

3-D Objektaufnahme von historischen Gebäuden durch digitale Architekturphotogrammetrie für Visualisierungsaufgaben und für Facility Management

Thomas KERSTEN, Carlos ACEVEDO PARDO

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fachbereich Geomatik, Hebebrandstrasse 1, D - 22297 Hamburg
<http://www.haw-hamburg.de/geomatik>

Eine detaillierte 3-D Objektaufnahme erfolgt heute durch Methoden der digitalen Architekturphotogrammetrie, da sowohl die geforderten Genauigkeiten im Zentimeterbereich eingehalten werden können, als auch der digitale Datenfluss einen effizienten Arbeitsablauf ermöglicht. Anhand von drei historischen Gebäuden (Landdrostei Pinneberg, Schloss Ahrensburg und Jenisch Haus Hamburg) wird der heute in der Praxis übliche Arbeitsablauf der 3-D Objekterfassung von der photogrammetrischen Aufnahme mit einer digitalen Spiegelreflexkamera Fujifilm FinePix S1 Pro über die Auswertung an einer digitalen Arbeitsstation mit der Software PICTRAN und die Modellierung der Daten bis hin zur Visualisierung aufgezeigt. Die in diesem Beitrag vorgestellten Projekte wurden im Rahmen von praktischen Projektmodulen und Diplomarbeiten an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg durchgeführt.

1 Einführung

Bedingt durch die Entwicklungen in der Halbleiter- und Sensortechnologie und durch die immer kostengünstiger und leistungsfähiger werdenden Computer hat sich die Photogrammetrie in den letzten Jahren in Richtung einer vollen digitalen Technik entwickelt, die sich auch in der Architekturphotogrammetrie widerspiegelt. Seit Beginn der neunziger Jahre existieren Digitalkameras mit höherer Auflösung, die ohne analoge Signalverarbeitung direkt ein digitales Bild liefern und die hinsichtlich der Auflösung mit den analogen Mittelformatkameras konkurrieren können.

Während in den 80er und teilweise in den 90er Jahren noch detaillierte Fassadenpläne im Maßstab 1: 50 oder 1: 100 für Architekten und für die Denkmalpflege durch analoge und analytische Photogrammetrie erstellt wurden, erfolgt heute zunehmend eine vollständige 3-D Gebäudeerfassung durch Methoden der digitalen Architekturphotogrammetrie. Ein Beispiel für die moderne Technik stellt die 3-D Rekonstruktion des Klosters Disentis (Kanton Graubünden, Schweiz) aus hochaufgelösten digitalen Stillvideobildern der Spiegelreflexkamera Kodak DCS460 dar (Streilein und Niederöst, 1998). Die Genauigkeit des mit halbautomatischen Meßmethoden erfassten CAD-Modells beträgt 1.5cm in den drei Koordinatenachsen.

Durch zunehmend verfügbare 3-D Gebäudemodelle werden neue Anwendungsgebiete erschlossen. Die effiziente Bearbeitung und Visualisierung der Gebäudemodelle am Computer in Verbindung mit zusätzlichen Informationen erzeugt z.B. einen zunehmenden Bedarf für folgenden Anwendungen: Gebäudemanagement oder Facility Management, Gebäude-Informationssysteme u. a. für die Einsatzplanung von Rettungsdiensten (Feuerwehr, Notarzt, Polizei, etc.) und für den Objektschutz sowie für Speditionen und 3-D Stadtpläne für den Tourismus (im Internet oder auf CD-ROM). Die Genauigkeit und der Detaillierungsgrad hängt dabei von der jeweiligen Anwendung ab. Zusätzlich bieten 3-D Gebäudemodelle auch den eher klassischen Anwendungen in der Architektur-photogrammetrie neue Möglichkeiten der virtuellen Planung und Visualisierung. Dazu gehören die Stadt- und Bauleitplanung, die Bauwerkdokumentation für die Denkmalpflege, die kunstgeschichtliche Analyse (Architektur) und die Bauwerkserhaltung/Restauration.



Abb. 1: Neue Flora Hamburg als Gebäude des Hamburger 3-D Stadtmodells DSGK-3D in der Stufe 1 (links), in der Stufe 2 (Mitte) und in der etwas detaillierteren Stufe 2 (rechts). © Amt für Geoinformation und Vermessung, Hamburg

Motivation für die im folgenden beschriebenen Arbeiten waren die vollständige Projektbearbeitung mit Studierenden im Rahmen einer Lehrveranstaltung an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg im Fachbereich Geomatik die Entwicklung von interessanten Visualisierungstechniken und –möglichkeiten für historische Gebäude. Weiter Aspekte waren die mögliche Verwendung von detaillierten 3-D Gebäudemodellen im Rahmen des Projektes Deutsche Stadtgrundkarte 3D (DSGK-3D) der Stadt Hamburg und die hohen Erwartungen und Anforderungen an virtuelle Gebäudemodelle durch das Geo-Stadtmarketing. Die Abb. 1 zeigt exemplarisch am Gebäude der Neuen Flora in Hamburg die verschiedenen Qualitätsstufen des 3-D Stadtmodells. Als Stufe 3 könnten in Zukunft detaillierte 3-D Gebäudemodelle von historischen oder wichtigen, öffentlichen Gebäuden integriert werden. Als moderne

Erfassungsmethoden kommen dafür je nach Anforderungsprofil das terrestrische Laserscanning oder die digitale Architekturphotogrammetrie in Frage.

