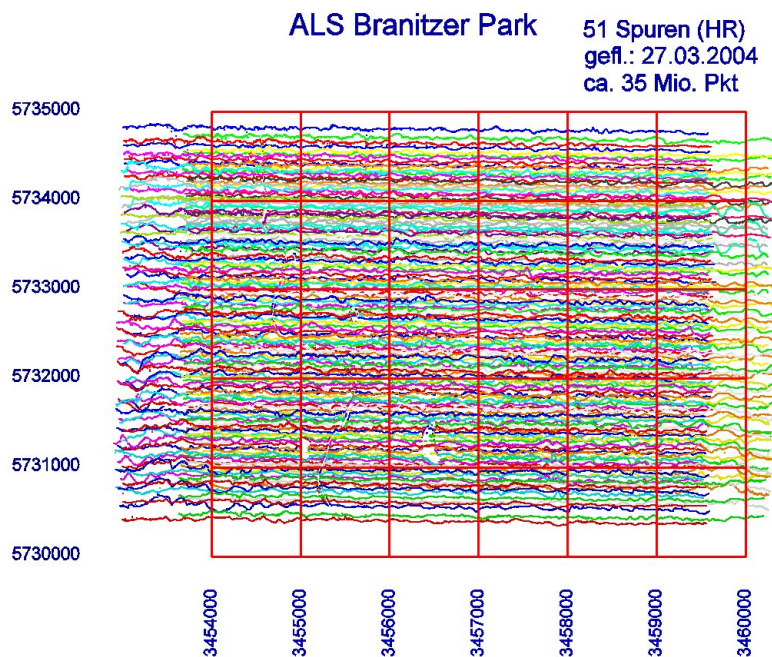


Abbildung 5.6: Das Überfliegungsgebiet: Die bunten Linien symbolisieren die 51 Spuren der Überfliegung. Die roten Linien beschreiben ein Raster, das sich aus den einzelnen Quadraten zusammensetzt, die jeweils einem Bereich von 1x1 km entsprechen.

<sup>7</sup>Airborne Laser Scanning Systeme werden in Flugzeugen oder Helikoptern eingebaut und dienen der Erfassung der Geländeoberfläche mit hoher Präzision. Ein Laser tastet beim Überfliegen das Terrain ab und registriert, durch Messen der Laufzeit des Signals, die Entfernung zum Boden.

<sup>8</sup>Das Europäische Terrestrische Referenzsystem 1989 ist ein geozentrisches Bezugssystem.

<sup>9</sup>Für weiterführende Informationen zur Überfliegung steht das Flugprotokoll beim Lehrstuhl Altlasten der BTU Cottbus zur Verfügung.

## 5.5.2 Datensätze

Es wurden jeweils Teilbereiche aus den folgenden, näher beschriebenen Datensätzen der Überfliegung und relevante Daten des bestehenden Kartenmaterials, sowie teilweise vorhandene Modelle verwendet. Sie wurden vom Lehrstuhl Altlasten der BTU Cottbus, durch die Stiftung des Branitzer Parks und vom Systemhaus Stahr zur Verfügung gestellt. Die Nutzung geschah mit Genehmigung des jeweiligen Urhebers.

### 5.5.2.1 Daten der Überfliegung

Als Grundlage für die Erzeugung eines Geländemodells mittels GIS, dienen die Daten der Überfliegung. Alle Daten sind digitale Höhenmodelle (DHM). Diese unterscheiden sich in der Art des Höhenmodells (DSM<sup>10</sup>/DTM<sup>11</sup>), in ihrer Form, sowie ihrem Dateiformat. Die Gebietsausdehnung und die Rasterauflösung sind für alle Modelle gleich. (Kap. 5.5.1)

- **Spuren:** Hierbei liegen die Daten der 51 Spuren der Überfliegung in einer Textdatei im ASCII-Format vor. Dabei bildet jede Spur eine Datei mit den Werten für die jeweiligen X-, Y- und Z-Koordinaten der Messpunkte.
- **Kacheln:** Die Koordinaten sind quadratisch, zu jeweils 30 (5x6) Teilgebieten mit einer jeweiligen Ausdehnung von 1x1 km großen Kacheln, angeordnet. Jedes Teilgebiet beinhaltet 1 Mio. Messpunkte. Diese Daten liegen jeweils als DTM und DSM in Dateien im Grid-Format und in Textdateien im ASCII-Format vor.

Relevant für diese Arbeit sind hauptsächlich die DTM-Daten der Textdateien im ASCII-Format, da diese das genaue Abbild der Oberfläche ohne Bebauung und Vegetation widerspiegeln, und ein geeignetes Format für den Import in ArcGIS besitzen.

### 5.5.2.2 Kartenmaterial vom Branitzer Park

Das Material, das durch die Stiftung des Branitzer Parks gestellt wurde, ist größtenteils GIS bezogen. Es beinhaltet folgende Daten:

- **Datenmaterial vom aktuellen Zustand:** Neben einer Vielzahl an Vektordaten liegt auch eine CAD-Karte vom inneren Park vor. In dieser Karte sind Gewässer, Wege, Standpunkte von Bäumen, Gebäude, Brücken, markante Geländelinien und dessen Höhen verzeichnet. Die GIS bezogenen Daten beinhalten unter anderem Informationen über:
  - Forstflächen
  - Baumstandpunkte
  - Denkmäler
  - Schutzgebiete

---

<sup>10</sup>(Digital Surface Model) – ist eine Repräsentation der Erdoberfläche mit Vegetation und Gebäuden.

<sup>11</sup>(Digital Terrain Model) – ist eine generelle, gefilterte Version der Oberfläche. Es enthält keinerlei Gebäude oder Vegetation und kann als auch 'pures' Erdmodell bezeichnet werden.

- Bebauung
  - Fließgewässer und Standgewässer
  - Sichtachsen
  - Verkehrswege
- **Datenmaterial von historischen Zuständen:** Das vorhandene Datenmaterial, das die Historie des Parks beschreibt, betrifft die Jahreszahlen 1845 und 1846, 1853, 1875 und 1903. Die im folgenden aufgeführten Daten sind nicht für alle Jahreszahlen vollständig. Für einige Zeiträume gibt es nur eine Teilauswahl. Ausgenommen sind 1845 und 1875, die durch alle, im weiteren aufgezählten, Daten beschrieben sind. Darüber hinaus ist noch weiteres, nicht GIS bezogenes Bildmaterial vorhanden, auf denen Gebäude oder komplette Bereiche des historischen Branitzer Parks zu sehen sind. Dazu zählt eine Kopie einer Graphitzeichnung von Wilhelm Heinrich Masser, genannt Billy, dem 'Geheimsekretär' Pücklers<sup>12</sup>. Auf dieser ist das Schloss um 1845 mit umliegendem Terrain und Vegetation zu sehen. Weiterhin liegt ein Bildband vor, in dem Fotografien von Bereichen des Parks zu verschiedenen Zeiten abgebildet sind [14]. Bis auf Karten, die im Rasterdaten-Format vorhanden sind, ist der Rest durch die folgenden Vektordaten beschrieben:
    - Forstflächen
    - Bebauung
    - Fließgewässer und Standgewässer
    - Verkehrswege

### 5.5.2.3 VRML-Material

Das VRML-Material wurde durch das Systemhaus Stahr gestellt. Es umfasst folgende Bereiche:

- VRML-Modell vom Pyramidengrund mit Bebauung und Vegetation. Dazu zählen das Gelände mit den beiden Pyramiden sowie den Wegen, das Wasser, ein einfaches Modell des Himmels und exemplarisch eingesetzte Bäume.
- VRML-Modell vom Schlossgrund mit hochpolygonalen, texturierten Modellen. Dazu zählen das Gelände um das Schloss mit den Wegen, das Schloss, der Marstall und das Kavaliershaus, und exemplarisch eingesetzten Bäumen
- VRML-Modell von der Cottbuser Altstadt um 1720. Es beinhaltet nicht texturierte einfache Gebäude und vereinzelt Bäume innerhalb der Stadt.
- Texturen für Häuser, Pflanzen und Bäume.

---

<sup>12</sup>Das Bild stammt aus dem Privatbesitz von H.G. von Pückler und wurde als Kopie vom Branitzer Park zur Verfügung gestellt

# 6 Erstellung der Modelle mit ArcGIS und Maya

## 6.1 Bearbeitung des Rohmaterials mit ArcGIS – Überführung in ein TIN

Um von den Rohdaten der Überfliegung zu einer adäquaten Repräsentation der Oberfläche des inneren Branitzer Parks zu kommen, bedarf es einiger Bearbeitungsschritte in ArcGIS. Die im folgenden aufgezählten Schritte beschreiben eine Vorgehensweise, die als Resultat ein absolut konkretes TIN, das alle Geländeinformation enthält, produziert.

### Import der Daten in ArcGIS

Die Grundlage für alle Szenarien sind die Daten der Überfliegung, die das darzustellende Terrain ohne Bebauung und Vegetation, mittels X-, Y-, und Z-Koordinaten, darstellen. Die Daten liegen im ASCII-Format vor und müssen in ein für ArcGIS lesbares Format überführt werden. Dazu bietet ArcGIS die Funktion Textdateien im Tabellen-Format zu importieren. Um das zu ermöglichen, legt ArcGIS in jedem Verzeichnis mit Textdateien, das mit ArcCatalog oder ArcMap durchsucht oder geöffnet wird, automatisch eine Datei, die Schema.ini, an. Diese Datei nimmt Bezug auf die Textdateien in dem Verzeichnis, in dem sie liegt. In der Datei Schema.ini steht neben einem Verweis auf die Datenquelle ein Eintrag zum Textbegrenzer und Dezimaltrenner.

Durch die automatische Generierung dieser Datei, durch ArcGIS, ergaben sich im Zuge der Importierung der Daten einige Probleme. Es ist möglich, dass die Datei Schema.ini falsche Einträge enthält, die dazu führen können, dass ArcGIS die Textdatei inkorrekt interpretiert und demnach falsch importiert. Fehlerquellen sind falsche Formatierung der zu importierenden Textdatei, und die inkorrekte Interpretation des Dezimaltrenners durch die Datei Schema.ini. Die zu importierende Datei, ihrerseits, muss einen Header besitzen, in dem die Spalten der Tabelle mit einem nicht numerischen Wert definiert sind. Die falsche Interpretation der Daten durch die Datei Schema.ini andererseits, ist darauf zurückzuführen, dass der Dezimaltrenner standardmäßig aus der Einstellung von Windows übernommen wird. Im Deutschen ist bei der Regionseinstellung ein Komma vom Betriebssystem vordefiniert. Sollte die zu importierende Datei einen Punkt als Dezimaltrenner besitzen, kommt es zu beschriebenen Problemen. Es ist nötig die Datei Schema.ini manuell zu bearbeiten und gegebenenfalls Textbegrenzer und Dezimaltrenner von Hand zu ändern, um genannte Probleme zu vermeiden. Alternativ wäre die Formatierung der Textdatei möglich, um den Dezimaltrenner manuell zu ersetzen. Für die Arbeit wurde die Datei Schema.ini modifiziert, um einen fehlerfreien Import zu gewährleisten.

```
X Y Z
3455000.50 5732000.50 74.91
3455001.50 5732000.50 74.93
3455002.50 5732000.50 74.95
....
```

Abbildung 6.1: Auszug einer Textdatei mit den Koordinaten des Geländes

```
[Datei.txt]
Format=CSVDelimited
```

Abbildung 6.2: Der Eintrag in der Datei Schema.ini nach der automatischen Generierung durch ArcGIS. Der Textbegrenzer ist ein Komma und der Dezimaltrenner wird standardmäßig aus der Regionseinstellung von Windows übernommen

```
[Datei.txt]
Format=Delimited( )
DecimalSymbol=.
```

Abbildung 6.3: Der Eintrag in der Datei Schema.ini nach der manuellen Bearbeitung. Der Textbegrenzer ist ein Leerzeichen und der Dezimaltrenner ist der Punkt

### Teilbereiche identifizieren

Da der innere Park nur ein Teilgebiet der Überfliegung darstellt, ist es im Vorfeld notwendig diejenigen Teilbereiche zu bestimmen, die relevant für eine Importierung und weitere Bearbeitung sind. ArcGIS benötigt Vektor- oder Rasterdaten, um Geländedaten zu visualisieren. Dazu ist es erforderlich, die Textdateien zu importieren und dann in ein für ArcGIS visualisierbares Format umzuwandeln. Erst anhand dieses Formats ist



es möglich, die flächenmäßige Ausdehnung zu erkennen und räumliche Informationen zu erhalten. Um einen räumlichen Eindruck zu bekommen, müsste aus Vektordaten ein TIN erzeugt, oder durch Interpolation ein Rasterbild abgeleitet werden. Damit Entscheidungen getroffen werden konnten, welche Daten relevant sind, wäre es notwendig gewesen, alle 30 Teilbereiche zu jeweils 1 Mio. Punkte-Tripeln, mit der oben beschriebenen Prozedur zu untersuchen. Aus Aufwands- und Zeitgründen wurde an dieser Stelle ein Programm genutzt, um die selben Daten im Grid-Format ohne vorangehende Bearbeitung einzulesen und zu visualisieren. Die Bezeichnung der einzelnen Daten im Grid- und im Textformat ist, bis auf die Dateiendung, gleich. Dies machte die Bestimmung der relevanten Teilbereiche ohne weiteres möglich. Zur Visualisierung kam das Programm Global Mapper<sup>1</sup> in der Version 9.01 zum Einsatz. Hiermit war es möglich, eine sofortige Darstellung der Daten zu bekommen, um zu entscheiden welche Teilbereiche für die weitere Bearbeitung benötigt werden. Die Auswertung in Global Mapper zeigte deutlich, dass der innere Park auf dem Schnittpunkt von vier aneinander angrenzenden Teilbereichen liegt. Als markante Anhaltspunkte dienten die Pyramiden und die Kanäle, die den kompletten inneren Park durchziehen. Mit den nun bekannten Teilbereichen konnten die Daten korrekt in ArcGIS eingelesen und in Point-Shapes umgewandelt werden.

*ArcMap -> Tools -> Add XY Data*

Es entsteht ein Layer, der die zuvor eingelesenen Daten repräsentiert. Nach dem Einlesen dieser Daten muss daraus noch ein Shapefile erzeugt werden.

*ArcMap -> Rechtsklick auf den Layer -> Data -> Export Data*

Alle vier Teilbereiche liegen somit als Point-Shape vor und können nun in ArcGIS weiter bearbeitet werden. Dabei sind an dieser Stelle noch keine Topologien sichtbar.

### **Teilbereiche zusammenführen**

Eine weitere Bearbeitung, und die damit verbundene spätere Überführung in ein TIN, machten es nötig die einzelnen Bereiche zu Einem zu verbinden.

*Toolbox -> Data Management -> General -> Merge*

Nach dem Zusammenführen liegt ein Point-Shape als Quadrat mit einer Gesamtzahl von vier Mio. Punkten vor. Es repräsentiert die Realität in einer Ausdehnung von 2x2 km. Um einen bildlichen Gesamteindruck zu bekommen, wurde aus diesem Shapefile durch Interpolation ein Rasterbild abgeleitet.

---

<sup>1</sup>Die Software Global Mapper der Firma Global Mapper Software LLC kann eine Vielzahl von Daten ohne vorangegangene Bearbeitung visualisieren, und bietet dabei eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Bearbeitung von raumbezogenen Daten

*Toolbox -> Spatial Analyst Tools -> Interpolation -> Natural Neighbor*

Wie in Kapitel 5.3.3 erwähnt, gibt es noch weitere Methoden ein Raster zu interpolieren. Die Variante 'Natural Neighbor' wurde benutzt, da ihr ein verhältnismäßig einfacher Algorithmus zugrunde liegt, und sie die effektivste und schnellste Variante für die Interpolation dieser Ausgangsdaten ist.

### **Ausschnitt des inneren Parks**

Für das Projekt ist nur die Visualisierung des inneren Parks relevant. Somit ist auch nur der Bereich des Point-Shapes, der den inneren Park darstellt, von weiterem Interesse, und soll aus dem Bestehenden herausgelöst werden. Anhand der Rasterdaten ist die Form des inneren Parks zwar ungefähr erkennbar, aber nicht ausreichend genau, um Grenzen zu definieren. Es besteht keine klare Objektbegrenzung und die Übergänge sind fließend. Mit Hilfe der CAD-Karte ist es möglich die Grenzen des Parks genau zu definieren, und eine präzise 'Stanzform' zu erstellen. Damit die CAD-Karte an der räumlich korrekten Position im GIS dargestellt wird, ist es nötig diese zu georeferenzieren. Um Datensätze zu georeferenzieren, braucht man Bezugspunkte und deren exakte Koordinaten innerhalb eines definierten Koordinatensystems. Wieviele Punkte man für eine Georeferenzierung benötigt, hängt unter anderem von der Auswahl der Punkte und von den Genauigkeitsanforderungen ab. In der Regel benötigt man mindestens drei Referenzpunkte. In ArcGIS gibt es dafür zwei verschiedene Varianten.

- Die erste Variante ist die Referenzierung durch Auswahl von Punkten in dem zu referenzierenden Bild, deren Koordinaten bekannt sind, und diese dann manuell einzugeben.
- Die zweite Variante ist die 'visuelle' Referenzierung auf einen vorhandenen Datensatz, das heißt ein Punkt wird zunächst in dem zu referenzierenden Bild angegeben, und anschließend der korrespondierende Punkt in einem bereits georeferenzierten Datensatz bestätigt.

Da die Koordinaten von bestimmten Punkten in der zu referenzierenden Karte nicht bekannt waren, kam hier Variante zwei zum Einsatz. Als georeferenzierter Datensatz diente ein Raster, das aus dem großen Shapefile erzeugt wurde. Markante Punkte, die leicht aus dem Rasterbild zu erkennen sind, dienten als Referenzpunkte. Von diesen wurden die Koordinaten notiert, um sie anschließend auf das zu referenzierende Bild zu übertragen. Punkte mit größerem Z-Wert werden heller dargestellt als Punkte mit niedrigerem Z-Wert und sind so leichter erkennbar. Es boten sich folgende drei Referenzpunkte an: die Spitze der Wasserpyramide, die Spitze der Landpyramide und die Spitze des Hermannbergs. Diese drei Punkte haben jeweils einen Maximalwert im Vergleich zum umliegenden Gebiet, und sind somit gut geeignet. Mit diesen drei Koordinatenpaaren ist es möglich den Datensatz zu georeferenzieren. Nach dem Laden in ArcMap wird der Datensatz folgendermaßen referenziert:

*Toolbar 'Georeferencing' -> Add Control Points*

Die zu referenzierende Stelle wird mit linker Maustaste angeklickt, und dann mit rechter Maustaste 'Input X and Y' ausgewählt. Dort werden nun die vorher, anhand des Rasterbilds ermittelten Koordinaten, eingegeben. Gegebenenfalls sollte man so weit wie möglich auf die Punkte, die man referenzieren will zoomen, um möglichst genau zu arbeiten. Die Karte wird sofort referenziert und ArcGIS 'schiebt' dann den Datensatz in die richtige Lage. Die räumliche Lage ist nun korrekt, aber die räumliche Ausdehnung kann hier noch abweichen, deshalb wurde mit den anderen Punkten ebenso verfahren. Ergebnis dieses Verfahrens ist eine Liste von Punkten mit zwei Koordinatenpaaren, einem Koordinatenpaar in Bildkoordinaten und einem in dem zu referenzierenden Koordinatensystem. Die CAD-Karte hat danach die präzise Lage und deckt sich mit dem Rasterbild.

