



Der virtuelle Prunksaal der Österreichischen Nationalbibliothek

Michael Gruber ¹, Peter Sammer ²

¹ *Institut für Computerunterstützte Geometrie und Graphik, TU Graz,
Münzgrabenstraße 11, A-8010 Graz*

² *Institut für HyperMedia Systeme, Joanneum Research, Schießstattgasse 4a,
A-8010 Graz*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **84** (2), S.
196–205

1996

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Gruber_VGI_199632,  
Title = {Der virtuelle Prunksaal der {"0}sterreichischen Nationalbibliothek},  
Author = {Gruber, Michael and Sammer, Peter},  
Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {196--205},  
Number = {2},  
Year = {1996},  
Volume = {84}  
}
```





Der virtuelle Prunksaal der Österreichischen Nationalbibliothek

Michael Gruber und Peter Sammer, Graz

Zusammenfassung

Der barocke Prunksaal der Österreichischen Nationalbibliothek wurde als dreidimensionales photorealistisches Computerdokument erfaßt. Die geometrische Formbeschreibung des reichhaltig gegliederten Innenraumes und seiner Einrichtung wurde durch photographische Textur aus Bildern ergänzt. Das digitale Modell ist Grundlage mehrerer Filmsequenzen, die den Betrachter unter anderem in den historischen Prunksaal des 18. Jahrhunderts führt.

Abstract

The baroque Great Hall of the Austrian National Library was documented in the form of a three dimensional, photorealistic digital model. The geometric properties of the baroque interior have been enriched by photo-texture from images. Based on the digital model film sequences have been rendered, among them a visitor is invited to a tour through the historical hall of the 18th century.

1. Einleitung

Die Österreichische Nationalbibliothek verdankt ihre Anfänge der bibliophilen Leidenschaft habsburgischer Herrscher des Spätmittelalters. Vorerst an verschiedenen Orten untergebracht, erhielt der reiche Bücherbestand durch Verfügung Kaiser Karl VI. (1711–1740) seinen Verwahrsort im heutigen Bibliotheksgebäude (Abb. 1). Von den Architekten Johann Bernhard Fischer von Erlach und seinem Sohn Josef Emanuel wurde der barocke Bau im Jahre 1726 fertiggestellt. Daniel Gran gestaltete die Deckenfresken im Bereich des Kuppelovals und der flankierenden Seitenflügel mit allegorischen Figurengruppen.

Die Einrichtung des Prunksaales entspricht der Bestimmung als Bibliotheksgebäude. Bücherschränke sind in zwei Etagen angeordnet und stellen den Fassungsraum für mehr als 200.000 Bände zur Verfügung. Im Kuppeloval befinden sich die Marmorstatuen des imperialen Auftraggebers und anderer Persönlichkeiten der Zeit.

Der Prunksaal der Österreichischen Nationalbibliothek

weist eine Gesamtlänge von 77 m und eine Breite von 28 m auf. Die Höhe über der Kuppel beträgt ca. 29 m. Der Raum war ursprünglich dreigeteilt – je ein Säulenpaar trennte den Zentralraum von den beiden Seitenflügeln. Im Zuge von baulichen Maßnahmen wurden notwendig gewordene Stützelemente errichtet, die in Form von Gurtbögen und seitlichen Pilastern eine weitere Teilung erzeugen. Daher ist der gegenwärtige



Abb. 1: Das Hauptgebäude der Österreichischen Nationalbibliothek in Wien 1, Josefsplatz. Der Prunksaal erstreckt sich über das erste und zweite Obergeschoß (Photo ÖNB)

AVW4

Amtliche Vermessungswerke
Band 4: Topographische Grundkarte
Der Übersichtsplan

Herbert J. Matthias Ernst Spiess



Sauerländer

Topographische Grundkarte Der Übersichtsplan

Im Band 4 der fünfbandigen Reihe «Amtliche Vermessungswerke» stellen die Autoren die ganze Materie einer solchen grossmassstäblichen Grundkarte mit topographischem Inhalt, wie es der Übersichtsplan ist, dar: Die Bedeutung, die vermessungstechnische Aufnahme und die kartographische Bearbeitung. Dabei haben sie sowohl den klassischen Verfahren als auch den sich entwickelnden Grundlagen für die Anwendung der Informatik – insbesondere Orthophoto, digitale Geländemodelle und CAD, Computer Aided Design – einen gleichwertigen Platz eingeräumt.

Diesem Stoff ist ein Kapitel über das wichtige Gebiet der Nomenklatur in den amtlichen Vermessungswerken und offiziellen Landeskarten der Schweiz vorangestellt. Den Abschluss bildet ein Sachwortverzeichnis der Amtlichen Vermessungswerke mit rund 1'300 Begriffen in allen vier Schweizer Landessprachen.