Für die vollständige Projektbearbeitung in der digitalen Architekturphotogrammetrie sind die folgenden Arbeitsschritte erforderlich, die in den folgenden Kapiteln 4-7 beschrieben werden: Projektplanung, Aufnahmeplanung für die digitale Kamera, Objektaufnahme mit der digitalen Kamera, Passpunktbestimmung (3-D Netzausgleichung), Orientierung der Aufnahmen und Kamerakalibrierung, Photogrammetrische 3-D Datenerfassung/ Auswertung, zusätzliches 3-D Aufmaß der Innenräume mit dem System Vitruvius, CAD-Bearbeitung der erfassten Daten und die abschließende Datenvisualisierung und die Erstellung von Videoanimationen. Vorher werden in den Kapiteln 2 und 3 die Aufnahmeobjekte und die eingesetzte digitale Kamera kurz vorgestellt.

2 Aufnahmeobjekte

Als Aufnahmeobjekte wurden die Landdrostei in Pinneberg, das Renaissance-Wasserschloß in Ahrensburg und das Jenisch Haus in Hamburg ausgewählt (siehe Abb. 2). Die Kriterien für die Auswahl dieser historischen Gebäude waren u.a. die Attraktivität der Gebäude, die geringe Komplexität der Gebäude, die relativ freien Standorte (keine Hindernisse), die Entfernung zur Hochschule und die vorhandenen Aufnahmegenehmigungen.

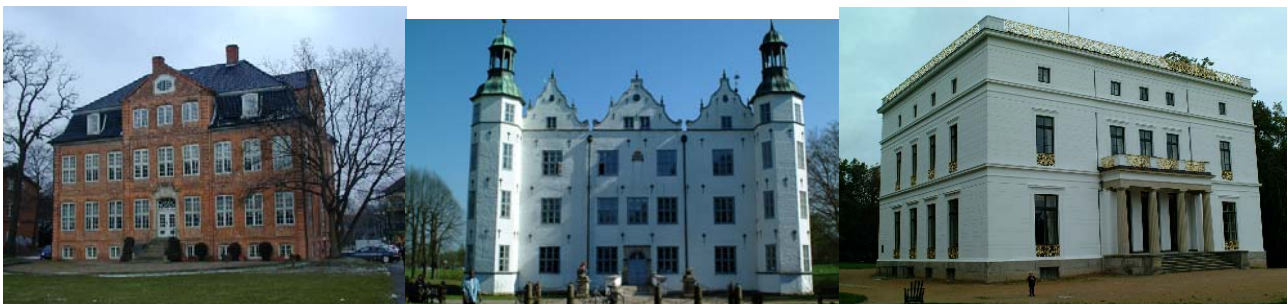


Abb. 2: v.l.n.r. Landdrostei Pinneberg, Schloss Ahrensburg und Jenisch Haus Hamburg

Die von 1765-1767 erbaute Landdrostei in Pinneberg gilt als typischer Vertreter der norddeutschen Backsteinbarock. Das Gebäude ist seit 1991 Kreiskulturzentrum. Das Schloss in Ahrensburg wurde in der Renaissance von 1570-1585 erbaut und dient seit 1938 als Museum der schleswig-holsteinischen Herrenhauskultur (Habich et al., 1998). Das als klassizistisches Landhaus von 1831-1834 erstellte Jenisch Haus ist seit 1927 Museum.

Die Landdrostei und das Jenisch Haus wurden im Rahmen der praktischen Lehrveranstaltung Modul Ingenieurgeodäsie II (6 Semesterwochenstunden) der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fachbereich Geomatik im Sommersemester 2001 bzw. im Wintersemester 2001/2002 photogrammetrisch aufgenommen und anschließend ausgewertet. Das Ahrensburger Schloss wurde im Rahmen einer Diplomarbeit im Zeitraum von Juni bis August 2001 bearbeitet (Krafczyk, 2001).

3 Digitale Kamera

Für die photogrammetrischen Aufnahmen wurde eine digitale Spiegelreflexkamera Fujifilm FinePix S1 Pro eingesetzt. Die technischen Daten der Kamera sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Technische Daten der Kamera Fujifilm FinePix S1 Pro

	Kamera	Digitale Spiegelreflexkamera
	CCD	23,3 x 15,6 mm Super-CCD
	Pixel	3,4 (phys.), 6 Mio. (interpol.) Pixel
	Bilddateigröße	3040x2016, 2304x1536, 1440x960
	Dateiformat	TIFF-RGB (ca. max. 17 MB/Bild)
	Speichermedium	Microdrive 1GB (max. 57 Bilder)
	Objektiv	Nikon-F-Bajonett/Nikkor 28mm
	Aufnahme	ca. 1,5 Bilder/Sek., max. 5 Bilder
	Empfindlichkeit	ISO 320, 400, 800, 1600
	Schnittstellen	USB, Video Out
Gewicht	ca. 820g (ohne Batterien/Objektiv)	

Die Kamera ist von der Elektronik und dem Body identisch mit der Nikon F65; sie besitzt aber im Gegensatz zur filmbasierten Version einen Super CCD-Chip mit einer Aufnahmefläche von 23,3 mm x 15,6 mm, der physikalisch eine Auflösung von 3,4 Mio. Pixel und interpoliert sogar von 6 Mio. Pixel liefert. Daraus resultiert eine physikalische

Pixelgröße von 10 Micron, die entsprechend auf 7,7 Micron interpoliert werden kann. Auf die hier verwendete 1 GB Speicherkarte des Typs Microdrive können maximal 58 farbige Bilder mit der vollen Auflösung im TIFF Format (17.7 MB) gespeichert werden. Die relativ leichte und handliche Kamera kann mit allen handelsüblichen Nikkor F-Bajonett Objektiven eingesetzt werden. Ein weiterer Vorteil ist die hohe Lichtempfindlichkeit, die zwischen ISO 320 und 1600 gewählt werden kann. Neben der Datenübertragung durch die IBM Microdrive in den PCMCIA Port des Notebooks kann alternativ die Schnittstelle über USB oder Video Out gewählt werden. Die hohe Aufnahmegeschwindigkeit von 0.7 Bildern/Sekunde spielt in der Architekturphotogrammetrie mit den statischen Objekten keine bedeutende Rolle.