Auf der Basis der CAD-Karte wurde ein Polygon-Shape erstellt, welches die Grenzen des inneren Parks definiert. Dabei diente die CAD-Karte als Vorlage. Dazu musste ein neues Shapefile erstellt werden, dessen geometrische Grundlage ein Polygon bildet. Dies geschieht in der Anwendung ArcCatalog.

*ArcCatalog -> File -> New -> Shapefile*

Zum Zeitpunkt der Erstellung in ArcCatalog, hat das Polygon-Shape weder Geometrie noch räumliche Informationen. Um dem Polygon-Shape eine Geometrie sowie eine räumliche Zuordnung zuzuweisen, bedarf es ArcMap. Das noch leere Polygon-Shape wird dort geladen und anschließend bearbeitet.

*ArcMap -> Menüleiste 'Editor' aktivieren -> im Editor 'Start Editing' -> Task: Create New Feature -> Target: Polygon-shape*

Nach dem Erzeugen des Polygon-Shapes ist es möglich, den gewünschten Bereich damit auszuschneiden.

*Toolbox -> Analysis Tools -> Extract -> Clip*

Ausgeschnitten hat das Point-Shape eine Größe von 1 Mio. Punkten und klar definierte Grenzen. Das so entstandene Point-Shape bildet die Grundlage für die Erzeugung des TINs. Desweiteren ist es möglich, aus diesem auch wieder ein Raster zu interpolieren, um eine räumliche Vorstellung zu bekommen.

### **TIN-Erzeugung**

In der Anwendung ArcScene ist es jetzt möglich aus dem Point-Shape ein TIN zu erzeugen. Dabei gibt es hier zwei grundlegend verschiedene Wege, die in Kapitel 5.3.5.2 näher beschrieben wurden. Obwohl es möglich ist, mit beiden Varianten gleiche Ergebnisse zu erzielen, da das Ausgangsmaterial für beide Datentypen gleich ist, wurde entschieden, das TIN in Einzelschritten aus dem Point-Shape zu erzeugen. Hierdurch wird der Ar-

beitsschritt der Erstellung eines Rasters aus Vektordaten eingespart.

*ArcScene -> 3D Analyst -> Create/Modify TIN -> Create Tin from Features*

Das Point-Shape wird mit den folgenden Optionen trianguliert:

*Height source: Z  
Triangulate as: mass points  
Tag value field: <None>*

Alternativ die Erzeugung des TIN's aus einem Raster:

*Toolbox -> 3D-Analyst Tools -> Conversion -> From Raster -> Raster to TIN*

Folgende Optionen müssen bei der Erstellung gesetzt werden, um auf ein annähernd gleiches Ergebnis zu kommen wie bei der Triangulation aus Vektordaten:

*Z Tolerance: 0,01*

Das entstandene TIN hat, so wie das zugrunde liegende Point-Shape, ca. 1 Mio. gleichmäßig angeordnete Punkte mit korrekter Darstellung der Höhenwerte. Da, wie in Kapitel 5.3.5.1 erwähnt, ein TIN mit einer konvexen Hülle erzeugt wird, die Grenzen des Branitzer Parks aber nicht durchgehend konvex sind, war es abschließend erforderlich, dass erzeugte TIN mit Hilfe der Clip-Operation (Tab.: 5.5) auszuschneiden.

*ArcScene -> 3D Analyst -> Create/Modify TIN -> Add Features to TIN*

Das erzeugte Polygon-Shape, das die Parkgrenzen definiert, ging mit folgenden Optionen in die Triangulation des TIN's ein:

*Height source: <None>  
Triangulate as: hard clip  
Tag value field: <None>*

Das somit entstandene TIN bildete die Grundlage zur Erzeugung der verschiedenen Landschaftsmodelle.

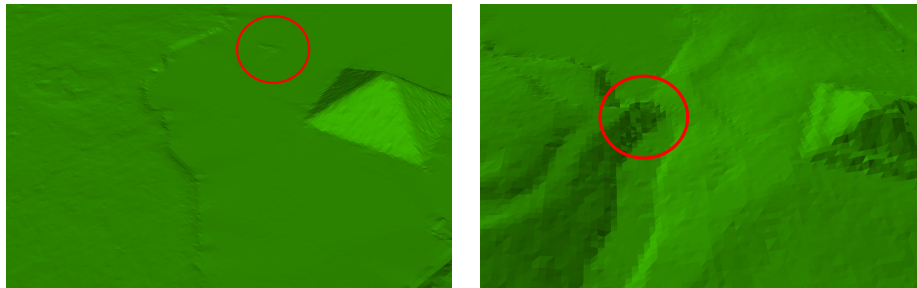
## **6.2 Erzeugung eines aktuellen Modells**

### **6.2.1 Einarbeitung zusätzlicher Information in das TIN**

#### **6.2.1.1 Nachbearbeitung des TINs**

Unzulänglichkeiten bei der Erzeugung machten es notwendig, zusätzliche Informationen in das entstandene TIN einzuarbeiten, um eine brauchbare Repräsentation der Oberfläche des Parks zu erhalten. Ein gravierender Aspekt war die Fehldarstellung der Flüsse und Seen im Branitzer Park. Die Gebiete, die von Wasser bedeckt sind, werden im

TIN überhöht dargestellt, und ergeben ein falsches Abbild der eigentlichen Oberfläche. Die Inseln bilden keine eigenständigen Objekte, sondern gehen fließend in die Darstellung des Wassers über. (Abb. 6.4 a) Das ist auf eingeschränkte Messwertaufnahme an Wasseroberflächen durch real existierende, physikalische und optische Gesetzmäßigkeiten zurückzuführen<sup>2</sup>. Weiterhin sind an Brückenstandpunkten verfälschte Werte im TIN zu erkennen. Die Oberfläche ist an betreffenden Stellen falsch dargestellt. (Abb. 6.4 b)



(a) Hervorgehoben: eine Insel neben dem Tumulus

(b) Der Bereich der Ägyptischen Brücke. Daneben die Landyramide

Abbildung 6.4: Fehlerhafte Darstellung im TIN

Um diese Fehler auszugleichen, wird eine Fläche in das TIN eingearbeitet, die ein einheitliches Höhenniveau besitzt und den Grund der Seen und Flüsse darstellen soll. Dafür werden vorher die Uferkanten auf ein einheitliches Höhenniveau definiert. Es wird ein Polygon nach dem Abbild der Gewässer des Branitzer Parks, ausgehend von der CAD-Karte, erstellt. Dazu wird in ArcCatalog ein Polygon-Shape mit Höhenwert erzeugt. Dieses wurde in ArcMap editiert und in die Form des Gewässers gebracht. Nach der Erzeugung der Form konnte dem Polygon-Shape die aus der CAD-Karte ersichtliche Höhe des Wasserspiegels von 72,6 m über NN zugewiesen werden.

*ArcToolbox -> Data Management Tools -> Features -> Adjust 3D Z*

Das Polygon-Shape wurde anschließend mit der Operation Replace als 'hard breakline' in das TIN eingefügt.

*ArcScene -> 3D Analyst -> Create/Modify TIN -> Add Features to TIN*

Das Polygon-Shape ging mit folgenden Optionen in die Triangulation des TINs ein:

<sup>2</sup>siehe Projektdokumentation der Überfliegung

*Height source: <Feature Z Value>*  
*Triangulate as: hard replace*  
*Tag value field: <None>*

Es entstand eine ebene Fläche in dem TIN mit der Höhe des Wasserspiegels, die die Uferkanten auf ein einheitliches Niveau definierte. Dabei blieb die Geometrie der Oberfläche des Wasserareals erhalten, es wurden lediglich die Höhenwerte an betreffenden Stellen angepasst. Der Nachteil war, dass Objekte die sich innerhalb dieses Gebietes befanden, die Inseln und der Tumulus, ihre Höheninformation verloren. Diese mussten im weiteren Verlauf nachkonstruiert werden. Nachdem die Uferkanten eine homogene Höhe besaßen, wurde mit dem selben Wasser-Polygon-Shape der Wassergrund in das TIN eingearbeitet. Davon ausgehend, dass die Uferkanten nicht total senkrecht sind, was dem realen Abbild entspricht, wurde eine Kopie des erzeugten Polygons an den Kanten um 10 cm geschrumpft.

*ArcToolbox -> Analysis Tools -> Proximity -> Buffer*

*Distance: -0,1*

Das Höhenniveau, des zu erzeugenden Polygons, wird auf 71,8 m über NN festgelegt und stützt sich auf messtechnische Erhebungen, die im Branitzer Park durchgeführt wurden. Analog zum vorangegangenen Schritt wurde der Kopie des Wasser-Polygon-Shapes eine Höhe zugewiesen, und dann mit selben Optionen in das TIN eingearbeitet. Als Resultat entstand ein Flussbett, mit definierten Uferkanten und einer einheitlichen Tiefe von 80 cm. Die Repräsentation des Wassers wird später im 3D-Modeller realisiert. Ein weite-

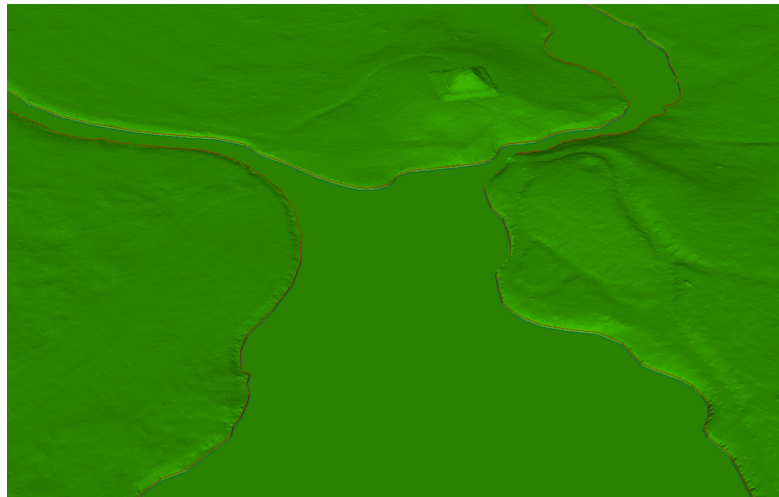


Abbildung 6.5: Eingearbeiteter Seen- und Flussgrund. Im Vergleich zu Abb. 6.4 a sind hier die Uferkanten deutlich erkennbar

res Problem zeigte sich in der Darstellung der Landpyramide. Diese ist mit ihrer klar

definierten geometrischen Form kaum zu erkennen. (Abb. 6.4 b) Da sie zwar einen Teil der Oberfläche des Branitzer Parks darstellt, aber auch ein eigenständiges Objekt bildet, konnte sie im weiteren Verlauf als separates Objekt behandelt werden. Dazu wurde der Standpunkt abgeflacht und die Pyramide im späterem Verlauf mittels selbst erzeugten Höhenlinien neu konstruiert. Das Abflachen des Terrains an dieser Stelle erfolgte ähnlich wie beim Erstellen des Wassergrundes. Es wird hier ein Polygon-Shape mit Höhenwert in ArcCatalog erzeugt und in ArcMap bearbeitet. Das Polygon hat nach der Erstellung vier Stützpunkte, und deckt die Fläche der Landpyramide samt umgebenden Wegen ab. Da das Terrain an dieser Stelle keine homogene Höhe hat, müssen den einzelnen Punkten verschiedene Höhenwerte zugewiesen werden, um eine saubere Eingliederung in die Umgebung zu gewährleisten. Die Zuweisung einer Höhe eines einzelnen Punktes kann im 'Editor-Modus' in ArcMap vorgenommen werden.

*Im Editor den Task zu 'Modify' wechseln -> Rechte Taste auf den Punkt -> Properties*

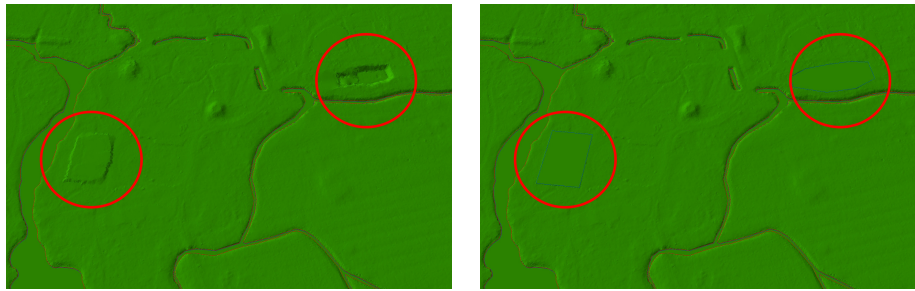
Nachdem das Polygon die richtige Höhe besaß wurde es, wie beim Wassergrund, mit der Methode 'hard replace' in das TIN eingearbeitet. Die Vorgehensweise ist analog zu der vorangegangenen Beschreibung des Absenkens des Wassergrundes.



Abbildung 6.6: abgesenkter Bereich der Landpyramide

Ein weiterer Teil der bearbeitet wurde, war das Gebiet der Schlossterrasse. Durch die Terrasse, die das Schloss umgibt, sind bei dem Scannen verfälschte Werte der Oberfläche entstanden. An betreffender Stelle ist das Terrain überhöht. Auch das Gebiet des heutigen Besucherzentrums, im Norden des Parks, war zur Zeit der Überfliegung im Bau, und es befand sich an diesem Ort eine Baugrube. Diese Mängel wurden ebenso wie bei der Landpyramide mittels selbst erzeugten Polygonen ausgeglichen. Die Arbeitsschritte

sind analog zu denen der Abflachung der Landpyramide.



(a) Der Bereich des Schlosses und des heutigen Besucherzentrums nach der Erzeugung des TIN's

(b) Die Bereiche nach der Bearbeitung

Abbildung 6.7: Fehlerhafte Darstellung im Bereich des Schlosses und des heutigen Besucherzentrums

### 6.2.1.2 Einarbeitung verlorengangener Objekte

Nachdem das Gelände jetzt eine Topologie aufweist, die mit dem heutigen Stand vergleichbar ist, müssen Objekte, die durch die Nachbearbeitung verloren gegangen sind, wieder zurückgeführt werden. Dazu zählen die Inseln und die Wasser- sowie Landpyramide. Diese sollen nicht in das bestehende Gelände-TIN integriert werden, sondern vielmehr als einzelne TIN-Objekte in die Szene einfließen. Anhand der CAD-Karte ist es möglich, die Formen der Objekte mittels Linien darzustellen, indem sie in ArcGIS nachgezeichnet werden. Grundlage dafür sind die in der CAD-Karte vermerkten Positionen der Umrisslinien. Mit diesen Informationen und den Höhenangaben der CAD-Karte ist es möglich, die genannten Objekte in ArcMap nachzubauen. Es wurden hierbei Line-Shapes benutzt, die Höheninformationen beinhalten. Sie stellen sozusagen ein Gitternetz der zu generierenden Formen dar. Anhand der Landpyramide soll das Prinzip der Konstruktion erläutert werden. Die Arbeitsschritte, die im folgenden beschrieben werden, gelten auch für den Tumulus und die Inseln.

In ArcCatalog wurde ein Line-Shape mit Höhenwerten erstellt, in ArcMap geladen und editiert. Wie schon erwähnt, wurden anhand der CAD-Karte, die Linien in ArcMap nachgezeichnet. (Abb. 6.8 a) Nachdem das Grundgerüst stand, mussten den einzelnen Stützpunkten der Linien Höhenwerte zugewiesen werden. Um einen nahtlosen Übergang zwischen dem TIN der Repräsentation der Landpyramide und dem TIN, das die Landschaft repräsentiert, zu gewährleisten, wurden die Höhenwerte für die Punkte der untersten Linie, den Punkten der Abflachung des Bereiches entnommen. Hierbei ist darauf zu achten, dass jede Umrisslinie eine andere Höhe hat. Von außen nach innen ist die Höhe ansteigend, wie auf der CAD-Karte zu sehen ist. (Abb. 6.8 b) Nachdem alle relevanten Linien zur Erzeugung des TINs erstellt wurden, war der letzte Schritt aus dem Line-Shape ein TIN zu erstellen.



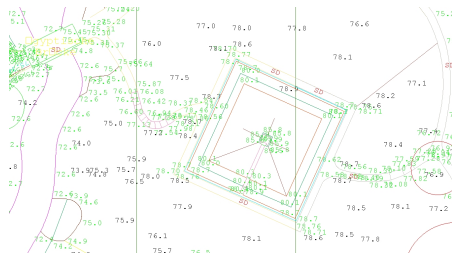
*ArcScene -> 3D Analyst -> Create/Modify TIN -> Create Tin from Features*

Das erzeugte Line-Shape wird mit den folgenden Optionen trianguliert:

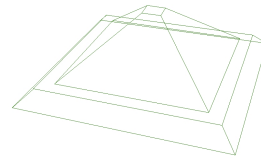
*Height source: <Feature Z Value>*

*Triangulate as: hard line*

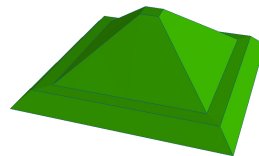
*Tag value field: <None>*



(a) Ausschnitt der CAD-Karte mit der Landpyramide samt Höhenwerten



(b) Das erzeugte Line-Shape



(c) Repräsentation der Landpyramide als TIN

Abbildung 6.8: Die Erzeugung des TINs der Landpyramide

Das entstandene TIN verwendet die Stützpunkte des Line-Shapes, um die Oberfläche zu definieren. Die Landpyramide fungiert als eigenständiges TIN, fügt sich aber nahtlos in das Landschafts-TIN ein, da die räumliche Ausdehnung der Realität entspricht und alle Größenverhältnisse beibehalten wurden. Gleiches gilt für den Tumulus und die Inseln, jedoch ist hier beim Prozess der Erstellung der Linien, eine zusätzliche Höhenlinie einzufügen, damit diese Objekte mit dem Grund der Seen und der Flüsse abschließen. Um dieses zu erreichen, wurde die tiefste Linie, die auf der CAD-Karte verzeichnet ist, dort, wo das Wasser das Objekt berührt, dupliziert und das Duplikat anschließend gepuffert. Damit entstand, wie beim Landschafts-TIN, eine nicht total senkrechte Uferkante.