AVW4

Amtliche Vermessungswerke
Band 4: Topographische
Grundkarte, Der Übersichtsplan
168 Seiten
S 875,-/Fr. 98,-/DM 112,-
ISBN 3-7941-1749-2

Weiter Bände bisher erschienen:

AVW Band 1
Geschichte und Grundlagen
94 Seiten
S 608,-/Fr. 68,-/DM 78,-
ISBN 3-7941-1746-8

AVW Band 2
Triangulation IV. Ordnung
108 Seiten
S 694,-/Fr. 78,-/DM 89,-
ISBN 3-7941-1747-6

AVW Band 3
Parzellarvermessung
304 Seiten
S 1'615,-/Fr. 180,-/DM 207,-
ISBN 3-7941-1748-4

Bestellungen bitte faxen oder schicken an:
Verlag Sauerländer, Postfach, CH-5001 Aarau
Fax: 0041/62 824 86 20 – Tel. 0041/62 836 86 13

Preisstand Mai 91. Preisänderungen vorbehalten.



Verlag Sauerländer

tige Prunksaal in fünf architektonische Abschnitte geteilt.

Im Zuge der Gesamtdokumentation der Nationalbibliothek in Form einer CD-i Edition wurde die digitale Modellierung des barocken Saales und der Marmorstatue des Kaisers vorgeschlagen. Im Auftrag der Generaldirektion der Nationalbibliothek wurde diese Arbeit vom Institut für Computerunterstützte Geometrie und Graphik der Technischen Universität Graz durchgeführt. Die Berechnung von Filmsequenzen auf der Grundlage des dreidimensionalen, digitalen Modells wurde vom Institut für HyperMedia Systeme, Joanneum Research, erledigt.

2. Anforderungen an das digitale Modell

Am Beginn der Arbeiten am digitalen Modell des Prunksaales und der Statue des Kaisers galt es, die Anforderungen an das Endprodukt, seine Qualität und die gewünschte Erstrnutzung im Rahmen der CD-i Produktion zu evaluieren. Zwei grundlegende Parameter waren festzulegen, nämlich der Detaillierungsgrad der Formbeschreibung, also des Geometriemodells und die gewünschte geometrische Auflösung der photorealistischen Textur bezogen auf das Objekt. Beide Parameter wurden durch die bereits festgelegte Aufnahmeplanung für die animierten Filmsequenzen wesentlich bestimmt, ein gewisser Homogenitätsanspruch sollte jedoch auch für eine spätere, interaktive Nutzung des digitalen Modells erfüllt sein. Geometrie und Textur sollten wiederum nicht in einem qualitativen Widerspruch stehen. Auf die strenge Erfüllung der Korrespondenz zwischen Textur und Geometrie war jedoch immer und unabhängig vom Detaillierungsgrad zu achten [5].

Ein grundlegender Einfluß auf die Qualität des digitalen Modells war von der Qualität der photorealistischen Textur und damit von deren geometrischer Auflösung zu erwarten. Ausgehend vom Darstellungsmaßstab einzelner Modellbereiche und dem Zielformat der Wiedergabe (für diese Überlegungen wurde ein Bildformat von ca. 700×500 Bildelementen angenommen) kann ein erster Hinweis auf eine Zielauflösung der Phototextur gewonnen werden. Für bestimmte Filmsequenzen im Kuppelbereich wurde eine Zielauflösung von mindestens 1 Bildelement/cm veranschlagt und durch Experimente auch bestätigt. Um eine homogene Qualität zu gewährleisten, wurde versucht, eine Halbierung der Auflösung in anderen Modellbereichen nicht wesentlich zu unterschreiten. Die geometrische

Auflösung der Textur für die Marmorstatue wurde mit ca. 2–3 Bildelementen/cm etwas höher angesetzt.

Die Anforderungen an die Geometriebeschreibung des Modells leiten sich von deren Funktion als Projektionsfläche der Phototextur ab. Die Struktur der Geometriedaten ist bewußt einfach und besteht aus Knoten, Kanten und konvexen Flächen. Mit Ausnahme des Bodens wurde darauf geachtet, daß die Längen der Kanten und die Flächeninhalte der Facetten eine gewisse Obergrenze nicht überschreiten. Damit wurde vermieden, daß Texturen an der Grenzlinie zweier Flächen merkbar unterschiedliche Verzerrungen aufweisen. Die Korrespondenz zwischen Geometrie und Textur war durch die ausreichend detaillierte Beschreibung der Objektform sicherzustellen [3].

Die absolute Genauigkeit des Modells, also die Korrespondenz zwischen Geometrie und Objekt, war nicht von vorrangiger Bedeutung. Die Ableitung der Dimensionen des Prunksaales konnte daher von bestehenden Plänen und unter Zuhilfenahme von Meßbildern des Bundesdenkmalamtes erfolgen. Die Form der Marmorstatue Kaiser Karl VI. wurde mit photogrammetrischen Methoden erfaßt.

