

## **3D-Erfassung und Visualisierung des Celler Schlosses durch digitale Architekturphotogrammetrie**

Thomas KERSTEN, Britta EILMUS, Maren LINDSTAEDT, Carlos ACEVEDO PARDO

### **Zusammenfassung**

Fassadenplan oder virtuelles 3D-Modell? Für strukturelle und genaue 3D-Erfassungen von Gebäuden werden heute Methoden der digitalen Architekturphotogrammetrie eingesetzt. In diesem Beitrag wird eine praxisnahe Projektbearbeitung durch Methoden der digitalen Architekturphotogrammetrie in Verbindung mit CAD von der 3D-Datenerfassung bis zur Visualisierung am Beispiel des Celler Schlosses vorgestellt. Dafür wurden 273 Bilder mit einer digitalen Spiegelreflexkamera aufgenommen und 47 Passpunkte am Gebäude markiert und geodätisch bestimmt. Zusätzlich wurde der Schlosspark topographisch aufgemessen. Die so gewonnenen Daten wurden in mehreren Schritten weiterverarbeitet, um am Ende das virtuelle Schloss Celle auf dem Computerbildschirm zu erzeugen und dort einen virtuellen Spaziergang machen zu können. Diese Arbeiten wurden im Rahmen einer Diplomarbeit von zwei Studentinnen des Fachbereiches Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg) im Sommer 2002 realisiert.

### **1 Einführung**

Durch die zunehmende Vernetzung in unserer Kommunikationsgesellschaft holen wir uns die virtuelle Realität auch direkt nach Hause in unseren Computer. Um virtuelle Realitäten zu schaffen, müssen dreidimensionale Szenen digital erzeugt werden. Häufig, wie etwa in Computerspielen, sind solche Szenen frei erfunden und haben mit der Realität wenig zu tun. Im Fachbereich Geomatik an der HAW Hamburg werden detaillierte virtuelle Realitäten in 3D von tatsächlich existierenden, (historischen) Gebäuden erstellt, die für Visualisierungen, Simulationen und Planungen in den Bereichen Tourismus, Navigation, Facility Management, Architektur, Denkmalpflege und Stadtplanung verwendet werden können. Voraussetzung einer derartigen Modellierung und Visualisierung ist eine 3D-Erfassung der Objekte z.B. mit geodätischer Messtechnik, terrestrischen Laserscannern oder digitaler Architekturphotogrammetrie.

Die rasanten Entwicklungen in der Computertechnologie, in der opto-elektronischen Sensortechnik und in der graphischen Datenverarbeitung der letzten 10 bis 15 Jahre machen heute den Einsatz digitaler hochauflösender Kameras, leistungsfähiger photogrammetrischer Algorithmen bzw. Software und CAD-Systemen möglich. Ein Beispiel für die moderne Technik und das hohe Potenzial der Architekturphotogrammetrie stellt u.a. die 3D-Rekonstruktion des Klosters Disentis (Kanton Graubünden, Schweiz) aus hochaufgelösten digitalen Stillvideobildern der Spiegelreflexkamera Kodak DCS460 dar (Streilein & Niederröst, 1998). Die Genauigkeit des mit halbautomatischen Meßmethoden erfassten CAD-

Modells beträgt 1.5 cm in den drei Koordinatenachsen. Weitestgehend manuelle Methoden der 3D-Datenerfassung und Modellierung werden für norddeutsche Herrenhäuser in Kersten & Acevedo Pardo (2002) vorgestellt. Auch hier lag die Punktgenauigkeit im Objekt-raum bei ca. 1.0-1.5 cm.

In diesem Beitrag werden die komplette strukturelle 3D-Datenerfassung, Auswertung, Modellierung und Visualisierung des Celler Schlosses durch Methoden der digitalen Architekturphotogrammetrie in Verbindung mit einem CAD-System und entsprechender Visualisierungssoftware beschrieben. Am Anfang werden kurz das Aufnahmeobjekt (Kap. 2) und die digitale Kamera (Kap. 3) vorgestellt. Danach werden die wesentlichen Arbeitsschritte von der Aufnahme des Objektes (Kap. 4) über die 3D-Auswertung und CAD-Rekonstruktion (Kap. 5) des Schlosses bis zur Visualisierung der Daten (Kap. 6) beschrieben. Die Genauigkeit der Auswertung und der Aufwand für die gesamte Projektbearbeitung werden abschließend aufgeführt.