*ArcToolbox -> Analysis Tools -> Proximity -> Buffer*

*Distance: 0,1*

Wie bei der Landpyramide mussten den einzelnen Punkten der Linien noch Höhenwerte zugewiesen werden.

*ArcToolbox -> Data Management Tools -> Features -> Adjust 3D Z*

Anschließend wurde aus ihnen ein TIN erstellt. Die Vorgehensweise ist analog zur Erzeugung des TINs der Landpyramide. Damit waren alle natürlichen Objekte, die die Oberfläche des inneren Parks definieren, wiederhergestellt.

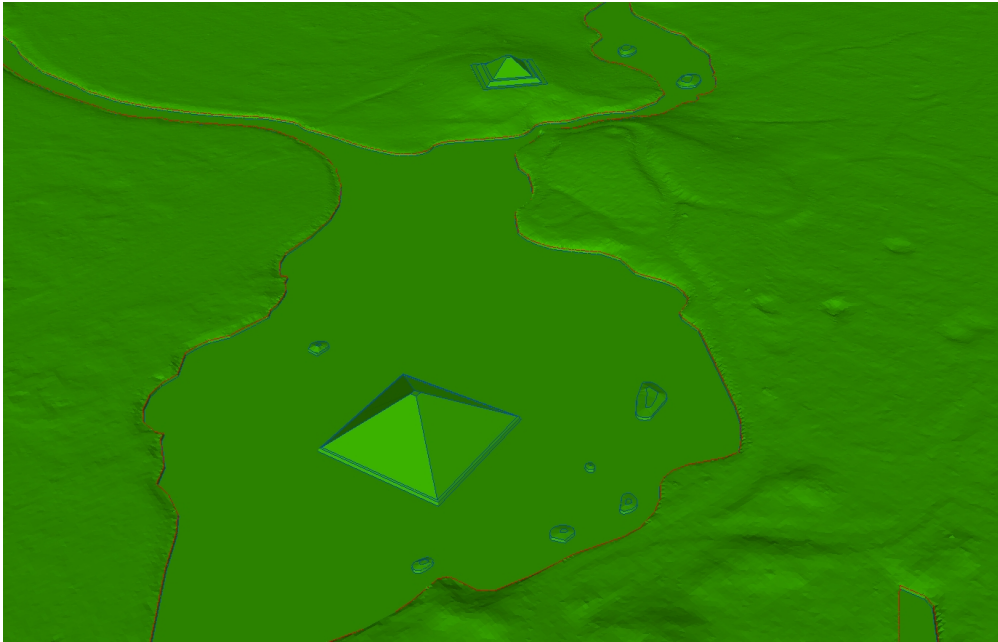


Abbildung 6.9: Das bearbeitete TIN mit den nachkonstruierten Objekten

### 6.2.1.3 Vereinfachung des Geländes

In Hinblick auf die spätere Darstellung gibt es an das Geländemodell mehrere Anforderungen, die es gilt in ArcGIS weitestgehend umzusetzen. Ein wesentlicher Faktor, der eine weitere Bearbeitung unumgänglich macht, ist die Anzahl der Polygone des Gelände-TINs. Es besteht nach bisheriger Bearbeitung, ohne die separierten Objekte, aus ca. 2 Mio. Polygonen, 6 Mio. Kanten und 1 Mio. Punkten. Dies muss für einen späteren Export stark reduziert werden, um eine adäquate Darstellung in VRML zu gewährleisten. Ein weiteres Kriterium war, dass die Wege, die den inneren Park durchziehen, ein eigenständiges Objekt bilden sollen. Es soll möglich sein, diese unabhängig vom Landschaftsmodell darzustellen. Eine Einhaltung von bestimmten Arbeitsschritten ist notwendig, damit die Oberfläche des Landschaftsmodells und die Wege an den angrenzenden Kanten, kongruent sind. Somit wurde erst die Oberfläche des TINs vereinfacht

und anschließend die Wege als eigenständiges Objekt aus dem TIN gelöst. Eine umgekehrte Herangehensweise würde dazu führen, dass durch den Prozess der Dezimierung beider separater Objekte, die Geometrie des Landschaft-TINs, und die der Wege unterschiedlich vereinfacht würde. Angrenzende Kanten wären nicht mehr deckungsgleich. Dadurch entstünden unerwünschte Löcher zwischen der Landschaftsoberfläche und den Wegen.

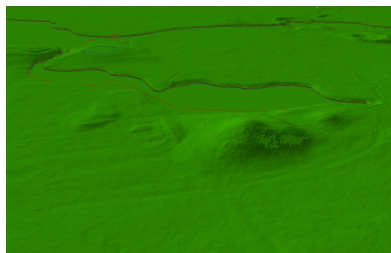
Zur Vereinfachung des TINs wird eine Funktion angewendet, die eine generalisierte Version eines TINs in Abhängigkeit von einem Toleranzwert erzeugt. Der Toleranzwert kann sowohl ein Intervall sein, innerhalb dessen Polygone zusammengefasst werden, als auch eine Anzahl von Polygonen, die das generalisierte TIN maximal haben darf. Es zeigte sich, dass die Eingabe eines Toleranzwertes, der ein definiertes Intervall bestimmt, deutlich präziser arbeitet, als die zweite Auswahlmöglichkeit. Der zugrundeliegende Algorithmus arbeitet so, dass jeder Punkt des Ausgangs-TINs, der mittels linearer Interpolation mit dem neuen TIN verglichen wird, nicht stärker als dieser Toleranzwert abweicht. Nach einigen Tests erwies sich das Intervall von 10 cm als hinreichend gering, um möglichst viele Informationen zu behalten und dennoch als ausreichend, um das TIN weitestgehend zu vereinfachen. Dabei wurde der Prozess der Dezimierung mehrmals durchgeführt.

*ArcToolbox -> 3D Analyst Tools -> TIN Surface -> Decimate TIN Nodes*

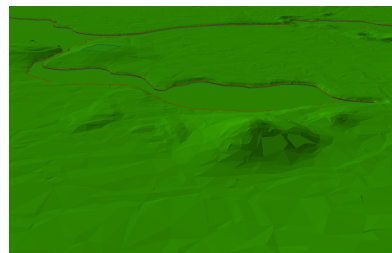
*ZTolerance: 0,1*

*Copy Breaklines*

Nach mehreren Durchgängen, verringerte sich die Anzahl der Polygone nur noch geringfügig. An dieser Stelle ist eine Grenze erreicht, an der, in dem spezifizierten Intervall, keine Vereinfachung mehr möglich ist. Nachdem das TIN vereinfacht wurde besteht es nun aus ca. 90.000 Polygonen, 270.000 Kanten und 45.000 Punkten.



(a) Das Gelände-TIN vor der Dezimierung



(b) Das Gelände-TIN nach der Dezimierung

Abbildung 6.10: Das Gelände-TIN vor und nach der Dezimierung

#### 6.2.1.4 Die Wege

Als abschließender Schritt wird das Herauslösen der Wege beschrieben. Ähnlich, wie bei vorangegangenen Arbeitsschritten, diente dabei ein selbst erzeugtes Shapefile als Basis. Da die Wege eine sehr komplexe Form beschreiben, und sie sich an vielen Stellen kreuzen, konnte bei der Erstellung der Form kein Polygon-Shape genutzt werden. Es wäre an dieser Stelle mit Polygonen nur möglich gewesen, ein Negativ der Wege des Parks darzustellen. Um die Form der Wege in ArcGis zu beschreiben, wurde ein Line-Shape benutzt. Nachdem es in ArcCatalog erzeugt wurde, konnte es in ArcMap bearbeitet werden. Höhenwerte waren für dieses Shapefile nicht relevant, da die Höhen später von der Oberfläche des Gelände-TINs übernommen wurden. Die Grundlage für die Wege bildete auch hierbei die CAD-Karte, in der alle Wege verzeichnet sind. Im Gegensatz zu einem Polygon-Shape ist es bei der Bearbeitung des Shapefiles nicht ausschlaggebend, ob sich Linien kreuzen. Das Line-Shape wurde so erzeugt, dass die Linien mittig auf den zugrundeliegenden Wegen verlaufen, mit dem Ziel, sie nach abgeschlossener Bearbeitung zu puffern. Abschnitte, an denen Brücken stehen, wurden bei der Erstellung der Linien mit einbezogen. Dadurch gehen die Wege an diesen Stellen später im Landschafts-TIN durch das Flussbett, was real nicht der Fall ist. Derartige Mängel wurden an dieser Stelle ignoriert und später im 3D-Modeller bearbeitet. Die erzeugten Linien dürfen dabei die definierte Parkgrenze nicht überschreiten, da es sonst im späteren Verlauf nicht möglich ist, das Modell zu exportieren. Der Grund dafür konnte nicht ermittelt werden. Eine Vermutung ist, dass durch die Wege, die später extrahiert wurden, und damit ein eigenständiges Objekt bilden, die Hülle des TINs aufgebrochen wird und dadurch kein Export möglich ist. Aus der CAD-Karte ist ersichtlich, dass die Breite der Wege ca. 2,5 m im Durchschnitt beträgt. Das erzeugte Line-Shape bildet die Ausgangsform für ein Polygon, das die Wege darstellt. Da die Linie selber keine seitliche Ausdehnung besitzt, wird sie an beiden Seiten um 1,25 m gepuffert.

*ArcToolbox -> Analysis Tools -> Proximity -> Buffer*

*Distance: 1,25*

Es entsteht ein Polygon-Shape, dessen symbolisierte Wege eine Breite von 2,5 m haben. Da dieser Wert nur der Durchschnitt ist, entspricht das Polygon nicht allen Bereichen im realen Park. Das machte es nötig, in betroffenen Abschnitten die Punkte des Wege-Polygon-Shapes im Anschluss manuell zu bearbeiten. Vor allem im Areal des Schlosses und des Gewächshauses ist die Form der Wege gänzlich verschieden und bedarf einer Anpassung. Dazu werden einzelne Punkte des Wege-Polygon-Shapes manuell bearbeitet.

*Im Editor den 'Task' zu 'Modify' wechseln*

Mit dem endgültigen Wege-Polygon-Shape können die Wege aus dem TIN extrahiert werden. Dazu sind zwei Operationen nötig. Die erste schneidet die Wege mit Hilfe der erzeugten Schablone aus und die zweite erstellt aus ihr ein eigenständiges TIN, das

die Wege repräsentiert. Es fügt die vorher ausgeschnittenen Wege als eigenständiges TIN wieder ein, und die Höhen werden an betreffenden Stellen automatisch aus dem Gelände-TIN übernommen. Die Reihenfolge dieser Operationen ist vernachlässigbar, da jeweils gleiche Resultate erzeugt werden. Es wurde hier zuerst die Form der Wege aus dem bestehenden TIN gelöst.

*ArcScene -> 3D Analyst -> Create/Modify TIN -> Add Features to TIN*

Das Wege-Polygon-Shape geht mit folgenden Optionen in die Triangulation des Gelände-TINs ein:

*Height source: <None>*  
*Triangulate as: hard erase*  
*Tag value field: <None>*

Anschließend wird aus dem Wege-Polygon-Shape mit Hilfe des Gelände-TINs ein eigenständiges Wege-TIN erzeugt.

*ArcScene -> 3D Analyst -> Create/Modify TIN -> Add Features to TIN*

Das Polygon-Shape geht mit folgenden Optionen in die Triangulation des TINs ein:

*Height source: <None>*  
*Triangulate as: hard clip*  
*Tag value field: <None>*



(a) Ausschnitt des Wege-TINs



(b) Ausschnitt des Gelände-TINs nach Extrahierung der Wege

Abbildung 6.11: Das Gelände-TIN und die herausgelösten Wege

Die Funktionen und Möglichkeiten in ArcGIS, die einzelnen Objekte für eine Darstellung in VRML zu optimieren, sind an dieser Stelle weitestgehend ausgeschöpft. Für den weiteren Prozess ist es aber relevant die Geländeoberfläche weiter zu bearbeiten. Es sind zum einen die Treppeneffekte, die nicht ohne weiteren Mehraufwand in ArcGIS bearbeitet werden können. Zum anderen ist die Datengröße für eine Darstellung in VRML

noch zu groß. Im Zuge weiterer Vereinfachung würden durch die begrenzten Funktion von ArcGIS zu viele wichtige Informationen verloren gehen.

Bei dem Export der einzelnen Objekte ist es wichtig, dass alle Daten, die später eine VRML-Welt darstellen, in ArcScene geladen sind. Einzelne Objekte werden so exportiert, dass der Mittelpunkt der Geometrie des Objektes in der VRML-Welt auf dem Koordinatenursprung liegt. ArcScene ermittelt die Koordinaten eines Objekts für den Export in das VRML-Format anhand aller geladenen Objekte. Dabei wird die Position, der zu exportierenden Objekte, ausgehend vom Szenen-Mittelpunkt aller geladenen Objekte, bestimmt. Durch die unterschiedliche Größe und Ausdehnung der einzelnen TINs ermittelt ArcScene für jedes Einzelobjekt eine andere Position. Dadurch würden Objekte in falscher Relation zueinander exportiert und ergäben eine falsche Darstellung in der endgültigen VRML-Szene. Das heißt, für den Export aller bis jetzt erstellten Objekte, ist es nötig alle Daten in ArcScene zu laden, und die einzelnen Objekte für einen Export zu selektieren und die anderen zu deselektieren. Alle in ArcGIS erzeugten Objekte werden aus ArcScene als VRML wie folgt exportiert.

*ArcScene -> File -> Export Scene -> 3D*

## **6.2.2 Bearbeitung des Geländes mit Maya**

Nachdem die Objekte in ArcGIS fertiggestellt und exportiert wurden, war es nun möglich, diese in Maya zu importieren. Maya bietet keine Möglichkeit direkt innerhalb des Programms die VRML-Dateien zu importieren, stellt jedoch ein Tool bereit, mit dem der Import möglich ist. Das Tool, 'wrl2ma.exe', befindet sich im Ordner 'bin' des Installationsverzeichnis. Damit werden die einzelnen Objekte nacheinander in das Maya-ASCII(.ma) Dateiformat, ein lesbares Format für Maya, gebracht. Die entstanden Dateien können nun problemlos in Maya in eine Szene geladen werden. Dabei haben sie nach wie vor zueinander die jeweils korrekte Position im Raum.

*File -> Import*

Als erstes wurden Geländeoberfläche und Wege bearbeitet. Im Vordergrund stand die Vereinfachung der Geometrie und damit die Reduzierung der Datengröße. Nach dem Laden in Maya bestand die Geländeoberfläche aus ca. 90.000 Polygonen. Maya bietet hierfür eine Funktion, die die Geometrie eines Polygons um einen bestimmten Prozentwert vereinfacht. Diese ist ähnlich zu der Funktion in ArcGIS, arbeitet jedoch genauer und erzeugt weit bessere Ergebnisse. Durch die Vereinfachung der Geometrie wurden auch die erwähnten Treppeneffekte stark reduziert.

*Edit Mesh -> Reduce*

*Reduce by: x*

*Keep: Mesh Boarders*

*Hard Edges*

Der Prozess der Dezimierung wurde mehrmals mit kleineren Werten durchlaufen. So konnte besser auf die Reduzierung eingegangen werden und eventuell entstandene Fehler oder Unzulänglichkeiten in der Geometrie wurden schon frühzeitig erkannt. Der Wert der Reduzierung wurde nicht statisch festgelegt, sondern vielmehr experimentell in jedem Durchgang ermittelt und geändert. Die Vorgehensweise stützte sich in Bezug auf die Optimierung der Darstellung nur auf Beobachtungen und den subjektiven Eindruck. Da die Landschaft und die Wege zusammen die Oberfläche des Geländes repräsentieren, war es nötig, beide in dem Prozess der Dezimierung zu berücksichtigen. Weil diese aber zwei unterschiedliche Objekte darstellen, werden sie auch so behandelt und dezimiert. Die Funktion in Maya behandelt immer nur ein Polygon gleichzeitig und nimmt dabei keine Rücksicht auf eventuell angrenzende Objekte. Auch die Vereinigung der beiden Objekte, war nicht möglich, da sonst im Verlauf der Dezimierung die Geometrie der Wege im Gelände als solches unkenntlich wird. Das Problem ist an dieser Stelle unumgänglich und es wurden Landschaft und Wege separat vereinfacht. Das heißt, nach dem ersten Durchlauf der Reduzierung der Landschaft, wichen deren Kanten von denen der Wege ab. Es entstanden Lücken in der Oberfläche. Die Komplexität der Geometrie wurde schrittweise bei beiden Objekten reduziert, bis das Gelände eine Polygonanzahl von 15.000 und die Wege von 3.500 aufwiesen. Mit dieser Größe der Daten war es möglich ein VRML-Modell der Landschaft zu erzeugen, das adäquate Ladezeiten und eine gute Navigation gewährleistete.

Um vorher genannte Defizite auszugleichen, musste das Modell nun manuell bearbeitet werden. Dieses sollte an einem Punkt geschehen, an dem die Anzahl der Polygone nicht weiter durch Funktionen reduziert werden soll. Um die entstandenen Lücken zwischen Gelände und Wegen zu schließen, wurden jeweils ein Punkt der Landschaft und ein Punkt des Weges, die nahe beieinander lagen, zu ihrem gemeinsamen Mittelpunkt vereint. Das geschah mit allen Punkten entlang der Kante, an dem das Wege-TIN aus dem Landschafts-TIN gelöst wurde. Dabei blieben die einzelnen Punkte bestehen, teilten sich aber die selbe Position im Raum. Somit waren die Lücken in der Oberfläche geschlossen, da die Kanten beider Objekte wieder kongruent waren.

*Edit Mesh -> Merge To Center*

Da der Grund der Seen und Flüsse im fertigen Modell von Wasser bedeckt sein wird, wurde entschieden, die Polygone, die den Grund repräsentieren, auszuschneiden, um so nochmals die Geometrie zu reduzieren. Auch die Fehldarstellung der Wege, die vorher

durch das Flussbett verlaufen, konnte damit beseitigt werden. In einer Seitenansicht auf das Modell wurde eine Schnittkante definiert, die das Polygon zerschneidet.

*Edit Mesh -> Cut Faces Tool*

Anschließend erfolgte Feinarbeit am Geländemodell. Noch bestehende Treppeneffekte sowie unnatürlich aussehende Geometrien wurden durch gezielte Manipulation einzelner Punkte beseitigt, und ein einfaches Polygon eingefügt, das das Wasser im Modell repräsentiert.