4 Photogrammetrische Aufnahme und Passpunktbestimmung

Vor der eigentlichen photogrammetrischen Aufnahme wurden in der Projektplanung die mögliche Aufnahmekonfiguration und eine Genauigkeitsabschätzung durchgeführt. Für alle drei Objekte war eine Mehrbildtriangulation um das jeweilige Gebäude vorgesehen, wobei jeweils ein Bildmaßstab von ca. 1: 1000 eingehalten werden sollte, um eine Objektgenauigkeit (Standardabweichung) von ca. 1.5 cm zu erreichen. Die drei Gebäude wurden mit der digitalen Spiegelreflexkamera Fujifilm FinePix S1 Pro rundherum aufgenommen, wobei nur die Landdrostei und das Jenisch Haus auch aus erhöhten Positionen (Hebebühne, Leiter, siehe Abb. 3) erfasst wurden. Durch eine hohe Anzahl von Aufnahmen, die zusätzlich auf verschiedenen Standpunkten auch verkantet und gedreht wurden, wurde eine simultane Kalibrierung der Kamera (Objektiv Nikkor 28mm) eine Bündelblockausgleichung gewährleistet. Insgesamt wurde für die Landdrostei durch 105 Bilder aufgenommen, wobei 96 Aufnahmen ausgewertet wurden. Das Jenisch Haus konnte durch 156 Aufnahmen erfasst werden, allerdings wurden davon nur 105 ausgewertet. Dagegen konnte das Ahrensburger Schloss mit insgesamt 57 Bildern aufgenommen werden, wovon letztendlich nur 37 Aufnahmen für die Rekonstruktion des Schosses verwendet wurden. In Abb. 3 sind die 31 Aufnahmestandorte für den Sockel- (grün) und den Wand- und Dachbereich (rot) für das Ahrensburger Schloss dokumentiert.



Abb. 3: v.l.n.r. Aufnahmekonfiguration Ahrensburger Schloss, Aufnahme am Jenisch Haus Hamburg und Hebebühne für die Aufnahme der Landdrostei Pinneberg

Da die Speicherkapazität der IBM Microdrive nur für 58 hochaufgelöste Aufnahmen ausreichte, mussten die Daten zwischendurch auf ein Notebook übertragen werden. Über das PCMCIA Port dauerte die Übertragung der Daten auf das Notebook ca. 20 Minuten, während eine Übertragung über den Videoanschluss in späteren Tests dagegen eine Zeitspanne von bis zu 45 Minuten in Anspruch nahm. Um eine stabile Kamera während der Aufnahmen zu gewährleisten, wurde der Autofokus abgeschaltet und das Objektiv auf Unendlich fixiert. Außerdem wurden für die Aufnahmen jeweils die Blendenautomatik mit einer vorgewählten Blendenzahl und eine entsprechende Lichtempfindlichkeit gewählt.

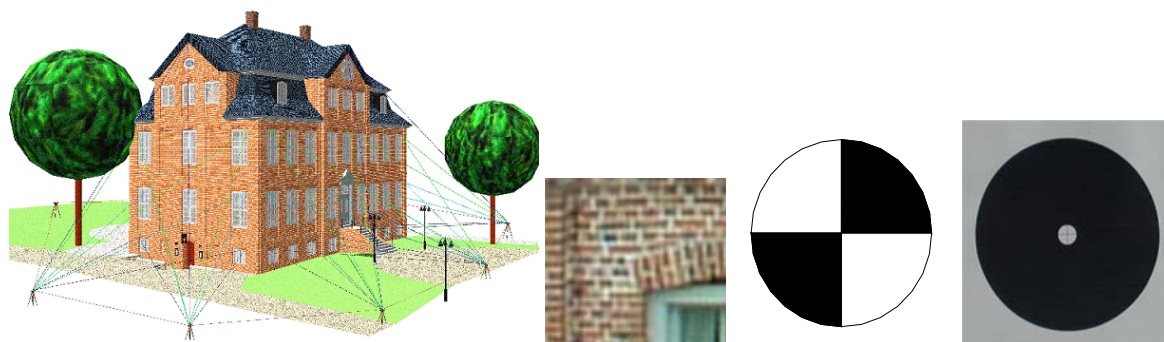


Abb. 4: v.l.n.r. Netzkonfiguration zur Passpunktbestimmung an der Landdrostei, natürlicher Passpunkt Steinfuge bei der Landdrostei, Passpunktsignal beim Ahrensburger Schloss und beim Jenisch Haus Hamburg (rechts)

Als Passpunkte wurden an der Landdrostei natürliche Punkte verwendet, die durch geodätische Messungen reflektorlos mit dem Zeiss Rec Elta RL in einem lokalen 3-D Netz eingemessen wurden (siehe Abb. 4). Für die photogrammetrischen Aufnahmen des Ahrensburger Schlosses und des Jenisch Hauses wurden jeweils signalisierte Passpunkte (siehe Abb. 4) mit dem Leica Tachymeter TCRA 1105 plus durch Vorwärtsschnitte und reflektorlose Laserdistanzmessungen in einem lokalen 3-D Netz eingemessen. Die jeweilige Passpunktverteilung auf der Frontfassade des Ahrensburger Schlosses und des Jenisch Hauses sind in Abb. 5 dargestellt. Aus Gründen der Zugänglichkeit und der Fixiermöglichkeit der Signalisierung musste bei der Passpunktverteilung von einer optimalen Konfiguration etwas abgewichen werden.