## 2 Das Aufnahmeobjekt

Das 700 Jahre alte Schloss (Abb. 1) ist das bedeutendste Bauwerk und Wahrzeichen der Stadt Celle. Es vereint mehrere Baustile: die Renaissance, das Barock sowie einige gotische Elemente. Das Schloss geht auf eine Anlage aus dem 13. Jahrhundert zurück. Im 14. Jahrhundert wurde die ehemalige Burg zum Fürstensitz umgestaltet und nach Einführung der Reformation ab 1530 zu einem Renaissanceschloss umgebaut. Während der Regierungszeit von Herzog Georg Wilhelm (1665-1705) fanden umfangreiche Um- und Ausbaumaßnahmen statt, die dem Schloss sein bis heute vorherrschendes barockes Erscheinungsbild geben. Heute sind im Schloss u.a. ein Museum und das älteste Barocktheater Europas untergebracht. Außerdem befindet sich im Schloss mit der 1485 geweihten Schlosskapelle die einzige heute noch völlig unversehrt erhaltene frühprotestantische Hofkapelle in Deutschland als Zeugnis norddeutscher Renaissance.



**Abb. 1:** Frontansicht des Celler Schlosses

### 3 Die Kamera

Die photogrammetrische Aufnahme des Celler Schlosses wurde mit der handelsüblichen digitalen Spiegelreflexkamera Fujifilm FinePix S1 Pro (siehe Tab. 1) durchgeführt. Aufgrund der hohen Auflösung und der einfachen Handhabung bieten sich heute solche modernen digitalen Kameras bei photogrammetrischen Bauaufnahmen für Zwecke der Bauwerkserhaltung und Restauration, der kunstgeschichtlichen Analyse und Dokumentation sowie für Visualisierungen an. 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. Die Speicherkarte (1 GB Kapazität) des Typs Microdrive kann maximal 58 farbige Bilder mit der vollen Auflösung im TIFF Format (17 MB) speichern. Die relativ leichte und handliche Kamera kann mit allen handelsüblichen Nikkor F-Bajonett Objektiven eingesetzt werden. Für die Aufnahmen des Celler Schlosses wurde ein 18 mm Objektiv verwendet.

**Tabelle 1:** Technische Daten der Kamera Fujifilm FinePix S1 Pro

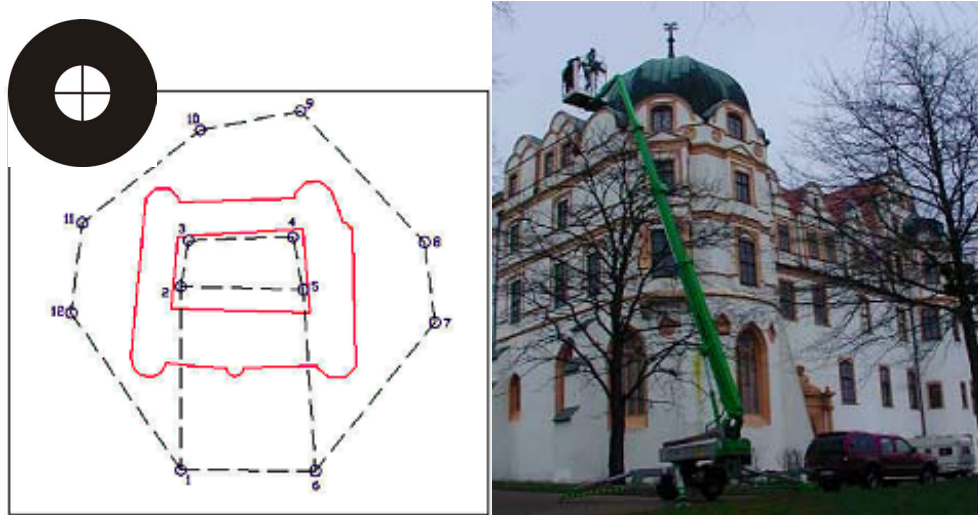
	Kamera	Digitale Spiegelreflexkamera
	CCD	23,3 mm x 15,6 mm Super-CCD
	Pixel	3,4 (phys.), 6 Mio. (interpol.) Pixel
	Bilddateigröße	3040x2016, 2304x1536, 1440x960
	Dateiformat	TIFF-RGB (ca. max. 17 MB/Bild)
	Speichermedium	Microdrive 1GB (max. 58 Bilder)
	Objektiv	Nikon-F-Bajonett/Nikkor 28 mm
	Aufnahme	ca. 1,5 Bilder/Sek., max. 5 Bilder
	Empfindlichkeit	ISO 320, 400, 800, 1600
	Schnittstellen	USB, Video Out
	Gewicht	ca. 820g (ohne Batterien/Objektiv)