3. Der digitale Kaiser

3.1 Photogrammetrische Aufnahme

Die Modellierung der Marmorstatue Kaiser Karl VI. wurde auf der Grundlage einer photogrammetrischen Formrekonstruktion durchgeführt. Den örtlichen Gegebenheiten folgend wurde eine Aufnahmeplanung erstellt, die 20 Kamerastandpunkte entlang eines Kreisbogens um die Statue enthält. Bildpaare mit einem Konvergenzwinkel von 36° sowie eine Folge von Stereomodellen in Schritten von 18° waren aus dieser Konfiguration möglich. Die Vermeidung sichttoter Räume an der reich gegliederten Figur konnten damit gesichert werden. Die Orientierung der Bilder wurde durch zwei vertikale Aluminiumprofile mit Paßpunktmarken erleichtert. Diese beiden Profile wurden auf einer Holzkonstruktion am Sockel der Statue aufgesetzt und der Kamera folgend, jedoch in Schritten zu 90° mitgedreht. Damit wurden vier lokale Koordinatensysteme während der Aufnahme erzeugt, deren Maßstab sowie einige Punkte am Sockel und an der Statue zur Transformation in ein gemeinsames System dienen. Die Bilddaten wurden mit einer Teilmeßkamera Rollei 6006 metric (Bildformat $55 \times 55 \text{ mm}^2$, $f = 40 \text{ mm}$) unter einem Bild-

maßstab von ca. 1 : 80 mit Farbdiafilm und S/W Negativfilm aufgenommen. Die Orientierung und Auswertung der Bilddaten erfolgte an einem analytischen Stereoplotter. Das erste Teilergebnis der Formrekonstruktion liegt als dreidimensionale Punktwolke mit ca. 7000 Einzelpunkten vor.

3.2 Rückführung der Objektoberfläche

Aus der unzulänglich strukturierten Punktwolke – nur die Zuordnung des Einzelpunktes zum jeweiligen Stereobildpaar ist bekannt – sind räumliche Beziehungen zu entwickeln, die eine gültige und sinnvolle Beschreibung der Oberfläche des Objektes zulassen. Auf Basis einer Segmentierung der Punktwolke wurde eine automatische Triangulierung und darauf folgend eine manuelle Nachbearbeitung der Oberflächenteile sowie eine Verschmelzung der einzelnen Segmente vorgenommen [6]. Die digitale Beschreibung der Marmorstatue des Kaisers liegt als Liste von dreidimensionalen Punktkoordinaten und einer indizierten Liste von Dreiecken vor (Abb. 2).

3.3 Texturierung des digitalen Modells

Durch die photogrammetrische Formrekonstruktion ist der Bezug zwischen den dreidimensionalen Punkten des Modells und den entsprechenden zweidimensionalen Bildkoordinaten in den betroffenen Meßbildern bekannt. Eine vollautomatische Texturierung ist theoretisch denkbar, wenn anhand von bestimmten Kriterien für jedes Oberflächenelement des digitalen Modells ein Bild gewählt und die Texturinformation durch Rückprojektion selektiert würde. Um unvermeidbare Unterschiede in den Einzelbildern möglichst gering zu halten, wurden sechs Bilder von Hand ausgewählt und zur Texturierung des Gesamtmodells verwendet. Die radiometrische Abstimmung der Bilder zueinander – besonders an Begrenzungslinien – wurde ebenso in einem manuellen Prozeß bewerkstelligt. Als geometrische Auflösung der Textur am Objekt wurde eine Pixelgröße von 0.5 cm gewählt. Das Ergebnis sowie einzelne Zwischenschritte sind in Abb. 2 dargestellt.

4. Quelldaten des Prunksaalmodells

Die Formmodellierung des Prunksaales erfolgte anhand von bestehendem Planwerk, eini-

ger Meßbilder des Bundesdenkmalamtes sowie einer Reihe von Handmessungen zur Bestimmung geometrischer Details. Eine Neuvermessung wurde aus Kostengründen nicht durchgeführt.

Im Mittelpunkt der Quelldatenerfassung stand die photographische Aufnahme des Saales als Basis für die photorealistische Texturierung des digitalen Modells. Mehr als 100 Einzelaufnahmen des Innenraumes, der Einrichtung sowie besonderer Details wurden erzeugt. Mehrheitlich wurde Diafilmmaterial im Kleinbildformat verwendet. Für die Aufnahme der Gewölbe im zentralen Kuppelraum sowie in den Seitenflügeln wurden Mittelformatkameras eingesetzt. Die Beleuchtung während der Aufnahmen wurde durch Blitzlicht sowie durch Kohlebogenlampen sichergestellt. Um störende Einflüsse durch natürliches Licht zu verhindern, wurden die Aufnahmen in den Nachtstunden durchgeführt.