Durch die Reduzierung der Polygone auf ein Minimum, beschreiben wenige Polygone mitunter geometrisch komplexe Objekte der Landschaft. Das macht die Oberfläche starr und kantig. (Abb. 6.12 a) Eine Möglichkeit, um das zu umgehen, wäre wieder Polygone einzufügen, um die Struktur der Oberfläche zu glätten. Da jedoch das Ziel war, so wenig wie möglich Polygone in dem VRML-Modell zu haben, wurde auf eine andere Variante zurückgegriffen. Um eine glatte und weiche Oberfläche zu erhalten, mussten die Normalenvektoren der einzelnen Punkte, die die Polygone definieren, verändert werden. Die Normalenvektoren bestimmen die Reflektierung des Lichts und beeinflussen das Aussehen der Polygone. Standardmäßig sind die Normalenvektoren in einem Winkel von  $90^\circ$  zur Polygonoberfläche definiert. Maya bietet hierfür eine Funktion, die die Normalenvektoren in Abhängigkeit von den angrenzenden Polygonen verändert. Um sie für einen Punkt anzupassen, wurde ein Mittelwert der Normalenvektoren, der Flächen aller Polygone in der ein Punkt liegt, durch Maya berechnet. Dieser wurde anschließend diesem Punkt zugewiesen und gilt für alle angrenzenden Polygone an dieser Stelle. Somit entstand der Eindruck einer glatten Oberfläche, obwohl das zugrundeliegende Objekt kantig war.

*Normals -> Average Normals*

Diese Funktion wurde auch auf die anderen importierten Objekte, wie die Pyramiden und die Inseln, angewandt.

### **6.2.3 Einfügen von Gebäuden**

Zur Realisierung des Branitzer Parks, als virtuell begehbare Modell, gehören, neben der Darstellung der Landschaft, auch die Gebäude, die den Park ergänzen. Vor allem das Schloss, als bekanntestes Gebäude im Park, sowie die umliegenden Gebäude wie Marstall und Kavaliershaus, sind für die Darstellung in einem Modell essentiell. Da der Park von Flüssen und Seen durchzogen ist, sind die zahlreichen Brücken wichtig, um den gesamten Park zu erschließen. Diese sollen auch als Objekte in die VRML-Welt einfließen. Weiterhin bekannte Gebäude sind die Schmiede im Osten des Parks, das Torhaus im Norden und die unmittelbar in der Nähe gelegene Gärtnerei, die ebenso Bestandteile des VRML-Modells werden sollen.

Einige Gebäudemodelle, darunter das Schloss und umgebende Bauten, sowie einige andere Bauwerke im Park, wurden vom Systemhaus Stahr schon im Rahmen der Visua-



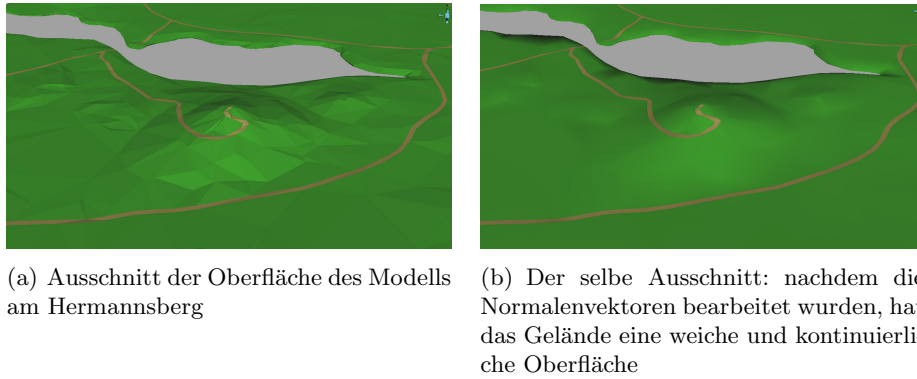


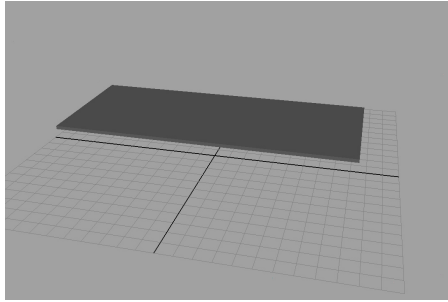
Abbildung 6.12: Die Oberfläche des Modells vor und nach der Bearbeitung der Normalenvektoren

lisierung des Branitzer Parks, als hochpolygonale Objekte erstellt und für dieses Projekt zur Verfügung gestellt. Ebenso, wie in Kapitel 6.2.2 beschrieben, müssen diese Modelle vom VRML-Format in ein für Maya lesbares Dateiformat gebracht werden. Das Schloss, der Marstall, das Kavaliershaus, die Pergola mit den angrenzenden Mauern, die ägyptische Brücke, das Podest auf der Landypramide, und das Parisol wurden in dieser Weise bearbeitet und in Maya importiert. Noch nicht vorhandene Modelle wurden im Rahmen dieser Arbeit mit Maya erzeugt. Dazu zählen die Schmiede, die Gärtnerei, das Torhaus und die zahlreichen Brücken. Alle Modelle bestehen aus geometrischen Primitiven. Hauptsächlich wurde der Kubus verwendet, um die genannten Objekte "nachzubauen". Dabei wurde darauf geachtet, dass entstehende Modelle in ihrer Komplexität nicht 100%ig der Realität entsprechen, sondern vielmehr vereinfachte Modelle repräsentieren sollen, mit der Prämisse, diese adäquat in VRML darstellen zu können. An dieser Stelle soll nicht genau auf den Prozess der Modellierung eingegangen werden, da er einerseits kein Kernthema dieser Arbeit darstellt, und andererseits in jedem Programm auf eine andere Art und Weise erfolgt. Am Beispiel einer Brücke soll die Modellierung in Maya nur skizzenhaft angedeutet werden. (Abb. 6.13) Als Vorlage dienten hierbei nur Fotos, aufgenommen aus verschiedenen Perspektiven.

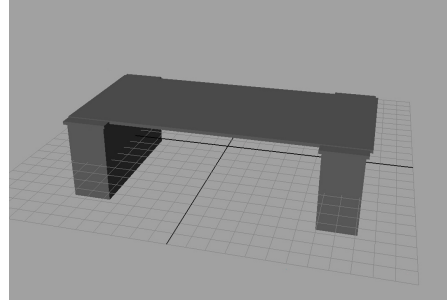
Unter der Berücksichtigung des Ansatzes, Objekte mit gleichem Aussehen zu Einem zu kombinieren (Kap. 4.2), wurden Teile mit gleichem Material zu einem zusammengeführt. Besonders bei dem Geländer, das durch viele einzelne geometrische Primitive repräsentiert wird, wurde dieses Verfahren angewandt.

#### *Mesh -> Combine*

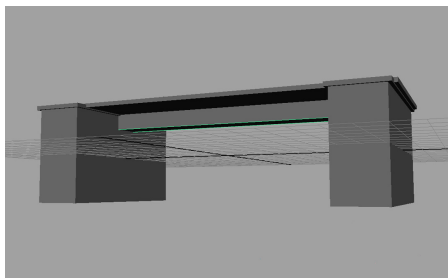
Die erzeugten Modelle wurden anschließend in die bestehende Maya-Szenerie importiert und mit Hilfe einer Referenz positioniert. Die Referenz, in ArcGIS erzeugt, zeigt Standpunkte von Gebäuden als polygonale Flächen. Abgeleitet von der CAD-Karte wurden diese in ArcMap erzeugt und als VRML-Objekt exportiert, danach konvertiert und in Maya geladen. Damit war es möglich, die Gebäude im Modell genau zu platzieren



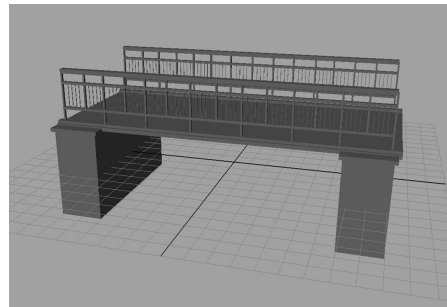
(a) Als erstes wurde eine Lauffläche als Grundlage erstellt. Dafür diente ein Kubus, der in entsprechende Form gebracht wird.



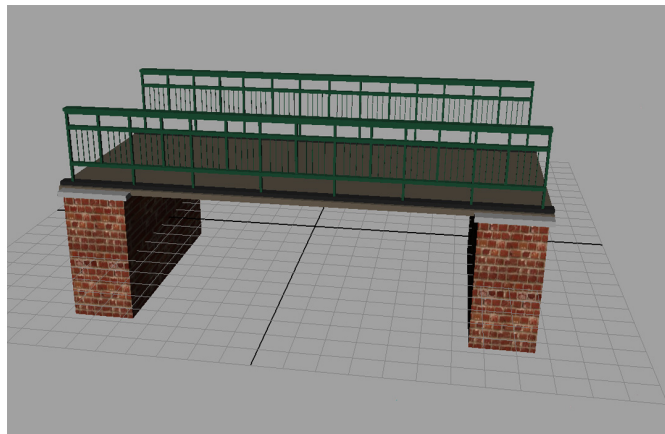
(b) Da die meisten Brücken im Park auf Stützen oder Pfeiler ruhen, wurden diese auch aus Kuben erzeugt, und relativ zur Grundfläche in die richtige Position gebracht



(c) Träger, die die Grundfläche der Brücke stärken, wurden wie zuvor aus einem geometrischen Primitiv erzeugt und unterhalb der Lauffläche platziert.



(d) Das Geländer stellte den letzten Teil der Brücke dar. Es wurde aus verschiedenen skalierten Kuben zusammengesetzt, die räumlich zu einander angeordnet sind. Nachdem die einzelnen Teile erstellt wurden, ist die Form der Brücke komplett



(e) Den einzelnen Objekten wie Geländer, Grundfläche und Stützen konnten nun unterschiedliche Materialien zugewiesen werden.

Abbildung 6.13: Erstellung einer Brücke in Maya

und zu skalieren, und im weiteren Verlauf räumlich korrekt zueinander für VRML zu exportieren.

Im Hinblick auf die Realisierung für VRML und unter Berücksichtigung der Kriterien aus Kapitel 4.2, war die Erzeugung einfacher Modelle aus schon Bestehenden, ein weiterer Schritt. Zugrunde liegt hierbei die Überlegung, dass Objekte in weiter Entfernung weniger detailliert dargestellt werden müssen, als nahe liegende Objekte. Dafür wird ein Grenzwert bestimmt, der von keinem der Gebäude überschritten werden soll. Dieser wurde subjektiv festgelegt und beträgt ca. 4.000 Polygone pro Gebäude. Hochpolygonale Objekte, wie das Schloss mit über 80.000 Polygonen, das Kavaliershhaus mit ca. 5.000 Polygonen und der Marstall mit ca. 8.000 Polygonen wurden vorrangig vereinfacht. Der Marstall und das Kavaliershhaus wurden mit der selben Funktion vereinfacht, die auch bei der Oberfläche der Landschaft zur Anwendung kam.

*Edit Mesh -> Reduce*

Nach dem mehrmaligen Durchlaufen dieser Funktion, wurde die Anzahl der Polygone dieser Gebäude auf 1/10 des Ausgangswerts reduziert.

Die Geometrie des Schlosses hingegen konnte nicht ohne weiteres vereinfacht werden. Das hatte einerseits mit der Art der komplexen Geometrie und der Art der Konstruktion zu tun, andererseits mit den Texturen, die über das Objekt drapiert waren. Die Positionen der Texturen waren an die Geometrie des Modells gebunden. Bei dem Versuch, die Geometrie zu vereinfachen, verschoben sich die Texturen und ergaben ein unbrauchbares Modell. Hier wurde ein komplett neues, vereinfachtes Modell erstellt.

Ebenso, wie bei den hochpolygonalen Objekten, wurden die entstanden Gebäude in die bestehende Szene importiert und an entsprechenden Stellen positioniert.

## **6.2.4 Exemplarisches Einsetzen von Bäumen**

### **6.2.4.1 Bestimmung der Baumstandpunkte aufgrund von Sichtachsen**

Im Branitzer Park gibt es ca. 8.000 Bäume, die in über 70 unterschiedliche Gattungen untergliedert sind. Sie bilden ein Hauptgestaltungsmittel, das Pückler einsetzte, um gezielt Bereiche zu verdecken, aber auch spezielle Sichten zu erzeugen. Es sollen im weiteren Verlauf, auf der Grundlage von Sichtachsen, Bäume exemplarisch in die VRML-Welt eingefügt werden. Dabei ist es nicht notwendig, alle Bäume in das Modell zu übernehmen, sondern eine intelligente Auswahl, aufgrund von Sichtachsen, zu treffen. Es soll nur ein Ausschnitt des kompletten Baumrepertoires des Branitzer Parks in die Darstellung eingehen. Dabei handelt es sich in erster Linie um die am meisten vorhandenen Bäume im Park, aber auch um solche, die innerhalb einer Sicht dominieren, und diese prägen. Das hat den Grund, dass auch in der späteren Darstellung, Bäume mit gleicher Erscheinung nur durch ein Baummodell realisiert werden sollen. Baumgattungen sollen verallgemeinert und zu einer Repräsentation eines Baums zusammengefasst werden. Es soll sich aber so nah wie möglich an der Realität orientiert werden und Verallgemeinerungen nur in einem vertretbaren Rahmen stattfinden.

Die Darstellung der Bäume in der VRML-Welt setzt sich aus den Standpunkten, die innerhalb ArcGIS ermittelt und exportiert werden, und aus einem in Maya erzeugten einfachen Baummodell zusammen. Es erfolgt hier kein Export von ArcGIS in Maya und anschließend in VRML, wie es bisher der Fall war, sondern beide Teile vereinen sich erst bei der Erstellung der VRML-Welt.

## Visualisierung der Bäume des Parks

Um zu bestimmen, welche Bäume für eine weitere Bearbeitung und Darstellung relevant sind, galt es zu ermitteln, ob diese von einem bestimmten Standpunkt aus sichtbar sind. Dazu mussten zu aller erst Sichten bestimmt werden. Zwei wurden dafür festgelegt. Es handelt sich um den Blick vom Hermannsberg auf die Pyramiden und die Sicht von dem kleinen Hügel auf das Schloss samt Marstall und Kavaliershäuser. Der Grund für diese Auswahl ist die Möglichkeit, diese Sichten mit den fiktiven, sowie historischen Modellen zu vergleichen. In diesem Kapitel soll die Sicht vom Hermannsberg auf die Pyramiden als Grundlage für eine weitere Beschreibung dienen. Der angeführte Arbeitsvorgang ist dabei auf jede andere übertragbar.

Mit den definierten Sichtachsen ist es möglich, in ArcScene andeutungsweise darzustellen, welche Bäume für eine Sicht relevant sind. Durch die Möglichkeit, sich in ArcScene innerhalb einer Szene frei zu bewegen und zu navigieren, ist es möglich, erste Schlüsse zu ziehen, welche Gebiete von einer Sicht aus zu sehen sind, und damit verbunden, Bäume zu selektieren, die relevant sind, um eine realitätsnahe Darstellung der VRML-Welt zu bekommen. Das bereits erzeugte GIS-bezogene Material bildet dabei die Grundlage und wird in ArcScene geladen. Dazu gehören das Gelände, die Wege, die Inseln und die beiden Pyramiden.

Um die Position der einzelnen Bäume des inneren Parks zu beschreiben, dient ein Shapefile, das sogenannte Baumkataster. Dieses stellt anhand von Punkten die exakte Position der Bäume dar, und beinhaltet zusätzliche Daten wie: Gattung der Bäume, deutsche Bezeichnung, Höhe, Stammumfang, Kronendurchmesser, Vitalität der Bäume etc. Das Baumkataster beschreibt nur die Lage der Bäume, besitzt jedoch keine verwendbare Höheninformation der Punkte. Für eine Visualisierung mussten ihnen, anhand des Gelände-TINs, noch Höhen zugeordnet werden. Jeder Punkt des Baumkatasters bekommt so die Höhe, die das TIN an betreffender Stelle aufweist.

*ArcScene -> Rechtsklick auf das Baumkataster -> Properties -> Reiter 'Base Heights' -> 'Obtain heights for layer from surface'*

Anschließend werden die Punkte auf der Geländeoberfläche dargestellt. In ArcScene ist es möglich, die Repräsentation der Standpunkte der Bäume mittels simpler Punkte durch Baum-Symbole zu ersetzen. Das erlaubt dem Betrachter einen Eindruck davon zu bekommen, welche Areale in eine Sicht involviert sind und welche überdeckt werden. Zur Darstellung dieser Punkte als Bäume muss folgende Einstellung vorgenommen werden.

*ArcScene -> Rechtsklick auf das Baumkataster -> Properties -> Reiter 'Symbolology'*

Es erscheint ein Menü, in dem mehrere Baumarten zur Verfügung stehen. Um einen realitätsnahen visuellen Eindruck zu bekommen, wurde für die Repräsentation aller Bäume ein einheitliches Baumsymbol verwendet, dem eine Höhe von 20 m zugewiesen wurde. Dieses, senkrecht auf dem TIN stehende Symbol, wird dabei durch zwei zueinander rechtwinklige Flächen mit jeweils einer Baumtextur dargestellt.