### 4 Aufnahme und Auswertung

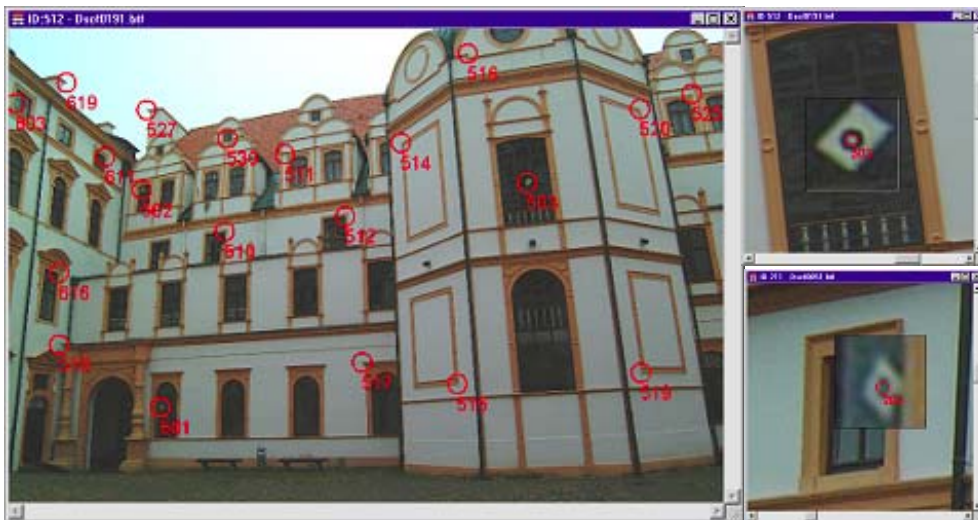
Für die 3D-Erfassung des Schlosses wurden insgesamt 273 Bilder aufgenommen, davon wurden für die spätere dreidimensionale Auswertung lediglich 254 Bilder benutzt. Um das Objekt vollständig aufnehmen zu können, wurde zusätzlich eine fahrbare Arbeitsbühne mit einer maximalen Arbeitshöhe von 18 m (Abb. 2) eingesetzt. Für die Bestimmung der Bildorientierungen wurden koordinierte Passpunkte (X, Y, Z Koordinaten) benötigt, welche in den Bildern erkennbar sind. Dafür mussten entsprechende Signale vor der eigentlichen Aufnahme am Gebäude verteilt angebracht werden. Insgesamt wurden 47 Passpunkte an Fenstern befestigt (siehe Abb. 2), welche später in einem geodätischen 3D-Netz aufgenommen und deren Koordinaten mit einer Genauigkeit von 2 mm bestimmt wurden.

Vor der eigentlichen 3D-Auswertung wurden die digitalen Bilder in einem Bildverband durch Punktmessungen verknüpft und orientiert. Abb. 3 zeigt exemplarisch gemessene Bildpunkte und Passpunktmessungen mit dem Programm PICTRAN der Firma Technet GmbH (Technet, 2002). Insgesamt wurden im Durchschnitt 14 Bildpunkte pro Bild und

jeder Objektpunkt in 14 Bildern gemessen, wodurch eine sehr gute Verknüpfung des Bildverbandes und eine zuverlässige Punktbestimmung gewährleistet waren. Die Bildorientierungen wurden simultan mit der Kamerakalibrierung in einer Bündelblockausgleichung bestimmt. Durch die Kalibrierung der Kamera wurden u.a. systematische Fehler durch die hohe Objektivverzeichnung in der weiteren Auswertung kompensiert. Die Ergebnisse der Bündelblockausgleichung sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Alle Bildpunkte konnten auf ein 1/2 Pixel genau gemessen werden.