Das nunmehr vorhandene, analoge Filmmaterial wurde mit einer Auflösung von 1250 dpi digitalisiert und zur weiteren Verarbeitung vorbereitet. Einem Kleinbild dia entspricht daher eine digitale Datei von 1800 × 1200 Bildelementen oder 6.5 Mbyte unkomprimierter Texturdaten. Insgesamt wurden Texturrohdaten von mehr als 600 Mbyte erzeugt. Eine Übersicht über die Quelldaten des Modells ist in Tab.1 dargestellt.

Geometrische Quelldaten	Texturquelldaten
Plandarstellung 1 : 50	ca. 80 Kleinbilddias 24 × 36 mm, mb ca. 1:600
Meßbilder des Bundesdenkmalamtes(mb ca 1: 100)	ca. 20 Mittelformatdias 60 × 70 mm mb ca. 1:300 – 1:500
Distanzmessungen	

Tab. 1 : Quelldaten für das digitale Modell des Prunksaales

5. Geometrie und Textur

Die Nutzung photorealistischer Textur als Träger detaillierter Oberflächeninformation bestehender Objekte ist alt. Bildpläne und Orthophotos sind klassische, vorerst analoge Produkte einer gemeinsamen Präsentation von Geometrie und Textur. Bei beiden wird durch optische Entzerrung des Quellenbildes eine Übereinstimmung zwischen Geometrie und Textur mehr oder weniger genau hergestellt und ermöglicht so eine gemeinsame Darstellung beider Datentypen. Die Vermeidung sichtbarer Widersprüche ist das Ziel dieser Prozedur. Übertragen auf die Anforderungen des digitalen Modellbaues bleibt dieses Prinzip erhalten. Das Geometriemodell

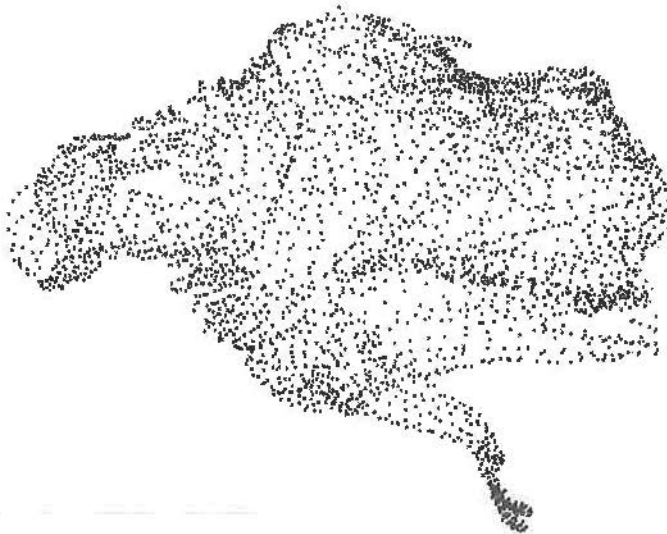
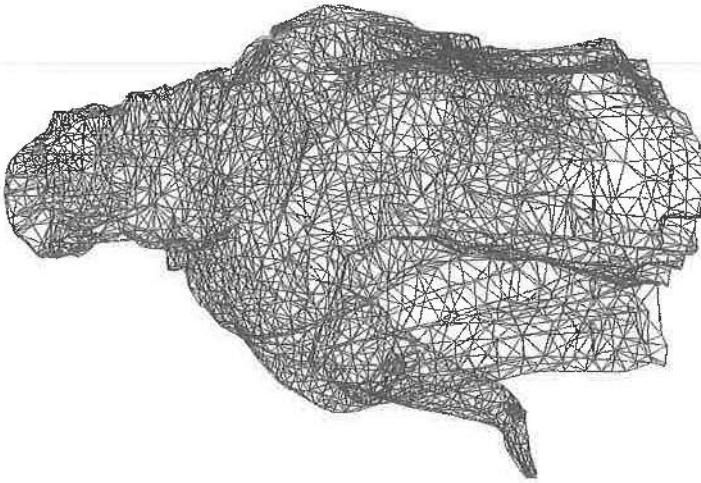
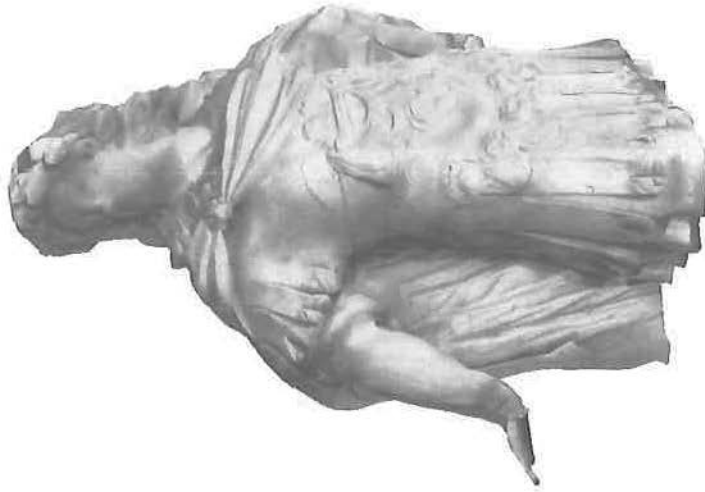


Abb. 2: Das digitale Modell der Marmorstatue Kaiser Karl VI. als Punktwolke, als Drahtmodell und mit photorealistischer Textur

hat jene Qualität aufzuweisen, die notwendig ist, um Textur aufzunehmen oder gleichsam als komplexe Projektionsfläche zu dienen. Gleichzeitig wird eben durch Textur detaillierte Information über das modellierte Objekt eingebracht und damit die geometrische Darstellung entlastet. Das Modell des Prunksaales nutzt diese Texturinformation besonders für die Darstellung der Deckenfresken.