### Auswahl der Baumgruppen

Durch die Navigation der Kamera, an den zuvor festgelegten Sichtpunkt, war es möglich, relativ genau abzuleiten, welche Areale relevant sind, um ein realitätsnahes Modell zur erzeugen. Es ließen sich Schlüsse daraus ziehen, welche Bäume von anderen überdeckt werden, und welche Baumstandpunkte übernommen werden mussten, um eine adäquate Sicht in der VRML-Welt zu erhalten. (Abb. 6.14) Um die benötigten Punkte aus dem

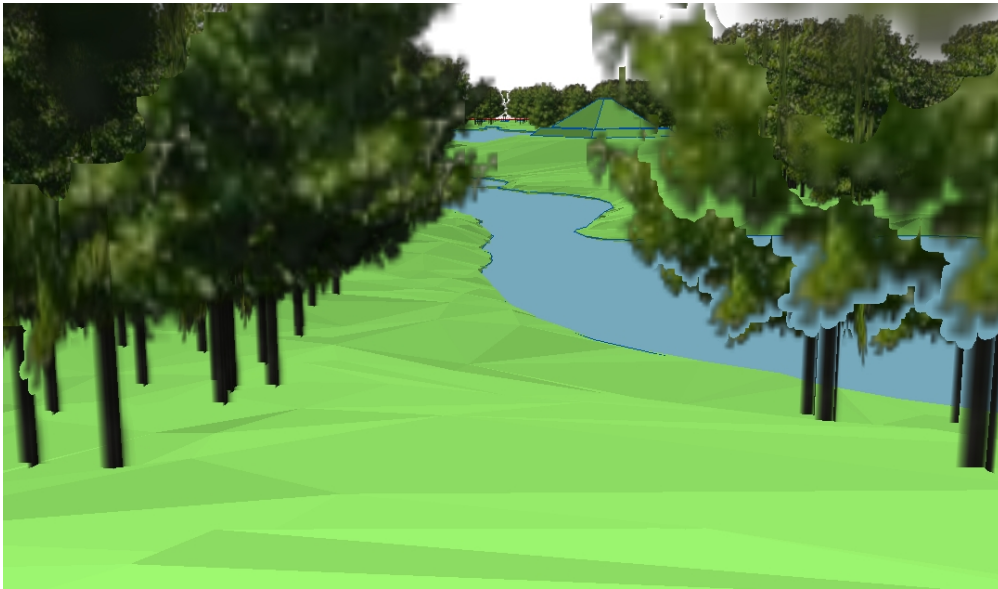


Abbildung 6.14: Der Blick vom Hermannsberg in ArcScene

Baumkataster zu extrahieren, wurde ein Polygon-Shape erzeugt, was die vorher ermittelten relevanten Standpunkte der Bäume eingrenzte. Dieses diente als Schablone, die ein Gebiet aufzeigt, in welchem alle, für die Nachempfindung der Sicht, relevanten Bäume stehen. Anhand der Visualisierung in ArcGIS ist ersichtlich, dass es nicht notwendig ist, alle Bäume zu visualisieren. Auch wenn sie innerhalb des Sichtkegels des Betrachters wären, werden sie von anderen überdeckt. Baumstandpunkte, die ausgehend vom Sichtpunkt nicht sichtbar sind, wurden deshalb in der Erstellung des Polygons nicht berücksichtigt. Das Polygon wurde, wie in Kapitel 6.1 beschrieben, erzeugt. Mit seiner Hilfe war es möglich, die relevanten Standpunkte der Bäume zu extrahieren. Sie sind innerhalb der Sicht notwendig, um ein reales Modell zu kreieren. Dabei wurden Punkte,

die innerhalb der Grenzen des Polygons liegen, ausgeschnitten. Sie bilden ein eigenständiges Shapefile.

*Toolbox -> Analysis Tools -> Extract -> Clip*

Es entstand ein Baumkataster mit der flächenmäßigen Ausdehnung des Polygons. Das erzeugte Baumkataster beinhaltet nun weit weniger Baumstandpunkte als das komplette Baumkataster, jedoch für eine spätere Darstellung weiterhin zu viele.

Wie in diesem Kapitel schon erwähnt, sollen nur die am meisten vertretenen Bäume in Abhängigkeit einer Sichtachse, sowie die, die signifikant für eine Sicht sind, weiterhin betrachtet werden. Aufgrund der Tatsache, dass in ArcGIS Daten innerhalb einer Datenbank verwaltet werden, ist es möglich, Abfragen durchzuführen. Somit kann aus dem entstanden Baumkataster abgefragt werden, welche Bäume häufiger und welche weniger häufig vorkommen. Anhand dieser Möglichkeit, einen Datensatz auszuwerten, konnte bestimmt werden, welche Baumarten in einer Sicht dominieren. Um einen Datensatz auszuwerten, müssen in ArcGIS innerhalb einer Funktion die Attribute ausgewählt, und die Art der Statistik bestimmt werden. In diesem Fall ist das die Anzahl der Bäume einer Gattung.

*Toolbox -> Analysis Tools -> Statistics -> Summary*

Für die Sichtachse vom Hermanssberg ist das die Eiche und die Buche. Dabei wurden bei der Auswertung jeweils für beide Bäume alle Gattungen dieses Baumes zu einer Baumgruppe zusammengefasst. Das heißt, unter dem Begriff 'Eiche' vereinen sich Rotliche, Stieleiche, Sumpfeiche und Säuleneiche. Weiterhin sind für die VRML-Welt nur Bäume relevant, die eine gewisse Höhe besitzen. Anhand von Auswertungen wurde ermittelt, dass die Bäume in bestimmten Höhenintervallen häufiger vertreten sind. Für die Eiche ist es ein Intervall von 20-24 m und 26-27 m, für die Buche 14-15 m und 20-24 m. In der fertigen Darstellung wird dann ein Baum der Baumgruppe, der alle Gattungen der Eiche repräsentiert und eine Höhe von 20-24 m besitzt, durch ein einziges Modell beschrieben. Genauso verhält es sich mit der Buche.

Anhand dieser ermittelten Fakten konnten betreffende Baumstandpunkte, die eine Baumgruppe repräsentieren, separiert werden. Jede Baumart mit entsprechendem Höhenintervall bildete dann ein neues Baumkataster. Dazu wurden als erstes die Punkte mit Hilfe von SQL<sup>3</sup>-Abfragen selektiert. Durch die Abfrage werden nur die Punkte gezeigt, die der WHERE-Klausel des SQL-Statements entsprechen. Alle anderen werden nicht dargestellt. Sie existieren aber in diesem Datensatz weiterhin.

*ArcScene -> Rechtsklick auf Baumkataster -> Properties -> Reiter: 'Definition Query'*

---

<sup>3</sup>SQL, Abkürzung für Structured Query Language, ist eine Sprache zur Definition, Abfrage und Manipulation von Daten in relationalen Datenbanken

Die WHERE-Klausel in Abbildung 6.15 selektiert nur alle Gattungen der Eiche, die zwischen 20 und 24 m hoch sind: Nachdem nur alle betreffenden Punkte sichtbar sind,

```
'DEUTSCHE B' = 'Roteiche'  
OR 'DEUTSCHE B' = 'Stieleiche'  
OR 'DEUTSCHE B' = 'Sumpfeiche'  
OR 'DEUTSCHE B' = 'Säuleneiche'  
AND 'HÖHE M' >= '20' AND 'HÖHE M' <= '24'
```

Abbildung 6.15: SQL-Abfrage

musste daraus eine neue Datei erzeugt werden, die tatsächlich auch nur diese Werte enthält.

*ArcScene -> Rechtsklick auf Baumkataster -> Data -> Export Data*

Der Vorgang wurde für alle wiederholt, und es entstanden vier neue Shapefiles, die jeweils eine Baumgruppe mit dem jeweiligen Höhenintervall beschreiben.

Weiterhin signifikant für die Sicht vom Hermansberg waren die Nadelbäume, die in dieser Perspektive im Vordergrund stark vertreten sind. Besonders dominant in diesem Gebiet sind Kiefern, Tannen, Fichten und Lärchen. Diese Bäume stehen verhältnismäßig nahe zum Sichtpunkt. Im Hinblick auf eine spätere Darstellung in VRML wurden, aufgrund ihrer Erscheinung, Tanne und Fichte, sowie Kiefer und Lärche jeweils zu einer Baumgruppe zusammengefasst. Bei diesen Baumgruppen kamen selbige Schritte wie bereits beschrieben zur Anwendung. Es entstanden zwei weitere Baumgruppen, die die Nadelbäume repräsentieren. All diese erzeugten Point-Shapes beinhalten die Standpunkte der einzelnen Bäume einer Baumgruppe. Diese Daten wurden anschließend in das VRML-Format exportiert, und die einzelnen Punkte wurden später verwendet, um die Bäume an den räumlich exakten Standpunkten in die VRML-Welt einzubinden.

#### 6.2.4.2 Erstellung von Baummodellen mit Maya

Alle Baumgruppen, die in Kapitel 6.2.4.1 für eine weitere Darstellung vorbereitet wurden, werden in der VRML-Welt unterschiedliche Erscheinung haben. Um das zu erreichen, bedarf es simpler Modelle, die alle Bäume einer Baumgruppe repräsentieren. Diese sollen in der späteren VRML-Welt als Billboards eingesetzt werden, deren Standpunkte durch die ermittelten Punkte beschrieben werden. Als Darstellungsform soll ein einfaches Rechteck fungieren, auf das eine Textur gelegt wird, die den jeweiligen Baum darstellt.

Um Relationen und die Höhe der Bäume im Verhältnis zum Rest der VRML-Welt beizubehalten, wurde zuerst für jeden Repräsentanten einer Baumgruppe eine Darstellung in ArcScene erstellt. Für die Baumgruppe der Eiche zwischen 20-24 m wurde der Mittelwert dieser Höhen genutzt. Dazu musste, wie in Kapitel 6.2.4.1 beschrieben, die

Symbologie der Bäume von einem Punkt in einen Baum geändert werden. Anders, als in dem Kapitel beschrieben, sollte hier aber ein einfaches Rechteck anstelle der gekreuzten Rechtecke als Symbol dienen.

*ArcScene -> Rechtsklick auf das Baumkataster -> Properties -> Reiter 'Symbology'*

*In dem Menü 'Properties' den Eintrag bei 'Type' von '3D Character Marker Symbol' auf '3D Marker Symbol' ändern.*

Nun wurde die vorher bestimmte Höhe zugewiesen. In diesem Fall war das der Mittelwert von 20-24 m. Damit das Modell in das VRML-Format exportiert werden konnte, musste es vorher in eine 'echte' Geometrie umgewandelt werden, da sämtliche Bäume in ArcScene nur als Symbol dargestellt werden.

*ArcScene -> 3D Analyst Tools -> Conversion -> Layer 3D to Feature*

Die in ArcScene dargestellte Repräsentation der Bäume wurde nun in 'echte' Polygone umgewandelt. Dabei verlor das entstandene Modell die Textur, die in der Darstellung in ArcScene noch zu sehen war. Das hat den Grund, dass die Texturen nur innerhalb ArcGIS zu Visualisierungszwecken nutzbar, aber nicht für einen Export in ein anderes Format vorgesehen sind. Die Modelle konnten nach dieser Operation exportiert werden. Nach dem Konvertieren in das Maya-ASCII Format konnte das Modell in Maya weiter bearbeitet werden. Da nur ein Repräsentant relevant ist, wurden alle bis auf diesen eliminiert. Anschließend konnte dieser in der Mitte des Koordinatensystems zentriert werden, so dass die untere Kante des Objekts mittig auf dem Koordinatenursprung stand. Eine, dem jeweiligen Repräsentanten der Baumgruppe entsprechende Textur wurde dem Objekt zugewiesen und abschließend in das VRML-Format exportiert.

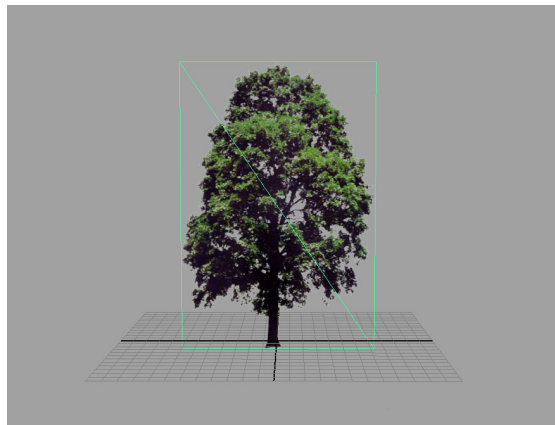


Abbildung 6.16: Eine Baumdarstellung in Maya



## 6.3 Erzeugung eines historischen Modells

### 6.3.1 Einarbeitung historischer Informationen in Teile des TINs

#### 6.3.1.1 Gebietsauswahl

Anders als beim Modell, das den aktuellen Zustand darstellt, dient für ein historisches Modell nur ein Ausschnitt des in Kapitel 6.1 erzeugten TINs. Begründet wird das durch die Wahl des Zeitpunkts, zu dem das historische Modell dargestellt werden soll, und durch das vorhandene Material, das diesem zugrunde liegt. Wie in Kapitel 3.2 erwähnt, sollen möglichst prägnante Veränderungen, die sich überwiegend auf vorhandenes Material stützen, dargestellt werden. Für das historische Modell wurde das Jahr 1845 ausgewählt. Interessant dabei ist es darzustellen, wie der Park aussah, bevor Pückler begann, ihn zu gestalten. Zu dieser Zeit standen Häuser der Bauern um den Schwarzen See, und das Schloss war von einem Graben umgeben. Der Park war noch nicht gestaltet. Maßgeblich für diese die Wahl des historischen Zeitpunkts ist das GIS-bezogene Material und der Vergleich von Sichten. Als Sichtachse dient diejenige, die auch im aktuellen Modell bei der Erstellung berücksichtigt wurde: vom kleinen Hügel im Norden des Schlosses in Richtung Süden auf das Schloss und umliegende Gebäude. Aufgrund dieser Informationen ist es möglich, ein Gebiet einzugrenzen, das nur einen kleinen Ausschnitt des kompletten heutigen Parkgebiets darstellt. Es umfasst den heutigen Pleasureground und einen kleinen Teil des Dorfes Branitz.

Um betreffendes Areal aus dem bestehenden TIN herauszulösen, wurde ein Polygon-Shape erzeugt, das den Teilbereich abdeckt. Dieses wurde als Schablone zur Erzeugung eines TINs genutzt. Indem dieser betreffende Teil mit Hilfe des Polygons ausgeschnitten wurde, entstand ein kleines TIN, das die Oberfläche des heutigen Parks widerspiegelt. Das beinhaltet Kanäle, Seen und Erhebungen.

#### 6.3.1.2 Nachbearbeitung des TINs

Aufgrund der geschichtlichen Aufzeichnungen und des GIS-bezogenen Materials war es notwendig, die Oberfläche des TINs dementsprechend zu verändern. *Ettrich* [5] beschreibt, dass das heutige Parkareal vor der Gestaltung durch Pückler eine flache, sandige Kiefernheide war. Die Gewässer und das Terrain hatten im Vergleich zu heute komplett verschiedene Formen.

Kanäle und Erhebungen des TINs wurden deshalb mit Hilfe von Polygon-Shapes auf ein annähernd gleiches Niveau angehoben, beziehungsweise abgesenkt. Die Erzeugung und Einarbeitung der Polygon-Shapes in das TIN geschah auf selbe Weise, wie in Kapitel 6.2.1.2 beschrieben. Das Terrain ist nach der Bearbeitung fast eben und weist kaum noch Höhenunterschiede im Gelände auf. Dabei war es nicht möglich, aufgrund der heterogenen Oberflächenbeschaffenheit, alle Unzulänglichkeiten mit Hilfe der Polygon-Shapes zu beseitigen. Es entstanden Geländesprünge, die nur mit erheblichen Mehraufwand in ArcGIS hätten beseitigt werden können. (Abb. 6.17) Diese sollen später im 3D-Modeller bearbeitet werden. Flüsse und Seen, die zu Pücklers Zeit die Landschaft durchzogen, sind durch GIS-Material belegt und definieren die räumliche Lage und Ausdehnung der



Abbildung 6.17: Das historische TIN nach der Geländeänderung. Im Bereich des Schlosses und des Schilfsees sind Sprünge im Gelände zu erkennen.

Fließ- und Standgewässer. Analog der Arbeitsschritte in Kapitel 6.2.1.1 konnten mit Hilfe dieser Daten Uferkanten und ein Flussgrund definiert werden. Dabei wurde von den selben Höhen ausgegangen, die auch im aktuellen TIN eingearbeitet sind. Für die Uferkante sind das 72,6 m über NN und für den Wassergrund 71,8 m über NN. Die Höhen wurden den Polygon-Shapes zugewiesen und anschließend als *'hard replace'* in das TIN eingearbeitet. Nach dieser Bearbeitung hat das TIN eine Beschaffenheit, die sich mit dem GIS-Material, sowie den geschichtlichen Überlieferungen weitestgehend vereinbaren läßt.

### 6.3.1.3 Vereinfachung des Geländes

Analog zur Erzeugung des aktuellen TINs, musste auch dieses vereinfacht werden. (Kap. 6.2.1.3) Es war auch hier wichtig, die Reihenfolge der Vereinfachung des Geländes und das Herauslösen der Wege einzuhalten. Da das TIN nur ein kleiner Teilbereich ist und weniger Geometrie aufweist, wurde die Funktion der Dezimierung jedoch nur wenige Male durchlaufen, da die gewünschte Anzahl an Polygonen schneller erreicht war. Nach diesem Prozess bestand das TIN aus ca. 45.000, vorher aus ca. 730.000 Polygonen.

Anschließend wurden, wie beim TIN des aktuellen Parks, die Wege als eigenständige Objekte aus dem TIN gelöst. Die Grundlage bildet das Polygon-Shape, das die Verkehrswege um 1845 repräsentiert. Aus diesem wurde ein neues Polygon-Shape erzeugt, das die räumliche Ausdehnung des TINs besitzt. Dazu musste das Polygon-Shape mit Hilfe der definierten Grenze beschnitten werden. Damit der Export in das VRML-Format funk-

tioniert, durfte das neu entstandene Polygon-Shape nicht die Grenzen des TINs überschreiten, beziehungsweise berühren. (Kap. 6.2.1.4) An den betreffenden Stellen wurden einzelne Punkte nachbearbeitet und minimal verschoben. Mit diesem Polygon-Shape ließen sich, analog zum aktuellen TIN, die Wege herauslösen und ein eigenständiges Wege-TIN erzeugen. Dabei kamen die selben Schritte zur Anwendung die in Kapitel 6.2.1.4 beschrieben sind. Es entstanden Wege und Gelände, als eigenständige TINs. Sie sind an den gemeinsamen Kanten kongruent. Beide konnten abschließend für eine weitere Bearbeitung exportiert werden.

### **6.3.2 Bearbeitung des Geländes mit Maya**

Nach dem Import der beiden Objekte in Maya folgten die selben Bearbeitungsschritte, die auch bei der Erzeugung des aktuellen TINs zur Anwendung kamen. (Kap. 6.2.2) Es wird deshalb im Folgenden nicht ausführlich darauf eingegangen. Beide Objekte wurden separat vereinfacht, bis die Geometrie auf 1/10 des Ausgangswerts reduziert war. Dabei entstanden auch hierbei Lücken zwischen den beiden Objekten, da diese unterschiedlich vereinfacht wurden. Ausgeglichen wurde das durch manuelle Bearbeitung und die Zusammenführung der Punkte der Wege und der Punkte des Terrains. An den Stellen, wo Erhebungen und Kanäle mit Hilfe von Polygon-Shapes ausgeglichen wurden, entstanden teilweise Geländesprünge. (Abb. 6.17) Diese konnten durch keine Funktion innerhalb von ArcGIS oder Maya beseitigt werden und mussten durch gezielte Manipulation der Punkte in Maya bearbeitet werden. Dabei wurde darauf geachtet, das Terrain flach und eben zu gestalten. Abschließend wurden die Normalenvektoren der Polygone des TINs verändert, um eine glatte und kontinuierliche Oberfläche zu erhalten.