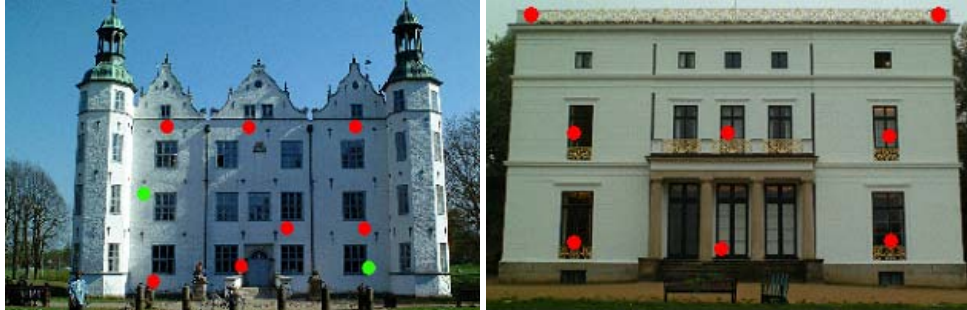


Abb. 5: Passpunktverteilung auf der Frontfassade des Ahrensburger Schlosses (links) und des Jenisch Hauses (rechts)

Die Koordinaten der jeweiligen Aufnahmepunkte des 3-D Netz und die Koordinaten der Passpunkte wurden in einer Netzausgleichung mit dem Programm PANDA bestimmt. Aufgrund der schwierigen Punktdefinition am Gebäude lag die Genauigkeit der Passpunkt-koordinaten bei der Landdrostei bei ca. 1.5cm, während durch die signalisierten Passpunkte bei den anderen beiden Objekten eine deutlich bessere Punktgenauigkeit von 2-3mm (Ahrensburger Schloss) und 4-5mm (Jenisch Haus) erreicht werden konnte. Auch konnte durch die eindeutige Signalisierung der Passpunkte eine Punktverwechslung bei der geodätischen Messung vermieden werden.

5 Bildorientierungen und 3-D Auswertung

Die Bestimmung der Bildorientierungen erfolgte durch Mehrbildtriangulation mit der Software PICTRAN B/D (Version 3.0) von der Firma Technet GmbH (siehe Technet, 2002). In dem Programmmodul PICTRAN D wurden alle Bildpunktmessungen durchgeführt. Die innere Orientierung des jeweiligen Bildes wurde bestimmt, in dem die Messungen der jeweiligen Bildecken simuliert und anschließend die Parameter durch eine Affintransformation berechnet wurden. Dieser umständliche Weg musste so gewählt werden, da die Softwareversion 3.0 hauptsächlich für Réseaukameras konzipiert war. In der jetzt verfügbaren neuen Version 4.0 erfolgt der digitale Bildimport und die Bestimmung der inneren Orientierung automatisch. Außerdem können in der neuen Version auch digitale Farbbilder verwendet werden. In der alten Version wurden die aufgenommenen Farbbilder in ein programminternes BT Fileformat als Grauwertbilder umgewandelt.

Zur Verknüpfung der Bilder wurden gut verteilte, natürliche Verknüpfungspunkte und alle natürlichen und signalisierten Passpunkte in den entsprechenden Bildern gemessen. Die Messung der natürlichen Bildpunkte erfolgte manuell, während die signalisierten Passpunkte teilweise halbautomatisch gemessen werden konnten. In der Abb. 6 sind exemplarisch die Bildpunktmessungen am Beispiel des Jenisch Hauses dargestellt.

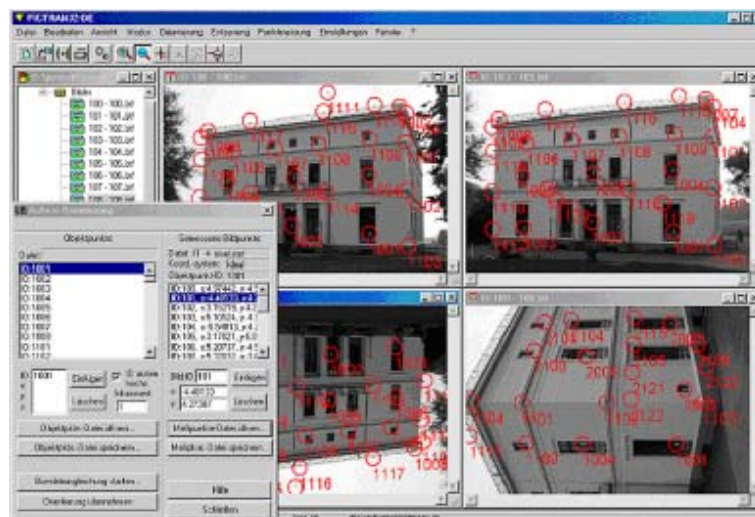


Abb. 6: Bildpunktmessungen in PICTRAN D am Beispiel Jenisch Haus

Die anschließende Bestimmung der Bildorientierungen und die simultane Kalibrierung der Kamera erfolgte durch eine Bündelblockausgleichung mit PICTRAN B. Die Ergebnisse der Bündelblockausgleichung sind in der Tab. 2 zusammengefasst. In der Bündelblockausgleichung wurden simultan folgende 7 Parameter der inneren Orientierung bestimmt: Kamerakonstante c , Lage des Bildhauptpunktes x_0 , y_0 , radialsymmetrische Verzeichnung $A1$, $A2$, Affinität $C1$ und Scherung $C2$.