Aus den bestehenden perspektiven Aufnahmen des Saales – den Quellenbildern – wurden Texturdateien erstellt. Diese manuell bearbeiteten digitalen Bilder zeichnen sich durch eine Reihe von Eigenschaften aus, die durch geeignete Bearbeitung erreicht wurde:

- einheitliche Helligkeit und Farbqualität durch radiometrische Korrektur
- Entfernung von Störungen (Verdeckungen, Schatten etc.) durch manuelle Retusche
- Bearbeitung von Silhouetten durch Maskierung und Nutzung der Transparenzoption
- Formatierung der Texturdateien auf eine quadratische Größe mit Seitenlängen 2^n ($2^9 \times 2^9$, $2^{10} \times 2^{10}$... Bildelemente)

Die Leistungsfähigkeit moderner Graphikrechner erlaubt die interaktive Nutzung photorealistischer Textur während der Erstellung sowie bei der Visualisierung des digitalen Modells [1], [7], [2].

Die dazu notwendigen Operationen werden durch Geometrie- und Rasterprozessoren des Graphiksubsystems ausgeführt wobei ein schneller Zugriff auf die Texturinformation durch Bereitstellung in einem eigenen Texturspeicher und in einem speziellen Format erfolgt. Die Arbeiten am Prunksaal wurden auf Rechenanlagen der Firma Silicon Graphics durchgeführt.

5.1 Texturkoordinaten

Die Verbindung zwischen Geometriemodell und Texturdaten erfolgt durch Texturkoordinaten, die jedem dreidimensionalen Modellpunkt ein zweidimensionales Paar von Texturkoordinaten zuweisen. Jede Modellfacette kann anhand dieser Texturkoordinaten und der zugeordneten Texturdatei mittels einer affinen Transformation photorealistisch texturiert dargestellt werden. Dieses einfache Prinzip wurde für das gesamte Modellierungsprojekt durchgeführt und verlangte die Erstellung einer Texturkoordinatenliste für alle betroffenen Flächen. Die Beziehung der Modellgeometrie und der perspektiven Aufnahmen wurde über die photogrammetrische Grundgleichung hergestellt und interaktiv korrigiert, wobei neben der Modellierung der Aufnahmeparameter

eine räumlich begrenzte, auf den Bildraum bezogene Anpassung zwischen Geometrie und Textur notwendig war. Die Texturierung des Kuppelbereiches stellte hier eine besondere Herausforderung dar. Fünf Aufnahmen für die Kuppel selbst und acht weitere Aufnahmen für den Bereich des Tamburs waren zu einer geometrisch und radiometrisch nahtlos verschmolzenen Texturfläche zusammenzufügen. Diese Arbeit wurde durch Programme unterstützt, die im Laufe der Arbeit entwickelt wurden und die Grundlage eines im folgenden beschriebenen Modellbauarbeitsplatzes darstellen.

5.2 Transformationstypen

Eine weitere Überlegung zur Optimierung der Korrespondenz der beiden Datentypen geht von der Analyse der Transformationstypen bei der Modellerstellung sowie bei der Visualisierung aus. Wie bereits bemerkt wurde, ist die Verbindung von Geometrieelementen und digitalen Bilddaten durch Texturkoordinaten vorgesehen. Die Transformation zwischen dem zweidimensionalen Bildsystem und einzelnen ebenen Polygonen erfolgt durch eine affine Transformation mit 6 Parametern. Dies ist einmal im relativ geringen Rechenaufwand bei der Durchführung sowie in der bereits für Dreiecksflächen gegebenen Lösbarkeit der Transformationsgleichungen begründet. Da die Aufnahme der Texturdaten mit Hilfe perspektiv abbildender Kameras erfolgt, sollte die Beziehung zwischen Geometrie und Textur durch eine projektive Transformation mit 8 Parametern erfolgen. Die zu erwartenden Restfehler bei affiner Transformation können auf zwei Arten genügend klein gehalten werden:

- 1) Entzerrung der perspektiven Quellenbilder in eine zur Zielfläche parallele Ebene (diese Methode ist bei Texturierung mehrerer benachbarter und nicht paralleler Flächen aus einem Quellenbild nicht anwendbar)
- 2) Unterteilung der Zielfläche und damit Reduzierung des Restfehlers

Eine Abschätzung der zu erwartenden Restfehler ist in beiden Fällen notwendig. Abb. 3 zeigt die erfolgreiche Anwendung der 2. Methode für den Bereich eines Bücherregales im Zentralbereich des Prunksaales sowie sichtbare Projektionsfehler bei Nichtbeachtung dieser Problematik.