### **6.3.3 Einfügen von Gebäuden in das Modell**

Aufgrund der Beschreibung, dass um 1845 Bauernhäuser rund um den heutigen Schwarzen See standen, und dem GIS-Material, das die Standpunkte dieser genau bestimmt, wurde auf diese Thematik besonderes Augenmerk gelegt. Um ein möglichst realitätsnahes historisches Modell zu erzeugen, wurde deshalb stark auf die Erscheinung dieser Häuser geachtet. Das Aussehen, die Form und die Größe sind dabei die Merkmale, die besonders berücksichtigt wurden.

Die Standpunkte der Häuser und des Schlosses sind durch ein Polygon-Shape als GIS-Material definiert. Dieses wurde in das VRML-Format exportiert, für Maya konvertiert und anschließend importiert. Sie zeigen, an welchen Stellen die Häuser sowie das Schloss standen und welche flächenmäßige Ausdehnung diese besaßen. Wie die Häuser genau aussahen und welche Höhe sie hatten, ist nicht überliefert. Die Höhen wurden deshalb anhand von Relationen der einzelnen Polygone, die eine Hausfläche darstellen, bestimmt. Die Form der Häuserdarstellung wurde weitestgehend aus dem VRML-Modell der Cottbuser Altstadt von 1720 übernommen. Anhand dieser Informationen konnten die Grundformen für die einzelnen Häuser bestimmt werden. In Maya konnten einfache Häusermodelle erzeugt werden, die im Anschluss texturiert wurden. Das Systemhaus Stahr stellte die Texturen für diese Modelle zur Verfügung. Sie sind überwiegend im JPEG-Format

und zeigen Dächer und Häuser aus verschiedenen Ansichten. Dabei gibt es mehrere Texturen von Dächern und drei grundlegende Texturen von Häusern: das Steinhaus, das Fachwerkhaus und das Blockhaus, beziehungsweise eine einfache Holzhütte. Diese drei Grundtypen bestehen in unterschiedlichen Ausführungen, und es wurden daraus 15 Häusermodelle in Maya erstellt. Dabei ist die Form des Hausmodells für alle die selbe, lediglich die Texturen wurden unterschiedlich zugewiesen. Eine Hauswand hat jeweils eine Textur. Das bedeutet, dass bei einer rechteckigen Form des Hauses sechs (zwei Dächer und vier Außenwände) Texturen das komplette Haus bedecken. Die Grundfläche wurde vernachlässigt, da diese nicht zu sehen ist. Es hat sich gezeigt, dass die Vielzahl an einzelnen Texturen erhebliche Performanceeinbrüche in der VRML-Darstellung verursacht. Vor allem beim Laden der Szenerie ist es deutlich merkbar, dass die Ladezeit proportional zu der Anzahl der Texturen wächst. Aus dem Grund wurden die Texturen, die auf ein Haus drapiert sind, zu einer zusammengefasst. Dadurch reduzierte sich die Größe der Bilddatei und weniger Texturen müssen in den Speicher geladen werden. Auf den Prozess der Erstellung der Texturen soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden, da er in jedem 3D-Modeller auf eine andere Weise erfolgt. Die Größe der Texturen reduzierte sich nach diesem Prozess auf unter 1/10 der Ausgangsgröße. Die Platzierung einzelner Häusermodelle stützte sich teilweise auf die, in Kapitel 3.2 beschriebenen Umbauarbeiten im Park. Es ist angeführt, dass der Marstall von 1847 bis 1848 umgebaut wurde und vorher als Stall, Wagenremise und Wohnraum diente. Desweiteren zeigt das GIS-Material, dass direkt an dem heutigen Marstall damals noch weitere Gebäude standen. Aus diesem Grund wurden Modelle, die Steinhäuser repräsentieren, an die Stelle des heutigen Marstalls platziert und daneben Fachwerkhäuser, die Stall und Wagenremise andeuten sollen. Obwohl keine schriftlichen Aufzeichnung vom Kavaliershaus vorlagen, war die Verfahrensweise die selbe. Die Platzierung des Häusertyps auf die anderen Standorte wurde überwiegend willkürlich vorgenommen, da darüber keine Informationen vorhanden waren. Um Sichten vergleichen zu können, wurden die Häusermodelle nur an den Stellen platziert, die heute innerhalb der Parkgrenzen lägen. Häuser, die auf dem Gebiet des heutigen Dorfes Branitz liegen, wurden vernachlässigt. Das hat einerseits den Grund, dass von dem ausgewählten Sichtpunkt diese nicht mehr zu sehen sind, und andererseits die Performancesteigerung der VRML-Welt.

Wie im Modell des aktuellen Parks sind Brücken und das Schloss auch in diesem Modell essentielle Gebäude, zumal das Schloss zu dieser Zeit von einem Graben umgeben war und ein Fließgewässer das Gebiet in der Mitte teilte. In der Graphitzzeichnung von Wilhelm Heinrich Masser ist das Schloss zu sehen, umgeben von einem Schlossgraben, der von drei einfachen Brücken überspannt wird. Das Schloss liegt als hochpolygonales sowie als vereinfachtes Modell vor, und konnte für die Darstellung des historischen Parks übernommen werden. Es wurden die Terrasse entfernt und der Eingangsbereich, sowie die Schornsteine anhand der Zeichnung verändert. Die Brücken scheinen auf dem Bild sehr einfache Formen zu besitzen und wurden dementsprechend modelliert und anschließend platziert. Dies geschah nach der Vorlage der Zeichnung und unterliegt keinen genauen räumlichen Daten. Ebenso wurden die selben Brückenmodelle an verschiedenen Stellen über dem Fließgewässer positioniert. Abschließend konnten alle Modelle in das VRML-Format exportiert werden.

### 6.3.4 Exemplarisches Einsetzen von Bäumen

Präzise Baumstandpunkte, die für das aktuelle Modell bekannt sind, waren für ein historisches Modell nicht vorhanden, weder als Karten- noch als GIS-Material. Um eine möglichst exakte Nachbildung des historischen Parks zu erhalten, wurde sich deshalb auf die Aufzeichnung von *Ettrich* [5] bezogen. Beschrieben ist das Gebiet als sandige, ebene Kiefernheide. Auf der Graphitzeichnung von Wilhelm Heinrich Masser sind im Vordergrund Nadelbäume zu sehen, die rund um das Schloss stehen. Erkennbar sind die Standpunkte der Bäume und das ungefähre Aussehen. Dabei ist es aber nicht möglich, abzuleiten, welche Nadelbaumart es genau ist. Weiteres Bildmaterial für diese Zeit war nicht vorhanden. Das heißt, dass restliche Standpunkte von den Bäumen anhand von Wegen und Bebauung bestimmt wurden. Da es nicht genau bekannt ist, welche Baumarten zu dieser Zeit im Park standen, wurden, wie in Kapitel 6.2.4.2 beschrieben, in Maya zuvor drei Repräsentanten erzeugt, die verschiedene Nadelbäume darstellen. Diese Modelle stellen zwei Varianten der Kiefer und eine der Tanne dar. Um die Standpunkte festzulegen, mussten drei Point-Shapes in ArcGIS erzeugt werden, die jeweils Standpunkte einer Baumgruppe darstellen. Sie wurden anschließend in das VRML-Format exportiert.

## 6.4 Erzeugung eines Modells mit möglichen zukünftigen Bebauungsszenarien

### 6.4.1 Erweiterung des Messegeländes

Unter dem Aspekt, Sichten aus unterschiedlichen Zeiten zu vergleichen, wurde für ein mögliches Szenario die selbe Sichtachse gewählt, die auch bei der Erzeugung des aktuellen Modells berücksichtigt wurde. Das ist die Sicht vom Hermannsberg auf die Pyramiden. Für das Szenario gelten zwei Annahmen. Zum einen, dass eine Erweiterung des Messegeländes bis an den heutigen inneren Park im Norden reicht, und zum anderen, dass die Architektur dem bereits bestehenden Messegebäude entspricht. Das Ziel dieses Szenarios ist, zu untersuchen und zu zeigen, welche Gegebenheiten bei einer möglichen Erweiterung des Messegeländes nötig sind, um die aktuelle Sicht vom Hermannsberg zu beeinflussen. Dabei spielen die Höhe und die Standpunkte der Gebäude, sowie der Bäume im Park eine gravierende Rolle. Die Grundlage für die spätere fiktive VRML-Welt bildeten dabei die schon erzeugten GIS-Daten des heutigen Parks. Diese sollen durch eine Erweiterung des Messegeländes ergänzt werden. Weiterhin soll eine Karte eingefügt werden, auf der das umliegende Areal zu sehen ist. Weiterführende Arbeitsschritte, wie der Export in VRML und die Bearbeitung in Maya, sind analog zu der Vorgehensweise beim aktuellen Modell.

#### 6.4.1.1 Position und Gestalt des Messegebäudes

Um die Position des 'neuen' Messegebäudes zu bestimmen, diente das Raster, das alle vier Teilbereiche darstellt. (Kap. 6.1) Da keinerlei Informationen vorliegen, die die exakten Standpunkte möglicher Bebauung definieren, wurden an dieser Stelle Standpunkte

gewählt. Sie befinden sich nahe am nordwestlichen Rand des inneren Parks. Analog der Verfahrensweise in Kapitel 6.2.3 wurde für diesen Standpunkt ein Polygon-Shape erzeugt, das die Lage des Gebäudes in Relation zum Park darstellt.

Für die Erweiterung des Messegeländes wurde vorerst von der selben Höhe der bereits bestehenden Gebäude ausgegangen. Da diese nicht bekannt waren, mussten sie vorab ermittelt werden. Die DTM-Daten, die Grundlage für alle vorangegangenen Modelle waren, zeigen nur die Oberfläche des Terrains. Es war nicht abzuleiten, welche Höhe Gebäude oder Bäume in dieser Sichtachse besitzen. Die Verwendung von DSM-Daten kompensierten diese Defizite. Sie stellen die Erdoberfläche samt Bebauung und Vegetation dar. Höheninformationen der betreffenden Gebäude sind daraus leicht ableitbar. Dazu mussten die selben Teilbereiche in ein für ArcGIS lesbares Format gebracht, und anschließend zusammengeführt werden. (Kap. 6.1) Mit diesen Daten war es möglich, ein Raster zu erstellen. Der Vergleich von Höhenwerten des Rasters, erzeugt aus DTM-Daten und des Rasters erzeugt aus den DSM-Daten, gab Aufschluss auf die durchschnittliche Höhe des Messegebäudes. Die Differenz beträgt am höchsten Punkt des Gebäudes ca. 14 m. Entscheidend für eine Sichtbarkeit des Messegebäudes vom Hermannsberg sind die Bäume entlang der Sichtachse. Um konkrete Aussagen treffen zu können, wurde eine Sichtbarkeitsanalyse durchgeführt.

#### 6.4.1.2 Sichtbarkeitsanalyse

Eine Sichtbarkeitsanalyse wurde anhand der zugrunde liegenden Oberfläche und eines Pfades, der in diesem Fall die Sichtachse darstellt, durchgeführt. In ArcGIS können Sichtbarkeitsanalysen nur auf der Basis eines Rasters oder TINs durchgeführt werden. Das schon bestehende Raster, das die Geländeoberfläche beschreibt, dient hierfür als Grundlage. Da bei diesem aber keine Höheninformationen der Vegetation vorhanden sind, mussten sie aus dem Baumkataster entnommen werden. Anhand dieser Daten konnte ein Raster erzeugt werden, das die Baumhöhen repräsentiert. Dieses Raster enthält nur die absoluten Höhen der Bäume. Um die relative Höhe über NN der Bäume zu erhalten, mussten die Höhenwerte des Geländes addiert werden.

*Spatial Analyst Tools -> Math -> Plus*

Mit den beiden Rastern als Basis konnte nun ein Pfad erzeugt werden, der die Sichtachse darstellt. Die Standardfunktionen von ArcGIS waren an dieser Stelle dafür nur unzureichend geeignet. Es wurde auf ein Tool für ArcGIS zurückgegriffen, das frei verfügbar ist. Das Tool *EZ Profiler*<sup>4</sup> in der Version 9.3 von Min-Lang Huang bietet die Möglichkeit, ein Point-Shape zu erzeugen, das die Höhen der Raster übernimmt. Dazu wurde zunächst mit Hilfe des Tools ein Anfangspunkt (Hermannsberg) und ein Endpunkt (Messegelände) bestimmt. Dieses Tool erzeugt daraus eine vorher definierte Anzahl an regelmäßigen aneinander gereihten Punkten. Es entstand ein Point-Shape mit 5.000 Stützpunkten. Gleichzeitig erhielten die Punkte an den betreffenden Stellen die Höhen der beiden Raster. Da in dem Bereich des 'neuen' Messegeländes die Höhen der Oberfläche in das

<sup>4</sup><http://arcscrippts.esri.com/details.asp?dbid=12685> Besucht: 27.12.2007

Point-Shape übernommen wurde, mussten diese Punkte manuell bearbeitet und auf ein entsprechendes Niveau gebracht werden. Dafür wurden die vorher ermittelten Werte des Messegeländes auf die Werte der Oberfläche addiert. Das Point-Shape ermöglichte es ein Diagramm zu erstellen, das alle Höhen auf der Strecke im Profil darstellt. Es stellt die Höhen des Geländes, der Vegetation und der Gebäude dar. (Abb. 6.18)

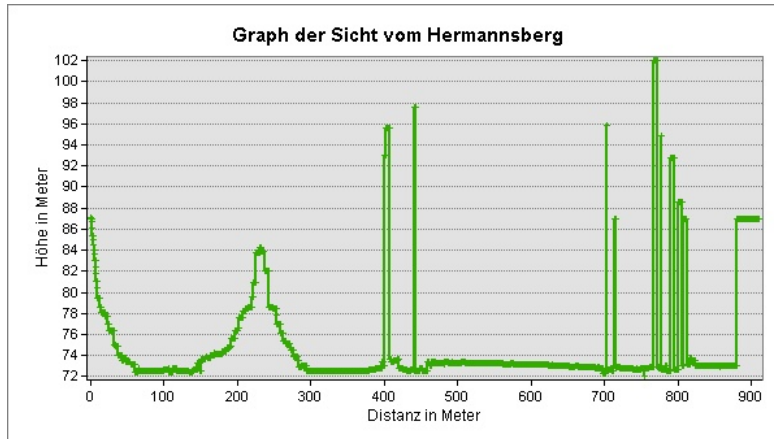


Abbildung 6.18: Der Graph der Sichtbarkeitsanalyse

Das Diagramm gab Aufschluss, ob das Messegebäude, unter aktuellen Gegebenheiten, vom Hermannsberg sichtbar ist oder nicht. Ausschlaggebend sind dafür die Bäume und deren Höhe. Es ist ersichtlich, dass die Bäume, die zwischen Hermannsberg und neuem Messegelände stehen, höher als die Sichtachse sind. Das lässt vermuten, dass unter aktuellen Gegebenheiten das Gebäude nicht sichtbar wäre.

#### 6.4.1.3 Anpassung des Messegebäudes

Um eine Veränderung der Sicht darzustellen, boten sich mehrere Möglichkeiten. Eine Variante wäre gewesen, die Baumhöhen anzupassen. Dafür kämen in der Realität mehrere Umstände in Frage, die eine Veränderung der Vegetation verursachen könnten. Ein Szenario wäre eine Absenkung des Grundwasserspiegels, der durch die Annäherung des Tagebaus im Süden des Parks verursacht werden könnte. Ältere, weniger vitale Bäume und Pflanzen könnten möglicherweise eingehen und absterben. Nur die Bäume, die eine sehr gute bis gute Vitalität hätten und nahe am Wasser stünden, blieben erhalten. Dadurch würden sich teilweise dicht bewaldete Stellen lichten und gäben möglicherweise eine Sicht auf das 'neue' Messegebäude frei.

Ein weiteres Szenario wäre eine Dürre, bedingt durch einen Klimawandel. Auch hierbei sind in erster Linie die selben Bäume betroffen. Analog zum ersten Szenario würden weniger vitale Bäume absterben und eine Sicht auf das Messegebäude möglicherweise freigeben. Dabei dürften die höchsten Bäume für beide Szenarien, die eine Sicht auf das Messegebäude freigäben, nicht höher als 15 m sein.

Die Variante, die Höhe des Messegebäudes anzupassen, wurde dann auch für die

VRML-Welt umgesetzt. Die Bäume wurden für diese 'Welt' so belassen und gleichen denen des aktuellen Modells. Auf der Abbildung 6.18 ist zu erkennen, welche Höhe das Gebäude haben müsste, um vom Hermannsberg sichtbar zu sein. Die Höhe des höchsten Baums auf der Sichtlinie ist dabei ausschlaggebend. Diese beträgt 30 m. Das heißt, dass das 'neue' Messegebäude, um sichtbar zu sein, mehr als doppelt so hoch sein müsste, wie zuvor ermittelt wurde. Anhand des Polygon-Shapes, das den Standpunkt des Gebäudes darstellt, konnte in ArcGIS daraus eine einfache Repräsentation erstellt werden. Dazu wurde die Fläche des Gebäudes in die Höhe extrudiert. ArcGIS bietet dafür folgende Möglichkeit:

*ArcGIS -> Rechtsklick auf 'Properties' -> Reiter 'Extrusion'*

Die Höhe des nun entstandenen Kubus beträgt 30 m. Um ein erneutes Bearbeiten des Geländes mit Maya zu umgehen, wurde als Grundlage für die VRML-Welt des fiktiven Parks, das Modell des aktuellen Parks verwendet. Da die Koordinaten für VRML anhand aller in ArcScene geladenen Objekte bestimmt werden (Kap. 6.2.1.4), musste für eine exakte Darstellung in VRML ein etwas umständlicher Weg gegangen werden. Dadurch, dass das Messegebäude außerhalb des eigentlichen Parks steht, hat es durch den Export einen räumlich falschen Standpunkt in Relation zum aktuellen Modell. Um das auszugleichen, wurde das Gelände-TIN mit dem Messegebäude als eine Datei exportiert.

Nach dem Export in das VRML-Format und der Konvertierung in das Maya-ASCII-Format konnte das Gebäude in dem Modell, mit Hilfe des Geländes als Referenz, an der räumlich richtigen Stelle positioniert werden. Dazu wurden die beiden Objekte in Maya als ein Objekt behandelt und so verschoben, dass das Gelände an der selben Stelle des bereits richtig platzierten Geländes war. Somit erhielt auch das Messegebäude die korrekte Position im Raum, und das zuletzt importierte Gelände konnte anschließend gelöscht werden.