Tab. 2: Ergebnisse der Bündelblockausgleichung

Projekt	B	PP	OP	BP	σ_0 [μm]	RMS PP XYZ [mm]	Bemerkung
Jenisch Haus	105	31	117	2072	3.8	5.7	Sign. PP
Landdrostei	96	49	121	1516	4.9	14.4	Natürl. PP
Schloss Ahrensburg	37	22	155	780	2.8	1.6	Sign. PP
B		Anzahl Bilder		BP		Anzahl Bildpunkte	
PP		Anzahl Passpunkte		σ_0		Sigma Null aus der Ausgleichung	
OP		Anzahl Objektpunkte		RMS		Root Mean Square der Passpunkte	

In den drei Projekten wurde ein σ_0 a posteriori von besser als $5 \mu\text{m}$ erreicht, was einer Messgenauigkeit von ca. $\frac{1}{2}$ Pixel im Bild entspricht. Die Ergebnisse in Tab. 2 zeigen, dass mit signalisierten Passpunkten eine deutlich höhere Genauigkeit erreicht wurde, da sich die signalisierten Punkte bei der geodätischen und photogrammetrischen Punktmessung wie erwartet eindeutig besser einstellen ließen. Durch die mittlere Standardabweichung von 5.7 mm (Jenisch Haus), 14.4 mm (Drostei) und 1.6 mm (Schloss) wurde die Punktgenauigkeit aus der geodätischen 3-D Netzausgleichung bestätigt. Alle drei Bildverbände weisen eine hohe Verknüpfung der einzelnen Bilder untereinander auf: durchschnittlich 18 bzw. 13 Bildstrahlen pro Punkt beim Jenisch Haus bzw. bei der Drostei. Die schwächste Verknüpfung mit durchschnittlich 5 Strahlen pro Objektpunkt hat der Bildverband vom Schloss Ahrensburg. Durch die niedrige Anzahl von Bildern, Passpunkten und gemessenen Bild- bzw. Objektpunkten erreicht dieser Triangulationsblock mit einem σ_0 a posteriori von $2.8 \mu\text{m}$ ein sehr gutes Ergebnis, das durch eine niedrige Redundanz in der Blockkonfiguration beeinflusst ist.

Tab. 3: Empirische Genauigkeit im Projekt Jenisch Haus

Projekt	PP	KP	σ_0 [μm]	RMS XYZ PP [mm]	Empirische Genauigkeit			Maximalwerte		
					μ_x [mm]	μ_y [mm]	μ_z [mm]	μ_x [mm]	μ_y [mm]	μ_z [mm]
Jenisch	15	16	3.9	7.0	5.2	7.4	6.6	13.9	19.8	11.4
PP		Anzahl Passpunkte		KP		Anzahl Kontrollpunkte		σ_0		
		Sigma Null aus der Ausgleichung								

Die empirische (praktische) Genauigkeit wurde exemplarisch am Projekt Jenisch Haus untersucht. Es wurde eine Variante der Bündelblockausgleichung mit insgesamt 15 Passpunkten in den jeweiligen Fassadenecken berechnet, so dass 16 signalisierte Punkte als Kontrollpunkte dienen konnten. Die Ergebnisse sind in der Tab. 3 zusammengefasst. Das σ_0 a posteriori blieb gleich, während die Standardabweichung (RMS) der Passpunkte sich von 5.7 mm (siehe Tab. 2) auf 7.0 mm erhöhte und die Kontrollpunkte eine empirische Genauigkeit von ca. 6-7mm erreichten. Die Maximalwerte lagen hier allerdings bei fast 2cm, was auf eine schlechte Schnittgeometrie einiger Kontrollpunkte zurückzuführen ist. Nach der Bündelblockausgleichung wurden die Orientierungen der Bilder in dem Header der jeweiligen Bildfiles (BT Fileformat) und die Daten der Kamerakalibrierung im Kamerafile aktualisiert, um mit den aktuellen ausgeglichenen Werten die 3-D Auswertung durchführen zu können.

Die 3-D Auswertung der Gebäude wurde mit PICTRAN D durchgeführt. Die Software erlaubt manuelle Messungen von Punkten, Linien und Polygonen. Aus Gründen der Zuverlässigkeit wurden alle Punkte in mindestens 3 Bildern gemessen. Als Kontrolle wurden die Epipolarlinien als Schnittpunkt eingespiegelt und zusätzlich wurde die Standardabweichung des gemessenen Punktes aus der Berechnung des Vorwärtsschnittes angezeigt. Der Datentransfer ist durch eine einfache Schnittstelle über das Fileformat DXF zu dem CAD-Programm AutoCAD gewährleistet.

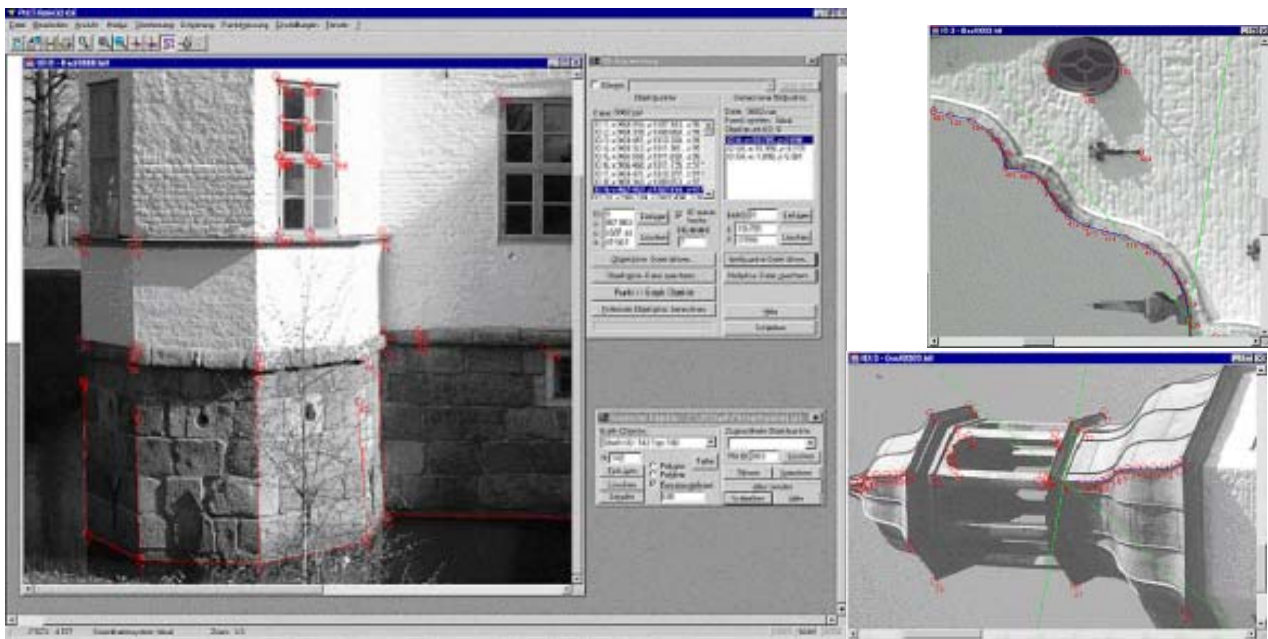


Abb. 7: Bildpunktmessungen in PICTRAN D für die 3-D Auswertung des Ahrensburger Schlosses