5.3 Korrespondenz

Die Forderung nach Korrespondenz zwischen Geometrie und Textur entsteht aus der Not-



Abb. 3: Verschiedene Facettierung im Bereich des Tonnengewölbes und damit verbundene Qualitätsverluste bei der photorealistischen Textur (langgestreckte Dreiecksflächen bewirken sichtbare Projektionsfehler durch die affine Transformation perspektiver Bilddaten)

wendigkeit, sichtbare Widersprüche im digitalen Modell zu vermeiden. Da weder das geometrische Modell noch das Texturmodell durch Generalisierung, Meßfehler und Fehler in den Quelldaten sowie in den perspektiven Quellenbildern mit dem Objekt selbst völlig übereinstimmt, muß eine Korrekturmöglichkeit vorgesehen werden. Ein Ansatz besteht in der Anpassung der Bilddaten an die Geometrie des Modells wobei zuerst eine Annäherung durch Änderung der Orientierungsparameter der photographischen Aufnahme – sowohl der inneren als auch der äußeren Orientierung – erfolgt und danach auch eine lokale Änderung von einzelnen Texturkoordinaten vorgesehen ist. Die Korrektur erfolgt nicht in der Texturdatei, sondern in den Texturkoordinaten. Dadurch wird die mengenmäßig weitaus größere Datengruppe unverändert belassen. Als Ergebnis liegen korrigierte Texturkoordinaten vor, die bei der Visualisierung des Modells die nunmehr widerspruchsfreie Verbindung von Geometrie und Textur garantieren (siehe Abb. 4, Beispiel „Kup-

pelfenster“). Ein weiterer Grund fehlender Korrespondenz liegt in der Generalisierung bei der Erstellung des Geometriemodells. Die Form des Objektes ist zu kompliziert, um eine ausreichend detaillierte Darstellung in handhabbarer Größe zu erreichen. Hier bietet sich eine Lösung an, bei der die geometrische Information in Rasterform umgewandelt wurde und als Transparenzmaske mit der Textur transportiert wird. Die komplizierte Silhouette eines Objekt-



Abb. 4: Korrespondenz zwischen Geometrie und Textur im Kuppelbereich. Die ovalen Kuppelfenster sind sowohl im Geometriemodell und als auch in der Phototextur scharf abgegrenzt

details wird korrekt dargestellt, das Geometriemodell kann eine sehr einfache Form behalten. Die Unterschiede zwischen dem generalisierten Geometriemodell und der photographisch erzeugten und daher korrekten Textur werden bei der Visualisierung unsichtbar.

6. Digitale Werkzeuge

Die digitale Modellierung des Prunksaales und der Marmorstatue erforderte mehrere Arbeitsschritte sowie die entsprechenden digitalen Werkzeuge. Diese standen teils durch Nutzung kommerzieller Software, teils in Form von Eigenentwicklungen zur Verfügung. Als Plattform wurden Graphikrechner der Firma Silicon Graphics verwendet. Von den folgenden Überlegungen ist die photogrammetrische Vermessung der Marmorstatue Kaiser Karl VI. ausgenommen. Diese wurde wie bereits erwähnt durch den Einsatz konventioneller Methoden erstellt, deren Ergebnis eine Anzahl von Punkten der Objektoberfläche ist.

6.1 Erstellen des dreidimensionalen CAD Modells des Saales

Unter Berücksichtigung der gestellten Anforderungen wurde das Modell mit einem kommerziellen CAD Programm (AutoCAD der Fa. AutoDesk) auf Basis der vorhandenen Quelldaten konstruiert. Als Ergebnis liegt eine dreidimensionale Datenstruktur vor, die konvexe, ebene Polygone enthält. Das Gesamtmodell wurde bereits hier in Teile zerlegt, die einer architektonischen Gliederung folgen (Zentrales Kuppeloval, Seitenteile, Säulen etc.).