#### **6.4.2 Einfügen einer Umgebungskarte**

Für die Orientierung des Betrachters wurde in die fiktive VRML-Welt eine weiträumige Karte eingefügt. Sie dient dazu, das umliegende Areal andeutungsweise darzustellen. Da die Texturen nicht sehr detailliert sind, werden einzelne Objekte in der Landschaft nur ungenau dargestellt. Der Detailgrad reicht dennoch für die VRML-Welt aus. Anhand der Karte ist zu erkennen, an welcher Stelle im umliegenden Parkareal das 'neue' Messegebäude steht. Die Karte wurde aus dem Programm *Google Earth*<sup>5</sup> als JPEG entnommen und anschließend in ArcGIS georeferenziert. Ebenso wie in Kapitel 6.4.1.3 musste für eine räumlich korrekte Darstellung der Karte im VRML-Modell, das Gelände-TIN zusammen mit dieser als eine Datei exportiert werden. Sie dient, wie auch beim Messegebäude, als Referenz zur Positionierung der Karte in Maya. Die Karte wird als texturiertes, rechteckiges Polygon in Maya dargestellt.

---

<sup>5</sup>Google Earth ist eine frei verfügbare Software, die Satellitenbilder, Landkarten, Geländedaten und 3D-Gebäude zu einem geografischen Informationssystem vereint. Quelle: <http://earth.google.de/> Besucht: 20.11.2007



# 7 Erzeugung der VRML-Welten

## 7.1 Zusammenfügen aller Objekte zu einer kompletten VRML-Welt

Nachdem alle Objekte für die VRML-Darstellung in ArcGIS und Maya erzeugt wurden, konnten diese zu einer 'Welt' vereint werden. Alle Objekte, wie die Teile des Terrains, die Gebäude und die Bäume, sind als einzelne VRML-Dateien vorhanden. Diese besitzen Information über die Geometrie, den Standpunkt und die Texturen der jeweiligen Objekte. Sie wurden in einer Hauptdatei eingebunden und ergeben in ihrer Gesamtheit die jeweilige VRML-Welt. Die Hauptdatei beinhaltet neben den eingebunden Objekten Informationen über die Ausleuchtung der Szenerie, die Viewpoints und den Avatar.

Die Methodik, die im weiteren beschrieben wird, ist für alle VRML-Welten gleich. Es weichen lediglich die einzelnen Objekte jeweils voneinander ab. Einzelne Objekte wurden unterschiedlich eingebunden. Abhängig war das von der Art des Objekts. Es wurde grundsätzlich in drei verschiedene Objekttypen für die VRML-Welten unterschieden:

- **Gelände** - dazu zählen das Terrain, das Wasser, die Pyramiden, die Inseln, der Himmel und die Wege
- **Gebäude** - alle Häuser und Brücken als hoch- und niedrigpolygonale Objekte sowie die Pergola, Wassertreppe, Torhaus, Gewächshaus, Mauern und das Parisol
- **Bäume** - alle Baumgruppen mit den jeweiligem Repräsentanten

### 7.1.1 Gelände

Diese Daten wurden direkt in die VRML-Welt geladen. Dabei wurden alle einzelnen Objekte innerhalb eines Transform-Knotens in die Hauptdatei eingebunden. Innerhalb des Transform-Knotens sind Inline-Knoten, die die eigentlichen Dateien laden. (Abb. 7.1)

### 7.1.2 Gebäude

Einige Gebäude haben zwei Repräsentanten, ein hochpolygonales und ein weniger geometrieintensives Objekt. Diese Objekte, die zwei oder mehr Darstellungen haben, werden nicht direkt in die VRML-Welt geladen, sondern innerhalb einer gesonderten Datei. Diese Datei definiert, mittels eines LOD-Knotens, ab welcher Distanz zum Avatar welche Objekt-Darstellung geladen wird. (Abb. 7.2) Die LOD-Dateien für jedes Objekt werden in der Hauptdatei in jeweils einem Transform-Knoten geladen. Denn anders als beim

```

DEF Gelaende Transform {
  translation 0 0 0
  rotation 0 0 0 0
  children [
    Inline {
      url ''geometrie/landschaft/land.wrl''
    }
    Inline {
      url ''geometrie/landschaft/wege.wrl''
    }
    .
    .
    .
  ]
}

```

Abbildung 7.1: Auszug aus der VRML-Hauptdatei

Gelände sind immer nur einige Objekte im Sichtfeld und müssen somit auch nur einzeln vom Browser gerendert werden. (Kap. 4.2)

### 7.1.3 Bäume

Die Bäume des virtuellen Parks sind zu Baumgruppen des selben Typs mit gleicher Höhe zusammengefasst. Eine Baumgruppe wird von einem Repräsentanten dargestellt. (Kap. 6.2.4.1) Die Bäume sollen als Billboards eingebunden werden, die abhängig vom Betrachter immer mit ihrer Front sichtbar sind. Weiterhin sollen einzelne Bäume, die weiter als ein definierter Wert vom Betrachter entfernt sind, ausgeblendet werden. In der Hauptdatei wird hier zunächst eine 'Transform-Datei' geladen. Diese Datei beinhaltet alle Standpunkte der Bäume einer Baumgruppe. Innerhalb dieser Datei sind alle Standpunkte mit dem 'Group'-Knoten zusammengefasst. Der erste Standpunkt ist ein Transform-Knoten, der den 'Prototyp' definiert. Der Transform-Knoten beschreibt die Position eines Standpunkts im Koordinatenursprung und lädt eine LOD-Datei, die bestimmt, ab welcher Entfernung vom Betrachter dieser sichtbar ist. Der Prototyp wird dann so oft instanziiert, wie Bäume in einer Gruppe sind. Die LOD-Datei beinhaltet einen Inline-Knoten, der schließlich das eigentliche Baum-Modell lädt. (Abb. 7.3)

```

#VRML V2.0 utf8
DEF LOD_kavaliershaus Transform {
  translation 0 0 0
  rotation 0 0 0 0
  children [
    Group {
      children [
        LOD {
          range [200]
          level [
            DEF LOD_1 Group {
              children [
                DEF kavaliershaus Transform {
                  translation 0 0 0
                  children [
                    Inline{url ''Kavaliershaus.wrl''}
                  ]
                }
              ]
            }
            DEF LOD_2 Group {
              children [
                DEF kavaliershaus1 Transform {
                  translation 0 0 0
                  children [
                    Inline{url ''Kavaliershaus_lowPoly.wrl''}
                  ]
                }
              ]
            }
          ]
        }
      ]
    }
  ]
}

```

Abbildung 7.2: LOD-Datei des Kavaliershauses

```

#VRML V2.0 utf8
DEF LOD_baum Transform {
translation 0 0 0
  children [
    DEF LOD_baum1 Transform {
      translation 0 0 0
      children [
        Inline {url"LOD_eiche_sichtachse_berg_20_24.wrl"}
      ]
    }
    Transform {
      translation -205.500000 74.400002 306.999984
      children USE LOD_baum1
    }
    Transform {
      translation -237.500000 86.939995 288.999984
      children USE LOD_baum1
    }
    .
    .
    .
  ]
}

```

Abbildung 7.3: Auszug einer Transform-Datei

## 7.2 Viewpoints

Die Sichten sind für alle VRML-Welten von großer Bedeutung. Deshalb wurde viel Wert auf die Genauigkeit dieser gelegt. Um die Sichten in der VRML-Welt zu erzeugen, bedurfte es jeweils zweier Punkte: Eines Ausgangspunkts und eines Zielpunkts. Diese Punkte wurden in ArcGIS erzeugt, um eine räumlich korrekte Position zu den anderen Objekten zu gewährleisten. Nach dem Export in das VRML-Format wurden sie benutzt, um die Sichten zu erzeugen. VRML hat dafür den Viewpoint-Knoten. Der Knoten definiert die Position des Betrachters als Punkt und die Blickrichtung als Vektor. Die Blickrichtung oder auch 'Orientation' wird als Drehung des Vektors um eine Achse angegeben. Die ersten drei Werte definieren dabei den Vektor der Drehachse vom aktuellen Koordinatenursprung aus, der vierte Wert ist der Drehwinkel im Bogenmaß. Da nur die Positionen bekannt waren, musste die Blickrichtung aus den zwei Punkten berechnet werden. Das Programm '*VRML Viewpoints*'<sup>1</sup> von Robert Walker wurde verwendet, da es diese Funktionalität bereitstellt. Die Anwendung ist frei verfügbar. Nach der Berechnung der Blickrichtung wurden die Viewpoint-Knoten in die Hauptdatei eingebunden. Der VRML-Browser bietet dann die Möglichkeit, zwischen den einzelnen Viewpoints auszuwählen. Je nach Auswahl wird der Avatar auf diesem Punkt platziert.

---

<sup>1</sup><http://www.robertinventor.com/virtualflower/vv/index.htm> Besucht: 22.11.07

# 8 Auswertung

## 8.1 Genauigkeit und Realitätsnähe der Modelle

### 8.1.1 Das aktuelle und das fiktive Modell

Der größte Teil des Prozesses der Erstellung der relevanten Daten für die VRML-Welt geschah in ArcGIS. Dadurch konnte gewährleistet werden, dass die Objekte zueinander eine exakte Relation haben. Das heißt, dass auch in der fertigen Welt alle Objekte richtig arrangiert sind. Dabei sei jedoch erwähnt, dass das VRML-Modell das Original nur als vereinfachte Version darstellt. Im gesamten Prozess wurden Objekte, wie beispielsweise das Gelände, von einem sehr konkreten Modell in ein abstraktes überführt, und einzelne Objekte, wie die Pyramiden und die Inseln, im Nachhinein neu erzeugt. Dadurch gingen kleinteilige Strukturen teilweise verloren. Vor allem bei der Bearbeitung des Geländes war das der Fall. Verantwortlich dafür waren die jeweiligen Prozesse der Vereinfachung, die eine adäquate Darstellung für VRML gewährleisten sollten. Faktoren, die die Genauigkeit der VRML-Welt des aktuellen Zustands beeinträchtigt haben, werden im weiteren angeführt. Da die Daten der aktuellen Welt auch die Grundlage für die VRML-Welt des fiktiven Szenarios bilden, gelten die selben Faktoren auch für diese VRML-Welt.

### Nachbearbeitung des Geländes in ArcGIS

Durch die Fehldarstellung der Bereiche des Wassers und der Brücken mussten betreffende Stellen durch selbst erzeugte Daten bearbeitet werden. Die Defizite des Modells wurden mit einem Polygon-Shape bearbeitet, das an allen Stellen die selbe Höhe aufwies. Somit konnten Wassergrund und Uferkanten an allen Stellen auf ein einheitliches Niveau gebracht werden, was im realen Park nicht der Fall ist. Die Inseln und die beiden Pyramiden mussten durch den Schritt der Nachbearbeitung des Wasserareals neu erzeugt werden. Diese bestanden nach der Erstellung aus sehr vereinfachten geometrischen Objekten. Das machte sie mitunter kantig, was in der Realität so auch nicht der Fall ist. Durch die Vereinfachung des Geländes wurde aus mehreren aneinander liegenden Polygonen innerhalb eines Toleranzbereichs ein generalisiertes Polygon erzeugt. Dadurch gingen natürliche Geländeunebenheiten verloren. Mit der Wahl eines Toleranzbereichs von 10 cm sind Geländemerkmale, wie kleine Hügel oder Vertiefungen, die unter diesem Toleranzbereich lagen, geglättet worden.

## Vereinfachung des Geländes in Maya

Maya wurde hauptsächlich dafür eingesetzt, das Gelände weiter zu vereinfachen und die GIS-Daten mit den Gebäuden zu einer Welt zu kombinieren. Ähnlich wie bei der Nachbearbeitung in ArcGIS wurde das Gelände, das sich aus dem Terrain und den herausgelösten Wegen zusammensetzt, weiter vereinfacht. Dadurch gingen auch hier kleinteilige Strukturen verloren. Um die 'kantigen' Darstellungen des Geländes und der Wege auszugleichen, die durch den Prozess der Vereinfachung entstanden, wurden die Normalenvektoren modifiziert. Das jedoch beeinflusste die Konturen des Geländes nachteilig. Das Gelände behielt zwar markante Höhenunterschiede, wie die größeren Hügel oder die Kanäle, aber einzelne Bereiche im Park wurden dadurch generalisiert.

## Gebäude

Durch den Export der Standpunkte anhand der CAD-Karte aus ArcGIS besitzen die Gebäude auch die exakte Position im Modell. Die Gebäude wurden, wenn sie nicht schon vorhanden waren, als geometrisch einfache Objekte erstellt. Sie sind vereinfachte Versionen und wurden anhand von Bildern erstellt. Sie sind in Form und Aussehen mit den Originalen vereinbar, weisen jedoch weniger Details als diese auf. Für eine Darstellung im VRML-Modell sind sie ausreichend.

## Bäume

Für die Darstellung in VRML wurden die Baumstandpunkte aus ArcGIS übernommen und sind daher ebenso präzise wie die Standpunkte der Gebäude. Die einzelnen Bäume sind jedoch nur vereinfacht dargestellt, und ein Baummodell repräsentiert hunderte von Bäumen. Da sich das Modell nur auf repräsentative Baumarten mit einer bestimmten Höhe beschränkt, spiegelt es nicht die ganze Vielfalt des realen Parks wieder. Desweiteren sind in dem Modell nur die Bäume vorhanden, die in einer der beiden Sichten involviert sind. Dadurch können bei der Navigation durch das Modell Sichten entstehen, die mit dem realen Abbild keinesfalls übereinstimmen. Die Darstellung eines Baums ist auf eine Ansicht von vorn beschränkt. Der Baum hat somit immer die selbe Erscheinung, gleich aus welcher Richtung dieser betrachtet wird. Die Komplexität der Vegetation des realen Parks konnte im Modell nicht realisiert werden, jedoch ist von den Sichtpunkten der visuelle Eindruck mit dem Original gut vereinbar.

### 8.1.2 Das historische Modell

Beim Modell des historischen Parks gab es kaum Material, das eine exakte Nachbildung zuließ. Orientierung boten das vorhandene GIS-Material und die Beschreibungen *Ettrichs* [5]. Dabei ist der Datenbestand nur auf die Fließ- und Standgewässer, den Standpunkt der Häuser sowie der Verkehrswege innerhalb des ausgewählten Bereichs beschränkt. Geländedaten, die die Beschaffenheit der Oberfläche beschreiben, waren nicht vorhanden.

Auch gab es kaum Bildmaterial, auf dem das Areal, die Gebäude und die Vegetation sichtbar waren. Es ist somit schwer, Aussagen über die Genauigkeit und die Realitätsnähe des Modells zu treffen, da keine Referenz vorhanden ist. Da das Modell nur eine Variante darstellt, wie es 1845 hätte aussehen können, sollen im folgenden die einzelnen Objekte der VRML-Welt diskutiert werden, die darin eingeflossen sind:

## **Gelände**

Bei der Erstellung des Geländes wurden die selben Daten verwendet, die dem Modell des aktuellen Zustands zugrunde lagen. Die Geländedaten wurden anhand der Beschreibungen *Ettrichs* [5] modifiziert. Kanäle und Erhebungen wurden mit selbst erzeugten Daten aus dem Gelände herausgearbeitet, so dass ein ebenes Terrain entstand, das mit den Aufzeichnungen vereinbar ist. Dabei wurde von der Geländehöhe des aktuellen Modells ausgegangen. Es wäre möglich, dass um 1845 dieser Bereich eine andere Höhe oder Beschaffenheit aufwies. Anhand vom GIS-bezogenen Material des Branitzer Parks, das Aspekte des Areals um 1845 beschreibt, wurden diese in das Gelände eingearbeitet. Inwiefern das GIS-bezogene Material, das den Park um 1845 beschreibt, korrekt ist, konnte nicht bewertet werden. Auch bei der Höhe der Gewässer wurde von den selben Höhen ausgegangen, die auch im aktuellen Modell benutzt wurden. Möglich ist es auch hier, dass diese von den heutigen abweichen.

## **Gebäude**

Die Standpunkte der Gebäude für das VRML-Modell sind ebenfalls dem GIS-Material entnommen. Über Aussehen, Größe und Form gab es keinerlei Aufzeichnungen. Die einzige Ausnahme war das Schloss und die nähere Umgebung. Hier lag eine Graphitzeichnung vor. Nach diesem Bild wurde das bestehende Modell des Schlosses verändert und angepasst. Inwiefern das Bild mit dem damaligen Original übereinstimmt, ließ sich nicht bestimmen. Es können somit keine Aussagen auf absolute Korrektheit getroffen werden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass das Modell dem realen Schloss um 1845 annähernd entspricht, da die schriftlichen Aufzeichnungen damit konform gehen. Die Erstellung der restlichen Gebäude, wie der Häuser um den heutigen Schwarzen See, orientierte sich daher größtenteils am VRML-Modell der Cottbuser Altstadt um 1720. Die Formen der Häuser wurden aus diesem übernommen und in Maya nachgebildet. Die ausgewählten Texturen lassen sich mit den Häuserdarstellungen, die von *Ettrich* [5] beschrieben sind, vereinbaren. Die Modelle der Häuser stellen nur eine Annäherung dar. Ob sie mit den Originalen von 1845 identisch sind, konnte nicht bestimmt werden.

## **Bäume**

Die Positionen der Bäume wurden überwiegend willkürlich ausgewählt, da kein Material vorhanden war, das diese exakt bestimmte. Sicher ist, dass es überwiegend Nadelbäume waren. Das geht aus den Beschreibungen *Ettrichs* [5] und der Graphitzeichnung Massers hervor. Anhand der beiden Aufzeichnungen wurden die Bäume unter Berücksichtigung



der Gebäude, der Gewässer und der Wege sporadisch im Modell platziert. Es besteht keine Möglichkeit, dieses auf Korrektheit und Realitätsnähe zu überprüfen.

## 8.2 Performance der fertigen VRML-Welten

Die Performance der einzelnen Welten hängt von mehreren Faktoren ab. Dabei spielt die zugrunde liegende Hardware in Bezug auf die Ladezeiten und die flüssige Darstellung der Welten eine große Rolle. Weiterhin beeinflusst die Datengröße der Welten die Performance. Die VRML-Welt des aktuellen Parks, sowie die des Zukunftsszenarios hat jeweils mit allen Objekten und Texturen eine Größe von ca. 20 MB<sup>1</sup>. Die Welt des historischen Parks hat eine Größe von ca. 12 MB. Für eine Internetpräsentation bedarf es deshalb einer schnellen Verbindung, um die Welten innerhalb einer angemessenen Zeitspanne zu laden. In Bezug auf Kapitel 4.2 wurden folgende Beobachtungen gemacht:

### Strukturierung der Modelle

Es hat sich gezeigt, dass die Zusammenführung einzelner IndexedFaceSets zu einem Ganzen einen Leistungsgewinn begünstigt. Vor allem bei den 15 Brücken, deren Geländer teilweise aus einer Vielzahl an geometrischen Objekten bestehen, ist ein Unterschied hinsichtlich der Ladezeit und der flüssigen Darstellung bemerkbar. Das Backface Culling war in jeder von ArcGIS und Maya exportierten VRML-Datei bereits aktiviert. Hier wurde kein Vergleich vorgenommen.