**Abb. 2:** Passpunktsignal (links oben), 3D-Netzkonfiguration für die Passpunktbestimmung, mobile Arbeitsbühne für die photogrammetrische Aufnahme (rechts)



**Abb. 3:** Gemessene Bildpunkte (links) und Passpunkte (rechts) in PICTRAN

**Tabelle 2:** Ergebnisse der Bündelblockausgleichung vom Bildverband Schloss Celle

Projekt	B	PP	OP	BP	$\sigma_0$ [ $\mu\text{m}$ ]	RMS PP XYZ [mm]	Bemerkung
Schloss Celle	254	49	247	3530	4.1	1.6	Sign. PP
B .....		Anzahl Bilder		BP .....		Anzahl Bildpunkte	
PP .....		Anzahl Passpunkte		$\sigma_0$ .....		Sigma Null aus der Ausgleichung	
OP .....		Anzahl Objektpunkte		RMS .....		Root Mean Square der Passpunkte	

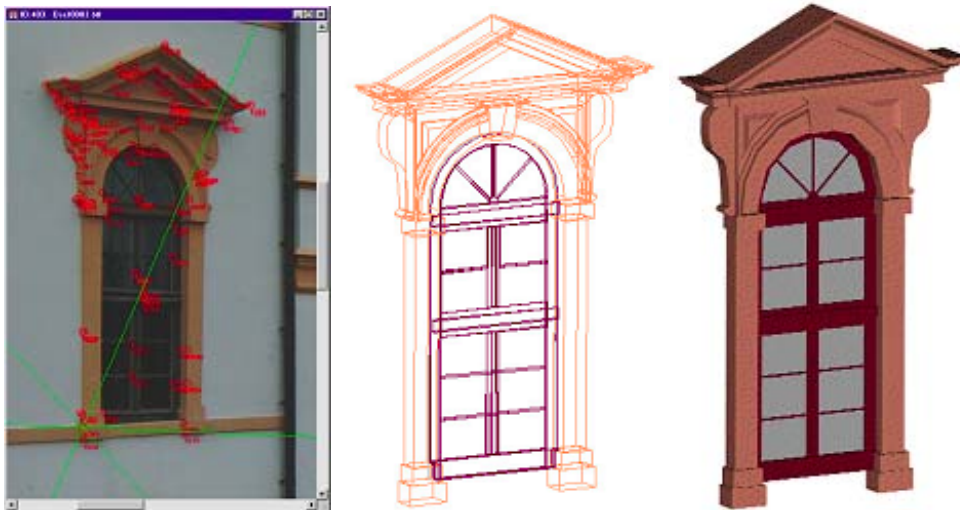
## 5 3D-Auswertung und CAD-Rekonstruktion des Objektes

Für die CAD-Konstruktion des Schlosses wurden am PC mit dem Programm PICTRAN 3D-Koordinaten durch entsprechende Punktmessungen in den verschiedenen, orientierten Bildern digitalisiert. Es wurde dabei darauf geachtet, dass die für die Konstruktion benötigten Punkte in mindestens drei Bildern gemessen wurden. Somit wurden die Punkte mit einer hohen Zuverlässigkeit und mit einer Genauigkeit jeweils von besser als 1 cm bestimmt. Die digitalisierten Punkte wurden anschließend über eine DXF-Schnittstelle zur weiteren Bearbeitung in AutoCAD eingelesen. Die Datenerfassung und die detaillierte 3D-Rekonstruktion des gesamten Celler Schlosses erfolgten stufenweise über die Objekte Grundriss, Fassadenwände, Türme, Dächer, Fenster und Eingänge. Aufgrund der Komplexität und historischen Bauweise mussten einige Gebäudeteile generalisiert werden. So wurden z. B. die gekrümmten Mauern der Hauptfassaden, die eine Abweichung von bis zu 40 cm aus der Lotlinie aufwiesen, begradigt und die Eingangstore ohne Wappen vereinfacht konstruiert (siehe Abb. 4).