6 Innenaufmass mit dem System Vitruvius

Für das Aufmass der Innenräume der Landdrostei in Pinneberg wurde das System Vitruvius (Vitruvius, 2002) eingesetzt, das speziell für die 3-D Erfassung von Innenräume entwickelt wurde. Das Innenaufmass von zwei Etagen erfolgte im Rahmen einer Diplomarbeit an der HAW Hamburg (Gaberle, 2002).



Abb. 8: Innenaufmass mit dem Meßsystem Vitruvius; Raumausschnitt Drostei Pinneberg

Das System besteht aus einem Tachymeter der Leica TCR300-Serie, der mit einem Computer verbunden ist, und einer Mess- und Auswertesoftware, die über einen stiftbasierten Computer (serielle Schnittstelle) gesteuert wird. Das ganze Meßsystem befindet sich auf einem fahrbarem stabilem Stativ (siehe Abb. 8), dass an jedem Aufnahmestandpunkt fixiert wird. Basierend auf einem näherungsweise erstelltem 3D-Volumenmodell erfolgt die Erfassung der Gebäudegeometrie durch reflektorlose Tachymetrie und Handaufmass in freier Kombination. Dabei wird das Meßsystem durch freie Stationierung über Passpunkte orientiert. Die genäherte Gebäudegeometrie wird dynamisch durch Messungen angepasst, wobei Flächen durch drei Punkte gemessen werden und die Geometrie durch Schnittbildung der Flächen entsteht. Fenster, Türen, Nischen, Schrägen, etc. stellen hierbei eigene Objekte (Teilflächen) dar. Die Messung von komplizierten Formen erfolgt durch Polylinien bzw. Einzelpunkte. Für alle Messpunkte und für die erfassten Objekte können individuell Attribute und Eigenschaften vergeben bzw. erstellt werden.

Eine DXF-Schnittstelle dient für den Import und Export der Geometrie (2D und 3D). Aus den erfassten Daten können Grundrisse abgeleitet werden und Schnitten durch beliebige Schnittbildung erstellt werden. Außerdem sind eine vollautomatische Flächenermittlung, der Export des Raumbuchs und die Berechnung von Wand- und Öffnungsflächen möglich. Es können für jedes erfasste Objekt Textkommentare eingegeben und Räume sowie Bauobjekte mit Fotodokumenten verknüpft werden. Durch eine flexible Erfassung von Sachdaten durch frei konfigurierbare

Bauteilattribute bietet sich das System für Aufgaben im Facility Management an. Der Export aller Attribute erfolgt in Excel oder in andere Programme.

Das System Vitruvius ermöglicht eine effiziente und einfache Datenerfassung inkl. Attributierung der Objekte bei der Verwendung von einfachen Formen (Flächen). Die Erfassung von komplexen Formen erfolgt durch Polylinien und erfordert eine externe Editierung der Daten in einem CAD-System. Eine Editierung von Daten und die Modellierung von Dachformen sind in Vitruvius nicht möglich. Das Meßsystem bewegt sich durch freie Stationierung über Passpunkte in einem lokalen Koordinatensystem. Da keine explizite Abspeicherung der Messdaten erfolgt, ist eine Qualitätskontrolle der Messungen über Kontrollmaße nicht möglich. In Abb. 9 ist die Benutzeroberfläche von Vitruvius dargestellt.

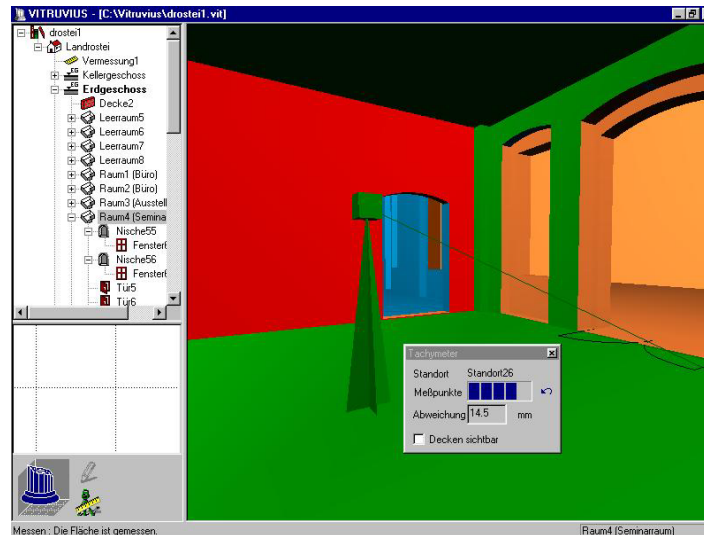


Abb. 9: Benutzeroberfläche des Meßsystems Vitruvius

7 CAD-Bearbeitung und Visualisierung

Die photogrammetrisch und mit Vitruvius erfassten 3-D Gebäudedaten wurden in AutoCAD 2000 überarbeitet. Die Rekonstruktion der einzelnen Gebäudeobjekte erfolgte anhand der Messpunkte, wobei die Objekte der Gebäude durch Zusammenfügen der Linien und Flächen gebildet wurden. Zuerst wurde jeweils der Grundriss konstruiert und anschließend wurden die einzelnen Fassaden aufgesetzt. Durch anschließendes Hinzufügen der speziellen Einzelobjekte wie Türme oder Dächer wurde dann das komplette Volumenmodell erstellt (siehe Abb. 10). Danach wurden die CAD-Daten der Innenräume integriert (siehe Abb. 11). Um das Modell auf geschlossene Flächen zu überprüfen, wurde das 3-D Gebäudemodell in AutoCAD schattiert.