### Szenen-Komplexität

Einige Objekte im virtuellen Park sind durch zwei Darstellungen realisiert. Nähert sich der Avatar so einem Objekt, wird ab einer definierten Distanz eine wesentlich detailliertere Version geladen. Das heißt, komplexere Geometrie sowie eine größere Anzahl von Texturen ersetzen dann das vereinfachte Objekt. Es treten Zwischenladezeiten beim Navigieren durch die Szene auf, welche das Bild kurzzeitig 'einfrieren' lassen. Vor allem bei den Gebäuden wie dem Schloss, dem Marstall und dem Kavaliershaus ist dieses deutlich bemerkbar. Bei den Bäumen im Modell ist dieser Effekt, aufgrund ihrer einfachen Darstellung, nicht feststellbar. Sie werden ab einer gewissen Entfernung zum Betrachter ausgeblendet und beim Annähern erneut eingeblendet, ohne die Qualität der Darstellung zu mindern.

### Räumliche Organisation

Das Gelände wurde nicht, wie in Kapitel 4.2 beschrieben, in einzelne Cluster unterteilt, da nicht nur ein kleiner Teil, sondern mitunter das komplette Terrain sichtbar ist. Weiterhin wirkt sich die Separierung einzelner Objekte kaum auf die Performance aus. Es spielt für alle VRML-Welten keine Rolle, ob räumlich separierte Objekte in VRML

---

<sup>1</sup>Megabyte

gruppiert, beziehungsweise im selben Transform-Knoten arrangiert sind oder nicht. Das gilt für die Gebäude, die Bäume, sowie für das Gelände.

### **Instanziierung**

Ein signifikanter Unterschied der Ladezeit und der Darstellung der VRML-Welt konnte bei der Instanziierung der Bäume festgestellt werden. Verglichen wurden dabei alle Bäume, die in die Sicht vom Hermannsberg involviert sind. Ist jeder Baum einzeln mit 'DEF' definiert, dauert das Laden erheblich länger, als würden diese nur einmal definiert und anschließend mit 'USE' instanziiert. Da in dieser Sicht mehr als 400 einzelne Bäume dargestellt werden, macht sich ein Leistungsgewinn deutlich bemerkbar. Die Texturen müssen jeweils nur einmal für eine Baumgruppe geladen werden.

### **Texturen oder Polygone**

Im Gegensatz zu den Ausführungen in Kapitel 4.2 wurde festgestellt, dass Texturen an Stelle von Polygonen keinen Leistungszuwachs bringen. Es wurde vielmehr beobachtet, dass Texturen erheblich längere Ladezeiten verursachen als komplexe Polygone. Vor allem bei dem Modell, das den historischen Park darstellt, ist dieser Effekt sehr deutlich. Das ist durch die Vielzahl an Häusern und deren Texturen zu begründen. In diesem Modell befinden sich 35 Häuser, die alle komplett texturiert sind. Ist die VRML-Welt jedoch einmal geladen, treten keine weiteren Ladezeiten mehr auf und die Navigation durch die Welt ist flüssig.

## **8.3 Nutzbarkeit von ArcGIS im Vergleich zu anderen Methoden**

### **Andere GIS-Software**

Es gibt neben ArcGIS viele andere GIS-Programme. Diese teilen sich in die lizenzpflichtigen und die frei verfügbaren. Dabei wurde festgestellt, dass GIS-Freeware in ihrer Funktionalität auf bestimmte GIS-Aspekte spezialisiert ist. Einige dieser bieten nur die Möglichkeit, die Daten zu visualisieren, jedoch kaum Operationen auf Datensätzen, wie es bei ArcGIS möglich ist. Auch der Austausch von Datensätzen und die Im-/Export-Möglichkeiten waren für diese Arbeit unzureichend. Es konnten keine anderen lizenzpflichtigen Programme im gleichen Umfang untersucht werden, da diese als Testversionen angeboten werden und deshalb nur eingeschränkte Funktionalitäten besitzen.

## Weitere Möglichkeiten

Neben der Bearbeitung der Rohdaten der Überfliegung in ArcGIS gibt es noch weitere Möglichkeiten, ein Modell aus diesen zu erzeugen. 3ds Max<sup>2</sup> der Firma Autodesk bietet die Möglichkeit, die Geländedaten aus den ASCII-Dateien direkt einzulesen und daraus ein Geländemodell zu erzeugen. Beim Import wird allerdings die Geometrie vorab vereinfacht, was für die Arbeit nicht erwünscht war. Um das Gelände weiter zu bearbeiten, müssen Stützpunkte einzeln manipuliert werden. Dies kann bei der Größe der Daten mitunter sehr zeitaufwändig sein, und es besteht keine Referenz, an der sich orientiert werden kann. Die Resultate können somit vom Original stark abweichen, und die räumliche Korrektheit kann in einem 3D-Modeller kaum gewährleistet werden. Desweiteren wurde festgestellt, dass diese Methode große Ansprüche an die Hardware des Computers stellt. Bei den Datenmengen ist es nötig, genügend Arbeitsspeicher zu haben. Die Erzeugung eines Geländemodells im 3D-Modeller kann auch auf eine manuelle Art erfolgen. Anhand der CAD-Karte ist es möglich, das Gelände 'nachzubauen'. Die Karte wird in den Hintergrund projiziert, und aufgrund der Geländelinien kann ein Modell erzeugt werden. Dabei müssen die Höhen den einzelnen Stützpunkten manuell zugewiesen werden. Diese Methode wurde für die schon bestehenden VRML-Welten der Bereiche des Branitzer Parks angewendet und ist sehr zeitaufwändig. Sie führt auch zu weniger genauen Ergebnissen.

## ArcGIS

Die einzelnen ArcGIS-Module haben den gleichen benutzerfreundlichen Aufbau. Das macht sie nach einer Eingewöhnung gut bedienbar. Lediglich die Toolbox ist auch nach einer Eingewöhnung noch schwer überschaubar, da diese eine Vielzahl an Funktionen bietet. Durch die Suchoptionen innerhalb der Toolbox ist es aber möglich, die jeweils entsprechende Funktion zu finden, die auf einen Datensatz angewendet werden soll. Das Programm bietet einen guten Support, einerseits durch die Hilfe in ArcGIS und andererseits durch den Internetsupport. Im Internet stehen viele Tools bereit, die die Funktionalitäten von ArcGIS ergänzen. Diese sind meist von Anwendern der GIS-Reihe programmiert und auf der Support-Seite von ArcGIS frei verfügbar. Weiterhin bietet ArcGIS viele Im-/Export-Möglichkeiten für verschiedene Dateiformate.

Die Arbeit mit ArcGIS, zur Erstellung der VRML-Welten, gestaltete sich anfangs recht umständlich. Durch die Komplexität und Funktionsvielfalt dieses Programms ist eine Einarbeitungszeit sehr langwierig. Sind aber die Grundlagen verstanden und ist ein Verständnis für die Arbeitsweise des Programms geschaffen, ist es mit Abstand die effektivste Methode im Vergleich zu den anderen beschriebenen Methoden, die vorhandenen Daten zu bearbeiten. Räumliche Korrektheit und eine realitätsnahe Darstellung sind zweifelsfrei die Aspekte, die ArcGIS von den anderen Methoden abheben. Ist man

---

<sup>2</sup>3ds Max ist ein 3D-Computergrafik- und Animationsprogramm. Es kommt in den Bereichen Animation, Film, Design und Architektur zur Anwendung.

mit dem Programm vertraut, ist der Workflow erheblich effektiver, verglichen mit der Erstellung der 'Welten' im 3D-Modeller. Dabei ist besonders zu erwähnen, dass aufgrund des vorhandenen Materials ArcGIS prädestiniert war. Hätten keine Geländedaten vorgelegen, wäre ArcGIS zur Erstellung des Modells weniger effektiv gewesen. Weiterhin ist zu sagen, dass unterschiedliche Ausgangsdaten auch unterschiedliche Herangehensweisen verlangen. So ist die Methodik, die in der Arbeit beschrieben wurde, nicht zwangsläufig auf andere Projekte übertragbar. Sie stellt vielmehr eine Variante dar, mit der Daten für eine VRML-Darstellung aufgearbeitet werden können. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ArcGIS den geforderten Anforderung entsprach. Seine Vielfältigkeit machte es zu einem sehr nützlichen Werkzeug für diese Arbeit.

## 8.4 Ausblick & Schlussfolgerungen

Alle Daten, die zur Erzeugung der Modelle erstellt wurden, können für weiterführende Arbeiten genutzt werden. Dabei ist es möglich, die GIS-bezogenen Daten, die Maya-Daten und die VRML-Daten zu nutzen und auf sie aufzubauen.

- Mit den GIS-Daten ist es möglich, weitere Sichtbarkeitsanalysen zu erstellen. Somit können die Sichten, die Pückler geplant hatte, im Vorfeld darauf untersucht werden, welche Gegebenheiten nötig wären, um diese wiederherzustellen, beziehungsweise beizubehalten.
- Es können in ArcGIS Modelle erzeugt werden, die die Annäherung des Tagebaus im Süden untersuchen und die damit verbundene Veränderung des Grundwasserspiegels darstellen. Auch Untersuchungen, die die Hydrologie betreffen, sind machbar. Die Auswirkungen eines Klimawandels wären analysierbar. Dabei können die Bäume und die Gewässer mit einbezogen werden, um zu ermitteln, wie der Park sich wandeln würde, wenn bestimmte klimatische Faktoren sich ändern oder Überschwemmungen beziehungsweise Dürreperioden aufträten.
- ArcScene bietet neben den Möglichkeiten der Bearbeitung, der Betrachtung und des Exports dreidimensionaler Daten, auch die Option Animationen zu erzeugen. Es können Kameraflüge über die Landschaft simuliert werden. Das Video kann anschließend als AVI<sup>3</sup>-Datei exportiert werden und in jeder Abspielsoftware, das das AVI-Format unterstützt, wiedergegeben werden.
- Shape-Files können in ein für Google Earth kompatibles Format exportiert werden. Damit kann der Park auch in Google Earth dargestellt werden. Dazu bietet ArcGIS die Exportfunktion in das KML<sup>4</sup>-Dateiformat. Exportiert werden können Line-, Point- und Polygon-Shapes. Um die Geländeoberfläche in Google Earth darzustellen, muss das TIN in eines dieser Shapes umgewandelt werden. Die Toolbox bietet dafür mehrere Funktionen.

---

<sup>3</sup>Audio Video Interleaved ist ein Videoformat

<sup>4</sup>Keyhole Markup Language ist ein Dateiformat für das Programm Google Earth

Darüberhinaus ist es auch möglich, die Geländedaten aus Maya zu exportieren. Dafür bedarf es eines zusätzlichen Programms für Maya. Das Programm *Maya 2 Google Earth*<sup>5</sup> der Firma *Eyebeam* ist kostenlos verfügbar und ermöglicht den Export in das KML-Format. Für den Export ist es notwendig, die Koordinaten des zu exportierenden Objekts in der realen Welt zu kennen. Auch Gebäude können aus Maya für Google Earth exportiert werden.

- Aufgrund der Detailliertheit des Baumkatasters, das Informationen über jeden Baum beinhaltet, wäre es möglich, das Parkmodell vom aktuellen Zustand um weitere Bäume zu erweitern. Es könnte die Vielfalt der Vegetation für ein virtuelles Modell differenzierter dargestellt und der Baumbestand auf den kompletten virtuellen Park erweitert werden. Auch die Baumdarstellung kann durch komplexere Modelle repräsentiert werden.
- Aus den vorhandenen Daten können weitere VRML-Welten erzeugt werden, die verschiedene andere Szenarien zeigen, so zum Beispiel: eines mit einer Sicht auf die Cottbuser Altstadt im historischen Modell oder eines mit einer Sicht auf Windräder im Osten des Parks für das fiktive Modell. Desweiteren wäre es möglich, den Park zu verschiedenen Jahreszeiten darzustellen. Die einzelnen Parkmodelle könnten so modifiziert werden, dass sie den Branitzer Park im Herbst oder Winter darstellen. Dafür müssten lediglich die Texturen der Landschaft und der Bäume verändert und angepasst werden. Den VRML-Welten können weitere Attribute wie Musik und Geräusche oder interaktive Elemente, die einzelne Objekte des Parks beschreiben, hinzugefügt werden.

In einer virtuellen Welt können Situationen dargestellt werden, die in der Realität nicht existieren. Der virtuellen Welt sind keine gestalterischen Grenzen gesetzt. So sind beispielsweise eine Reise durch die Zeit und Interaktionen mit Objekten vorstellbar. Für den Betrachter ist es möglich, jeden beliebigen Betrachtungsstandpunkt in der VRML-Welt einnehmen. Daraus können umfassende visuelle Analysen durchgeführt werden. Diese Aspekte wären bei einer Visualisierung als Video oder Bild nicht zufriedenstellend umsetzbar.

Die fertigen VRML-Welten vermitteln innerhalb der definierten Sichten einen räumlichen Eindruck, der dem Original sehr nahe kommt. Die erwähnten Defizite in Hinsicht auf die Vielfalt der Vegetation, die im Modell so nicht dargestellt werden konnte, und die vereinfachte Darstellung des Geländes sind für die VRML-Welten jedoch nicht besonders ausschlaggebend. Die Sichten im virtuellen Park sind am Original orientiert und können mit dem realen Park gut in Verbindung gebracht werden. Vergleiche zwischen den einzelnen Modellen können einen Eindruck darüber geben, was Veränderungen innerhalb und außerhalb des Parks für eine Sicht bewirken. Sie stellen eine gute optische Analysemöglichkeit dar, die sich stark an der Realität orientiert.

---

<sup>5</sup><http://production.eyebeam.org/tools/maya2google/> Besucht: 14.01.2008

## 9 Anhang

Auf der beigelegten DVD sind folgende Daten enthalten:

### Ordner GIS

- Ordner Heute – Alle in ArcGIS erzeugten Dateien für das aktuelle und das fiktive Modell
- Ordner 1845 – Alle in ArcGIS erzeugten Dateien für das historische Modell

### Ordner Maya

- Ordner Heute – Alle Objekte, die in Maya zum aktuellen und fiktiven Modell gehören
- Ordner 1845 – Alle Objekte, die in Maya zum historischen Modell gehören

### Ordner VRML

- Ordner Heute
  - init.wrl – Hauptdatei, die die VRML-Welt lädt
  - Ordner texturen – Texturen der Gebäude und der Bäume im JPEG-Format
  - Ordner geometrie
    - \* Ordner gebäude – WRL-Dateien aller Gebäude
    - \* Ordner landschaft – WRL-Dateien des Geländes
    - \* Ordner sky – WRL-Datei des Himmels
    - \* Ordner vegetation – WRL-Dateien der Bäume
- Ordner 1845
  - init.wrl – Hauptdatei, die die VRML-Welt lädt
  - Ordner texturen – Texturen der Gebäude und der Bäume im JPEG-Format
    - \* Ordner Häuser – Texturen der Häuser im JPEG-Format
  - Ordner geometrie
    - \* Ordner gebäude – WRL-Dateien aller Gebäude
    - \* Ordner landschaft – WRL-Dateien des Geländes
    - \* Ordner sky – WRL-Datei des Himmels

- \* Ordner vegetation – WRL-Dateien der Bäume
- Ordner Szenario
  - init.wrl – Hauptdatei, die die VRML-Welt lädt
  - Ordner texturen – Texturen der Gebäude und der Bäume im JPEG-Format
  - Ordner geometrie
    - \* Ordner gebäude – WRL-Dateien aller Gebäude
    - \* Ordner landschaft – WRL-Dateien des Geländes
    - \* Ordner sky – WRL-Datei des Himmels
    - \* Ordner vegetation – WRL-Dateien der Bäume

### **Ordner Ausarbeitung**

- Bachelorarbeit.pdf

# Literaturverzeichnis

- [1] BILL, Ralf ; FRITSCH, Dieter: *Grundlagen der Geo-Informationssysteme*. Wichmann, Karlsruhe, 1994
- [2] CHEN, Sam ; MYERS, Rob ; PASETTO, Rick: The out of box experience: lessons learned creating compelling VRML 2.0 content. In: *VRML '97: Proceedings of the Second Symposium on Virtual Reality Modeling Language*. New York, NY, USA : ACM, 1997
- [3] DEMERS, Michael N.: *Fundamentals of Geographic Information Systems*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1997
- [4] ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC.: *Understanding GIS. The ARC/INFO method 4th Edition*. Environmental Systems Research Institute, Inc., New York, NY, USA, 1997
- [5] ETTRICH, Berthold: *150 Jahre Branitzer Park. Edition Branitz. Heft 3*. Stiftung Fürst-Pückler-Museum Park und Schloss Branitz, Cottbus, 1998
- [6] HASE, Hans-Lothar: *Dynamische virtuelle Welten mit VRML 2.0. Einführung, Programme und Referenz*. dpunkt - Verlag für digitale Technologie GmbH, Heidelberg, 1997
- [7] KLEMMER, Wilfried ; SPRANZ, Roland: *GIS-Projektplanung und Projektmanagement - Theorie und Praxis-*. Wilfried Klemmer Roland Spranz GbR, Bonn, 1997
- [8] KORTE, George B.: *The GIS Book. 5th Edition*. OnWord Press, Albany, NY, USA, 2001
- [9] LIEBIG, Wolfgang: *Desktop-GIS mit ArcView GIS*. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 2001
- [10] MAHINTORBAI, Keywan: *Maya 3D-Grafik und Animation*. mitp-Verlag, Bonn, 2003
- [11] NIESSNER, Andreas: *VRML-Praxis VRML 2.0 - Virtuelle Welten dreidimensional modellieren*. Richard Pflaum Verlag GmbH & Co. KG, München, 1997
- [12] PALM, Hartmut ; DÄSSLER, Ralf: *Virtuelle Informationsräume mit VRML. Informieren, Recherchieren und Präsentieren in 3D*. dpunkt - Verlag für digitale Technologie GmbH, Heidelberg, 1998
- [13] STIFTUNG FÜRST-PÜCKLER-MUSEUM: *Entwicklung eines Kulturlandschaftskonzeptes zur Wiedergewinnung der Park- und Kulturlandschaft Branitz (Brandenburg)*. 2005



- [14] TRENDE, Klaus ; SCHÄFER, Anne ; WIANKE, Heidemarie ; ETTRICH, Berthold:  
*Fürstliche Bilder Pücklers. Park und Schloss Branitz in Fotografien aus drei Jahr-*  
*hunderten.* Fürst-Pückler-Museum Park und Schloß Branitz. Gut Geisendorf - Das  
Kulturforum der Lausitzer Braunkohle, Cottbus, 2004