**Abb. 4:** Eingangstor des Celler Schlosses als Photoausschnitt (links) und als CAD-Konstruktion (rechts)

In Abb. 5 ist die Messung, Rekonstruktion und Visualisierung eines Fensters dargestellt. Von den ca. 390 Fenstern im Schloss wurden 45 verschiedene Fenstertypen ausgewertet, so dass die jeweiligen Fensterkopien an ihre entsprechenden Positionen in den Fassaden gesetzt werden konnten. Zum Schluss wurden die einzelnen Objekte zu einem gesamten Gebäudemodell zusammengesetzt. Als Ergebnis der 3D-Konstruktion entsteht ein Volumenmodell, das in Abb. 6 als Drahtmodell und als gerendertes (schattiertes) Modell dargestellt ist.



**Abb. 5:** Messung, Rekonstruktion und Visualisierung eines Fensters

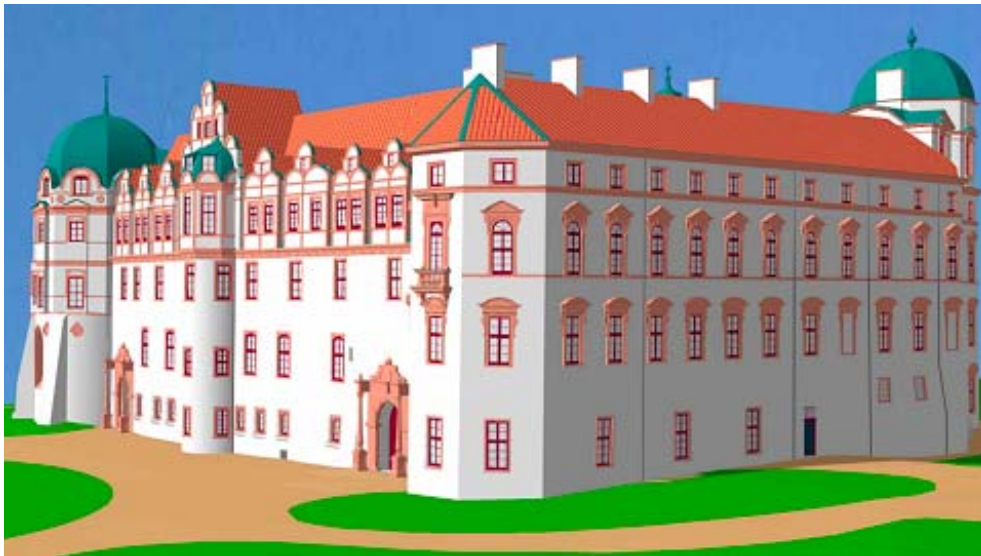
Für eine spätere anschaulichere Darstellung des Schlosses wurde das Gelände der näheren Umgebung mit einem Tachymeter von Leica topographisch aufgenommen. Mit dem Programm AutoCAD Land Development wurde daraus ein digitales Geländemodell (DGM) erzeugt, welches in das 3D-Modell des Schlosses integriert wurde.



**Abb. 6:** 3D-Volumenkörper des Celler Schlosses als Drahtmodell (links) und gerendertes Modell (rechts)

## 6 Visualisierung

Um die Qualität der Rekonstruktion anhand der geschlossenen Gebäudeflächen zu überprüfen, wurde das 3D-Gebäudemodell mit AutoCAD gerendert. Aufgrund der großen Datenmenge von ca. 260 MB für das gesamte Volumenmodell und der integrierten Daten der Topographie führte das Rendern zu langen Berechnungszeiten. Es zeigte sich, dass AutoCAD mit einem Rechner, der zwei Parallelprozessoren von 2,4 GHz, einen internen Rechenpeicher von 1 GB (RAM) und eine schnelle Graphikkarte (nVidia Quadro4 700 XGL) aufweist, für die Visualisierung von großen Datenmengen nicht geeignet ist. So dauerte die Berechnung und Darstellung von einer beliebig perspektivischen Ansicht des Schlosses jeweils mindestens 15 Minuten. Zur photorealistischen Visualisierung wurde den Flächen in AutoCAD entsprechendes Material als Textur zugewiesen. Dazu wurden auf die Dachflächen entsprechende Dachziegel-Texturen gelegt. Um die Beleuchtung der Szene realistischer darzustellen, wurden Lichtquellen definiert und Schatten berechnet. Die Abb. 7 und 8 zeigen verschiedene perspektivische Ansichten des Celler Schlosses, die mit AutoCAD erstellt wurden.