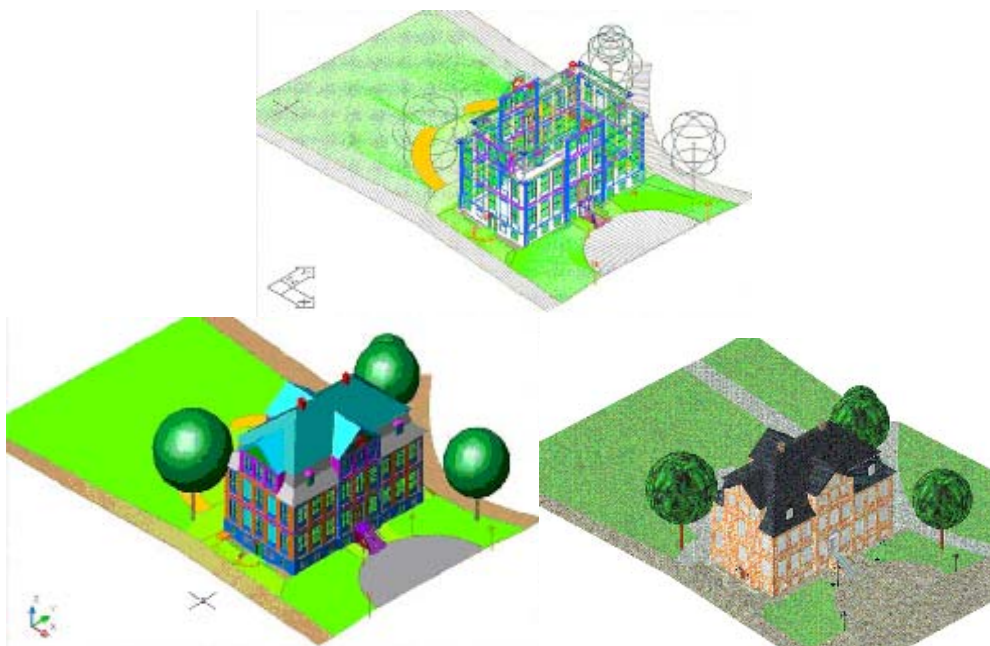


Abb. 10: Datenmodellierung (oben) und Rendering (links) der Landdrostei Pinneberg in AutoCAD (Farbwahl zur Übersichtlichkeit und Trennung der Objektklassen), gerendertes Modell mit Materialzuweisung (rechts)

In AutoCAD wurden die Objektklassen, die in Form von Attributen als entsprechende Grundlagen für das Facility Management dienen können, definiert, so dass die gemessenen 3-D Daten strukturiert und modelliert werden konnten. Folgende Datenmenge (File DWG, Objektklassen) wurden dabei jeweils erstellt: Schloss Ahrensburg (88 MB, 45 Objektklassen), Landdrostei (43 MB, 100 Objektklassen inkl. Innenaufmass), Jenisch Haus (25 MB, 60 Objektklassen).

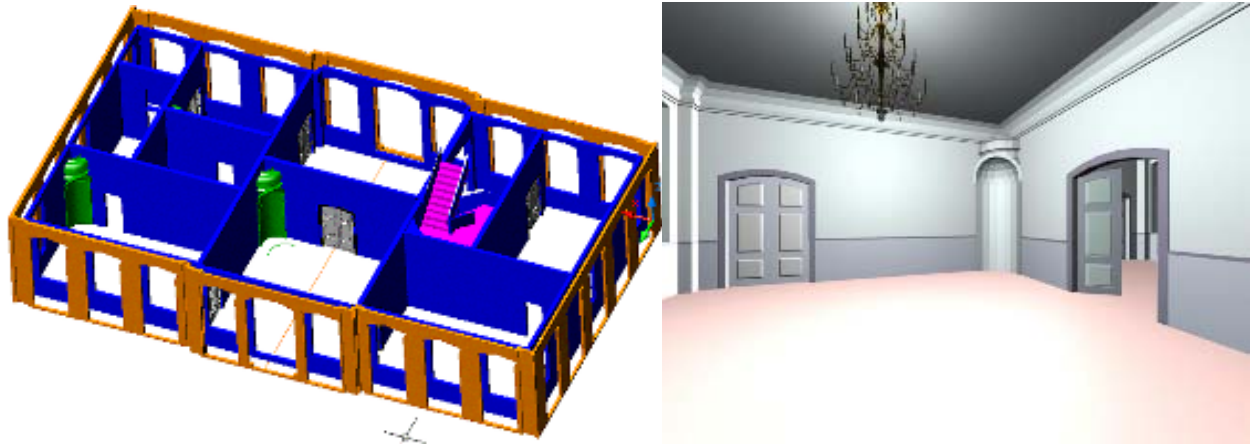


Abb. 11: Datenmodellierung der Innenräume (links) und Rendering eines Raumes (rechts) der Landdrostei Pinneberg in AutoCAD

Mit der Software 3D Studio VIZ R3i wurden perspektivische Ansichten der Gebäude, Animationen und VRML-Files für die Internetdarstellung generiert (siehe Abb. 12). Dabei wurden für die einzelnen Flächen an den Gebäuden fotorealistische Materialien zugewiesen, mit denen realitätsnahe Videoanimationen erstellt wurden. Leider konnten bereits in AutoCAD zugewiesene Materialien von 3D Studio VIZ nicht übernommen werden, was eine neue zeitintensive Materialzuweisung erforderte. Die Software 3D Studio ist ein sehr komplexes Visualisierungstool mit sehr vielen Möglichkeiten, das eine intensive Einarbeitung erfordert. Für die Erstellung von Videosequenzen wurde eine hohe Rechnerleistung benötigt. Zum Beispiel wurde eine Videosequenz von einer Minute (60.33 sec) in dem Format 800 x 600 Pixel mit einer Farbtiefe von 16 bit auf einem Standard-PC (PIII, 800 MHz, 256 MB RAM) in einer Rechenzeit von 22 h erstellt. Dabei wurden insgesamt 1801 Bilder (30 Bilder/sec) und eine Datenmenge von 71 MB generiert.