6.2 Rückführung der Oberfläche der Marmorstatue

Ausgehend von der Punktwolke als Ergebnis der photogrammetrischen Auswertung wurde eine stückweise zweidimensionale Triangulierung nach Delauney erstellt. Diesem automatischen Prozeß folgte eine manuelle Prozedur, die einerseits die triangulierten Oberflächenteile zu einer einzigen Oberfläche zusammenfaßt und zusätzlich eine Nachbearbeitung erlaubt, wo das Triangulierungskriterium im Widerspruch mit der Objektoberfläche steht. Die Durchführung dieser Arbeitsschritte erfolgte mit einer auf IDL basierenden Eigenentwicklung. Das Ergebnis ist eine aus ca. 12,000 Dreiecksflächen und 7,000 Punkten bestehende dreidimensionale Datenstruktur.

6.3 Texturvorverarbeitung

Die Vorverarbeitung der photorealistischen Textur erzeugt aus digitalisierten Quellenbildern erste Texturdateien. Diese sind bereits radiometrisch (farblich) aneinander angepaßt und formatiert, d.h. auf die zu texturierenden Details hin zugeschnitten. Notwendige Korrekturen aufgrund von Schattenwurf und Verdeckungen sowie die Maskierung für transparente Bereiche werden hier durchgeführt und die Texturdateien im endgültigen und quadratischen Format (IRIS-RGB) abgespeichert. Diese Verarbeitungsschritte erfordern manuelle Arbeitsleistung und wurden mit dem Programm Photoshop von Adobe durchgeführt.

6.4 Modellierung und Texturierung

Der Großteil der Modellierungsarbeit wurde mit einem Modelleditor (Medit, Fa. Medit Spa.) durchgeführt. Die mit dem CAD Programm erstellten Geometriedaten wurden importiert und als dreidimensionale Objekte dargestellt. Einfache, d.h. ebene Objektoberflächen – dazu zählen Wandflächen, Bücherregale, Boden etc. – wurden nun mit Textur interaktiv verbunden und damit fertiggestellt. Für komplexe Flächen und Textur aus mehreren Quellenbildern wurden darüber hinaus Software-Werkzeuge entwickelt. Diese stellen Funktionen zur Verfügung, die zur Behebung von Korrespondenzdefekten sowie zur radiometrischen Feinanpassung angrenzender Texturen entworfen wurden. Besonders für die Texturierung des Kuppelbereiches wurden diese Funktionen notwendig. Textur aus fünf Quellenbildern wurde in das digitale Modell eingearbeitet und mußten daher geometrisch und radiometrisch aneinander angepaßt werden [4] (Abb. 5).

Das Ergebnis der digitalen Modellierung liegt in Form mehrerer Geometriedateien mit ca. 19,000 Flächenelementen und etwa 50 Texturdateien mit insgesamt 70 Mbyte Texturdaten vor. Als Datenformat wurde das ASCII-Inventorformat für Geometriedaten und das IRIS-RGB Format für die Texturdateien gewählt.

7. Nutzung des digitalen Modells

Das digitale Modell bildete die Basis für die Berechnung der gewünschten Bildfolgen und MPEG-Filmsequenzen für die CD-i Produktion. Eine Hauptaufgabe bestand zunächst darin, geeignete Kamerapfade und Beleuchtungsmodelle zu definieren. Als Software kam das Programm „Wavefront Advanced Visualizer“ zum Einsatz. Um die Geometriedaten übernehmen zu können,



Abb. 5: Die Kuppel des Prunksaales wurde mit Textur aus fünf perspektiven Aufnahmen ausgestattet. An den Grenzlinien wurde geometrische und iad'ometrische Übereinstimmung gefordert

wurden sie von Medit im Inventor-Format geschrieben und mit eigenen Konvertern ins „Wavefront objekt file“-Format umgewandelt.

Für die Berechnung der Filmsequenzen im Drahtmodell mußte das Geometriemodell in seiner Komplexität vereinfacht werden, um die Geometrie hervorheben zu können und um zu verhindern, daß die Bilder mit Linien überfüllt sind. Der Hauptteil dieser Arbeit wurde manuell

durch Substitution mit einfacheren Geometrietellen durchgeführt, wobei die Umrisse hervorgehoben wurden. Bis zu einem gewissen Grad konnte die Vereinfachung der Geometrie automatisiert werden. Eine Funktion, die im Kuppelbereich verwendet wurde, verschmilzt benachbarte Dreiecke zu Rechtecken. Eine andere Funktion verschmilzt benachbarte Polygone mit einer Winkelabweichung unter einem gewissen Grenzwert, um Kurven zu vereinfachen.



Abb. 6: Ansichten des Prunksaales. Der historische Prunksaal (links) und die aktuelle Situation mit Stützelementen (rechts)

Die Kameraführung für die Bildfolgen wurde gemeinsam mit einem Regisseur erarbeitet. Die danach berechneten Filmsequenzen geben einen Überblick über die Architektur, zeigen Eindrücke des Gebäudes aus der Sicht des Kaisers, liefern Vergrößerungen interessanter Details und bieten schließlich auch einen Vergleich zwischen dem gegenwärtigen und dem ursprünglichen, historischen Bauzustand (Abb. 6).

8. Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse lassen eine Beurteilung zu, die geeignet ist, den Einsatz der hier gezeigten Methode für weitere Vorhaben zu evaluieren. Multimediale Informationssysteme sind im Entstehen begriffen und erfordern Dateninhalte von ständig steigender Qualität und verbesserter Einsatzfähigkeit. Gleichzeitig wird die Leistungsfähigkeit von Graphikrechenanlagen kontinuierlich gesteigert und erlaubt gemeinsam mit intelligenter Software die Handhabung dieser Computerdokumente. Die Interaktion mit dreidimensionalen digitalen und photorealistisch texturierten Modellen ist durch entsprechende Standards bereits auf breiter Basis und im internationalen Datennetz gewährleistet. Damit ist die Nutzung dieser Computerdokumente gegenwärtig möglich, die Datenmengen sind durch flächendeckend fehlende Hochleistungsdatennetze und ungenügend verbreitete Graphikrechner der oberen Leistungsklasse noch beschränkt. Eine rasante Entwicklung in diesen Bereichen ist im Gange.

Eine Verbesserung und Beschleunigung der Methoden der digitalen Objektrekonstruktion und Modellierung ist daher eine unbestrittene Forderung. Besonders im Bereich der digitalen Bildanalyse sind weltweit Anstrengungen im Gange, aus Bildern die Form von Objekten abzuleiten sowie den Prozeß der Bilderzeugung durch Einsatz elektro-optischer Sensoren zu automatisieren. Neben der Formrekonstruktion ist die Beschreibung von Oberflächeneigenschaften nunmehr durch die Nutzung von Textur aus Bildern ein erster Schritt zu einer photorealistischen Objektdokumentation. Die Entwicklung von digita-

len Werkzeugen zur Verarbeitung dieser Texturinformation wurde in diesem Beitrag anhand einiger Beispiele erwähnt. Die Automatisierung dieser Funktionen ist der nächste Schritt.

Dank

Die digitale Modellierung des Prunksaales der Österreichischen Nationalbibliothek war nur durch die Bereitschaft zur Mithilfe und Kooperation einer Reihe von Personen möglich. Seitens der Nationalbibliothek soll hier Dr. Hans Petschar als Gesamtprojektleiter der CD-i Produktion genannt werden. Der Abteilung für Fernerkundung, Bildverarbeitung und Kartographie der Technischen Universität Graz (Leitung: o.Univ.-Prof. Dr. G. Brandstätter) sei für die Bereitstellung der Meßkamera sowie des analytischen Stereoauswertegerätes gedankt. Die Fa. Silicon Graphics Computersysteme Ges.m.b.H. hat durch die Bereitstellung eines Graphikhochleistungsrechners zum Erfolg beigetragen. Besonderer Dank gebührt den Mitarbeitern, deren Engagement und Kreativität in der Qualität der Arbeit ihren Ausdruck findet. Namentlich genannt sei hier Michael Pichler, Johannes Holzer, Norbert Rühaltinger, Stephan Meissl und Alois Maierhofer.

Literatur:

- [1] Akeley, K., *Reality Engine Graphics*, In: Computer Graphics, Proceedings of the SIGGRAPH Conference 1993, Addison-Wesley, New York 1993.
- [2] Foley J.D., A.van Dam, S.K.Feiner, J.F. Hughes, *Computer Graphics, Principles and Practice*, 2nd Edition, Addison-Wesley, New York 1992.
- [3] Gruber M.: On the Superposition of Digital Images and Vector Graphics for Monoscopic and Stereoscopic Viewing. In W. Pözlthner, E. Wenger (Eds.): *Image Analysis and Synthesis*, Oldenbourg Verlag, Wien 1993.
- [4] Gruber M., M. Pasko, F. Leberl: Geometric versus Texture Detail in 3-D Models of Real World Buildings, Proceedings of the Ascona Workshop 1995, Birkhäuser Verlag, Basel 1995.
- [5] Leberl F., M.Gruber, F. Madritsch: Trade-Offs in the Reconstruction and Rendering of 3-D Objects. Proceedings of the 18th Symposium of DAGM and 18th OAGM-Workshop, Springer Verlag, Serie Informatik Xpress, Wien 1994.
- [6] Uray P., M. Gruber, K.Karner, F. Leberl: Modeling and Visualizing a Marble Statue of Habsburg Emperor Karl VI. IIG-Report No. 420, October 1995, Publications of the OCG - Institute for Information Processing, Graz 1995.
- [7] Watt A., *Advanced Animation and Rendering Techniques, Theory and Practice*. ACM Press, Addison Wesley, New York 1993.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Michael Gruber, Institut für Computerunterstützte Geometrie und Graphik, Technische Universität Graz, Münzgrabenstraße 11, A-8010 Graz; Dr. Peter Sammer, Institut für HyperMedia Systeme, Joanneum Research, Schießstattgasse 4a, A-8010 Graz