**Abb. 7:** Visualisierung mit AutoCAD: Perspektivische Ansicht des Celler Schlosses

Die Daten können über verschiedene Schnittstellen von AutoCAD in diverse Visualisierungsprogramme wie z.B. durch das Format 3ds in 3D Studio VIZ exportiert werden. 3D Studio ist ein sehr komplexes Werkzeug mit sehr vielen Visualisierungsmöglichkeiten. Mit dieser Software können perspektivische Ansichten, Videoanimationen und VRML-Files für die Internetdarstellung generiert werden. Dabei werden den einzelnen Flächen des Gebäudes fotorealistische Materialien zugewiesen, mit denen realitätsnahe Videoanimationen erstellt werden. Leider können bereits in AutoCAD zugewiesene Materialien von 3D Studio VIZ nicht übernommen werden, wodurch eine erneute zeitintensive Materialzuweisung notwendig ist. Für die Erstellung von Videosequenzen wird auch hier eine hohe Rechnerleistung benötigt. Zum Beispiel wurden zwei Videosequenzen von ca. einer Minute (63.33

sec) und einer halben Minute (30.33 sec) in der Auflösung 1024 x 778 Pixel mit einer Farbtiefe von 24 bit auf dem oben erwähnten Computer in einer Rechenzeit von ca. 11 h bzw. 5 h erstellt. Dabei wurden insgesamt 1901 bzw. 901 Bilder und eine Datenmenge von 244 MB bzw. 120 MB generiert. Für die Darstellung im Internet müssen die Bildgröße und die Datenmengen dieser Videosequenzen jedoch erheblich reduziert werden.



**Abb. 8:** Diverse perspektivische Ansichten des Celler Schlosses, erstellt mit AutoCAD



## 7 Fazit und Ausblick

Mit diesem Projekt konnte gezeigt werden, dass sich handelsübliche digitale Spiegelreflexkameras für eine detaillierte 3D-Erfassung von großen komplexen historischen Gebäuden eignen. Somit stellt die Architekturphotogrammetrie heute durch den digitalen Datenfluss eine effiziente Alternative zur klassischen Bauaufnahme dar. Die Auswertegenauigkeit lag hier bei 1 cm, was für die meisten Anwendungen in der Bauwerksaufnahme ausreicht. Voraussetzung für solche Genauigkeiten ist allerdings eine Kamerakalibrierung, die simultan mit der Orientierung der Bilder im gesamten Bildverband erfolgt.

Ca. 54% der aufgewendeten Zeit beanspruchte die CAD-Bearbeitung der digitalisierten 3D-Punkte, während die geodätische und photogrammetrische Aufnahme als eigentliche Feldarbeit 6% und die Auswertung nur 28% des Zeitaufwandes ausmachten. Für die Visualisierung mit AutoCAD und 3D Studio wurden ca. 12% der Zeit im Rahmen dieses Projektes aufgewendet, wobei dieser Bearbeitungsschritt allerdings erst am Anfang steht. Insgesamt lag der Zeitaufwand für die Projektbearbeitung bei ca. 1350 Stunden. Daraus lassen sich Kosten von ca. € 80000,00 für die Erstellung des virtuellen Celler Schlosses abschätzen.

Bei der Projektbearbeitung war man schnell an die Leistungskapazität der vorhandenen Rechner gestoßen, da das 3D-Volumenmodell als AutoCAD-File ca. 260 MB Speicherplatz benötigte, was die Geschwindigkeit gerade bei der CAD-Bearbeitung erheblich reduzierte. Entsprechend aufgerüstete Computer mit hoher Rechnerleistung von Dual-Prozessoren, mehreren GB Arbeitsspeicher (RAM) und einer leistungsfähigen 3D-Graphikkarte sind heute unbedingte Voraussetzung für die CAD-Bearbeitung und Visualisierung von großen Datenvolumen.