Abb. 12: Visualisierung der Landdrostei Pinneberg (oben), Schloss Ahrensburg (oben rechts und unten links) und Jenisch Haus (unten, erstellt durch Brun, 2002)

8 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die bearbeiteten Projekte zeigen das hohe Potential der digitalen Architekturphotogrammetrie bei der genauen und detailgetreuen 3-D Objekterfassung und -modellierung. Durch den Einsatz eines "Low-Cost-Systems" (digitale Spiegelreflexkamera, Auswertesoftware PICTRAN, CAD-Software AutoCAD und Visualisierungssoftware 3D Studio VIZ) können bei der Auswertung Objektpunktgenauigkeiten im Zentimeterbereich erreicht werden. Das Softwarepaket PICTRAN ist sehr einfach bedienbar und daher auch sehr geeignet für die Photogrammetrie-Ausbildung in der Hochschule. Die in diesen Projekten verwendete PICTRAN Version 3.0 war eher für die Verarbeitung von gescannten Bildern der Réseaukameras geeignet, doch die bereits erhältliche Version 4.0 wurde besonders für den Einsatz von digitalen Kameras modifiziert, so dass beim Datenfluss erheblich mehr Automation möglich ist.

Die CAD-Bearbeitung zur Erstellung der 3-D Gebäudemodelle mit AutoCAD war im Vergleich zur Orientierung der Bilder und Kalibrierung der Kamera sehr aufwendig, da die jeweiligen Gebäude als 3-D Volumenmodelle erstellt wurden. Für eine strukturierte Modellierung der Gebäude wurden die erfassten Daten in verschiedenen Objektklassen abgelegt, die bei einer entsprechenden Attributierung einen großen Nutzen im Facility Management haben können. Die detaillierten digitalen 3-D Gebäudemodelle werden in Zukunft eine wesentliche Grundlage für viele Virtual Reality Anwendungen darstellen, obwohl auch heute noch große Datenmengen bei Visualisierungen den Rechner an die Grenze der Leistungsfähigkeit bringen. Somit stellt eine Datenreduzierung für eine Internetvisualisierung der Gebäude eine große Herausforderung dar.

Gegenüber dem Handaufmass stellt das System Vitruvius ein effizientes Meßsystem für das Innenaufmass von Gebäuden dar, wobei eine gezielte Vorbereitung der Innenaufnahme erforderlich ist, um entsprechende Näherungsdaten für die Messungen zu erhalten. Eine Nachbearbeitung der durch Vitruvius erfassten Daten erfolgt wiederum in einem CAD-System wie z.B. AutoCAD. Die Schnittstelle ist über das Fileformat DXF gewährleistet. Die Daten können durch Vitruvius entsprechend den Anforderungen für das Facility (Gebäude) Management mit den erforderlichen Zusatzinformationen bereitgestellt werden.

Die 3. Dimension und deren Visualisierung bietet der Geomatik in Zukunft die Chance, die Geodaten besser zu vermarkten und dabei von einer breiten Öffentlichkeit aufmerksamer wahrgenommen zu werden. Digitale 3-D Gebäudemodelle werden neue Anwendungsgebiete (z.B. Tourismus, Navigation) und damit auch neue Kunden erschließen. Die 3-D Objekterfassung: wird in Zukunft je nach Anforderung der Anwendungen durch die digitale Photogrammetrie und/oder durch das terrestrische Laserscanning erfolgen. Durch diese modernen und effizienten Methoden der 3-D Objekterfassung und den damit verbundenen Möglichkeiten der Visualisierung auch im Internet sollte das Interesse an der Erfassung gerade von historischen Gebäuden zunehmen. Durch die Kombination von Innen- und Außenaufmass und deren 3-D Modellierung sind heute schon virtuelle Begehungen von historischen Gebäuden möglich.

Zukünftig werden diese 3-D Gebäudemodelle in den zunehmend entstehenden 3-D Stadtmodellen wie z.B. die DSGK-3D der Stadt Hamburg integriert, um detaillierte virtuelle Stadtlandschaften zu generieren.

9 Literatur

Brun, D. (2002): *Graphic Design And 3d-design For All Use*. www.2D3DbBrun.com, besucht am 28.04.2002.

Gaberle, S. (2002): *3-D Gebäudeinnenaufnahme der Landdrostei Pinneberg mit der Software Vitruvius*. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Mai.

Habich, J., D. Lafrenz, H. Schulze, L. Wide (1998): *Schlösser und Gutsanlagen in Schleswig-Holstein*. L & H Verlag, Hamburg, 237 S.

Krafczyk, Th. (2001): *3-D Erfassung und Visualisierung des Ahrensburger Schlosses durch digitale Architekturphotogrammetrie*. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, September.

Streilein, A., M. Niederöst (1998): *Reconstruction of the Disentis monastery from high resolution still video imagery with object oriented measurement routines*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXII, Part 5, pp. 271-277.

Technet (2002): *Software Development Consultancy Service for Surveying, Photogrammetry and Architecture*. www.technet-gmbh.de, besucht am 02.04.2002.

Vitruvius (2002): *Software für das 3D Architekturaufmass*. www.vitruvius.de, besucht am 02.04.2002.