Auch in weiteren Projekten, wie dem der Landdrostei Pinneberg, dem Jenisch Haus (Kersten & Acevedo Pardo, 2002), dem Gossler Haus in Hamburg-Blankenese (Müller, 2003) sowie dem Schloss Ahrensburg (Krafczyk, 2001, Kersten & Acevedo Pardo, 2003) konnte das hohe Potenzial der digitalen Architekturphotogrammetrie bei der genauen und detailgetreuen 3D-Gebäudeerfassung und -rekonstruktion aufgezeigt werden. Solche Projekte werden an der HAW Hamburg für die Ausbildung angehender Geomatikingenieure sehr gerne durchgeführt, da eine vollständige Projektbearbeitung innerhalb einer Lehrveranstaltung oder im Rahmen einer Diplomarbeit erfolgen kann. Analog zu diesen Projekten ist zur Zeit die vollständige 3D-Rekonstruktion des Glücksburger Schlosses aus digitalen Bildern im Rahmen einer Diplomarbeit in Bearbeitung.

Terrestrische Laserscanner werden zunehmend als Alternative zur Photogrammetrie bei der 3D-Gebäudeerfassung eingesetzt. Doch aus den effizient aufgenommenen 3D-Punktwolken müssen heute noch durch weitestgehend manuelle Arbeiten strukturelle Daten (CAD-Modelle) erzeugt werden. Entsprechende Auswertesoftware mit automatischer Generierung von detaillierten Gebäudemodellen ist noch nicht in Sicht. Vielleicht bietet in Zukunft die Kombination von Laserscanning und Photogrammetrie Lösungen an, um mit halbautomatischen oder sogar automatischen Methoden 3D-Gebäudemodelle effizient zu erstellen.

Detaillierte digitale 3D-Gebäudemodelle werden in Zukunft eine wesentliche Grundlage für viele Virtual Reality Anwendungen darstellen, wobei die Genauigkeit und der Detaillie-

rungsgrad von der jeweiligen Anwendung abhängen. Es werden neue Anwendungsgebiete (z.B. Tourismus, Navigation, Computerspiele, etc.) und damit neue Kunden/Zielgruppen erschlossen. Durch die modernen und effizienten Methoden der 3D-Gebäudeerfassung und den damit verbundenen Möglichkeiten für die Visualisierung auch im Internet wird das Interesse an der Erfassung von historischen Gebäuden zunehmen. Durch die Kombination von Innen- und Außenaufmass und deren 3D-Modellierung sind heute virtuelle Rundflüge oder Spaziergänge um bzw. in historischen Gebäuden möglich.

## 8 Literatur

- Eilmus, B. & M. Lindstaedt (2002): *3D-Erfassung und Visualisierung des Celler Schlosses durch digitale Architekturphotogrammetrie*. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, August.
- Kersten, Th. & C. Acevedo Pardo (2002): *3D-Objektaufnahme von historischen Gebäuden durch digitale Architekturphotogrammetrie für Visualisierungsaufgaben und für Facility Management*. Photogrammetrie und Laserscanning: Anwendung für As-Built-Dokumentation und Facility Management, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 42-56.
- Kersten, Th. & C. Acevedo Pardo (2003): *Wie kommt das Ahrensburger Schloss in den Computer? 3D-Gebäudeerfassung und Visualisierung durch digitale Architekturphotogrammetrie*. DenkMal! Schleswig-Holstein, Zeitschrift für Denkmalpflege in Schleswig-Holstein, Jahrgang 10, Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co., Heide.
- Kraczyk, Th. (2001): *3D-Erfassung und Visualisierung des Ahrensburger Schlosses durch digitale Architekturphotogrammetrie*. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, September.
- Müller, T. (2003): *3D-Erfassung und Visualisierung des Gossler Hauses in Hamburg-Blankenese durch digitale Architekturphotogrammetrie*. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, März.
- 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](http://www.technet-gmbh.de), besucht am 02.04.2002.

Adressen der Autoren:

Thomas Kersten, Britta Eilmus, Maren Lindstaedt, Carlos Acevedo Pardo  
Fachbereich Geomatik  
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hebebrandstrasse 1  
22297 Hamburg  
E-Mail: [t.kersten@rzcn.haw-hamburg.de](mailto:t.kersten@rzcn.haw-hamburg.de)  
[b.eilmus@web.de](mailto:b.eilmus@web.de)  
[maren-lindstaedt@hamburg.de](mailto:maren-lindstaedt@hamburg.de)  
[c.acevedo@rzcn.haw-hamburg.de](mailto:c.acevedo@rzcn.haw-hamburg.de)