

Wie kommt das Ahrensburger Schloss in den Computer? - 3D-Gebäudeerfassung und Visualisierung durch digitale Photogrammetrie

Thomas KERSTEN, Carlos ACEVEDO PARDO

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fachbereich Geomatik, Hebebrandstrasse 1, D - 22297 Hamburg
EMail [t.kersten, c.acevedo]@rzcw.haw-hamburg.de
<http://www.haw-hamburg.de/geomatik>

Durch die zunehmende Vernetzung in unserer Kommunikationsgesellschaft holen wir uns die virtuelle Realität auch 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 Hochschule für Angewandte Wissenschaften 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 Photogrammetrie.

Eine vollständige und praxisnahe Projektbearbeitung von der 3D-Datenerfassung bis zur Visualisierung wurde durch Diplomarbeiten im Fachbereich Geomatik am Beispiel des Ahrensburger Schlosses durchgeführt. 57 genau geplante Bilder wurden mit einer digitalen Kamera aufgenommen, 22 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 Ahrensburg auf dem Computerbildschirm zu erzeugen und dort einen virtuellen Spaziergang machen zu können.

Architekturphotogrammetrie

Unter Photogrammetrie versteht man allgemein Methoden, aus einem oder mehreren Bildern eines beliebigen Objektes indirekt dessen Form und Lage durch Bildmessungen sowie dessen inhaltliche Beschreibung durch Bildinterpretation zu gewinnen. Photogrammetrische Verfahren können also grundsätzlich in allen Anwendungsbereichen eingesetzt werden, in denen ein Messobjekt photographisch abgebildet und ausgewertet werden kann. Primäres Ziel einer photogrammetrischen Messung ist die exakte dreidimensionale, geometrische Rekonstruktion des Objektes, wobei das Objekt in digitaler (z.B. CAD) oder graphischer Form (z.B. Pläne) modelliert werden kann (Luhmann, 2000). Die Architekturphotogrammetrie ist ein Teilbereich der Photogrammetrie. Sie erfasst Objekte (i.d.R. Gebäude) für Anwendungen in der Architektur, Denkmalpflege und Archäologie. Im klassischen Sinn dient eine photogrammetrische Bauaufnahme der Bauwerkserhaltung und Restauration sowie der kunstgeschichtlichen Analyse und der Dokumentation. Gegenüber der konventionellen Bauaufnahme ergeben sich dabei folgende Vorteile (Luhmann, 2000): berührungslose Messung ohne Einrüstung der Gebäude, geringe Unfallgefahr, kurze Aufnahmezeiten am Objekt, hohe Genauigkeit, 3D-Koordinatenbestimmung, Bestimmung von Freiformlinien (Konturen) und Freiformflächen (Ornamente), Kombination von Strichdarstellung und entzerrten Originalbildern (Bildpläne) sowie die nachträgliche Objekterfassung aus archivierten Messbildern oder historischen Aufnahmen.

Bedingt durch die Entwicklungen in der Halbleiter- und Sensortechnologie und durch die immer kostengünstiger und leistungsfähiger werdenden Computer hat sich die Architekturphotogrammetrie in den letzten Jahren in Richtung einer vollen digitalen Technik entwickelt. Seit Beginn der 90er Jahre existieren Digitalkameras mit höherer Auflösung, die ohne analoge Signalverarbeitung direkt ein digitales Bild liefern und hinsichtlich der Auflösung mit den analogen filmbasierten 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 die Denkmalpflege durch analoge und analytische Photogrammetrie erstellt wurden, erfolgt die vollständige 3D-Gebäudeerfassung und Rekonstruktion heute zunehmend durch Methoden der digitalen Architekturphotogrammetrie.

Die Nachfrage nach 3D-Gebäudemodellen nimmt durch neue Anwendungsgebiete, die durch eine effiziente Bearbeitung und Visualisierung am Computer in Verbindung mit Zusatzinformationen unterstützt werden, zu: Gebäudemanagement oder Facility Management, Gebäude-Informationssysteme u. a. für die Einsatzplanung von Rettungsdiensten (Feuerwehr, Notarzt, Polizei, etc.), für den Objektschutz sowie für Expeditionen und 3D-Stadtpläne für den Tourismus (im Internet oder auf CD-ROM). Sowohl die Genauigkeit, als auch der Detaillierungsgrad hängen dabei von der jeweiligen Anwendung ab. Zusätzlich bieten 3D-Gebäudemodelle auch den eher klassischen Anwendungen der Architekturphotogrammetrie neue Möglichkeiten der virtuellen Planung und Visualisierung.

Aufnahmeobjekt Schloss Ahrensburg

Um die Verfahren und die digitale Technik der Architekturphotogrammetrie an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg zu testen, wurde das Renaissance-Wasserschloss in Ahrensburg als ein erstes Aufnahmeobjekt ausgewählt (siehe Abb. 1). Die Kriterien für die Auswahl dieses historischen Bauwerks waren u.a. die Attraktivität und die geringe Komplexität des Gebäudes, die relativ freien Sichten für die Bildaufnahme (keine Hindernisse) und die vorhandene Aufnahmegenehmigung.



Abb. 1: Schloss Ahrensburg: Vorderseite (links) und Rückseite (rechts)

Das Schloss in Ahrensburg wurde in der Renaissance von 1570-1585 von Peter Rantzau erbaut und dient seit 1938 als Museum der schleswig-holsteinischen Herrenhauskultur (Habich et al., 1998). Die Familie Rantzau lebte dort über sieben Generationen, bis 1759 Graf Heinrich Carl Schimmelmann das heruntergekommene Schloss kaufte. Er ließ das Innere des Schlosses im Stil der damaligen Zeit umgestalten und schuf das Dorf Waldenhorn (heute Ahrensburg) als Klein-Residenz. Die Schlossanlage ist seit dieser Zeit im Kern erhalten geblieben. Im Laufe der Jahre sammelten sich Mobiliar, Kunst- und Gebrauchsgegenstände aller Art, Öfen, französische und englische Möbel, Porzellan-, große Gemälde- und Portraitsammlungen an, die seit 1938 im Schlossmuseum der Öffentlichkeit zugänglich sind. Das Schloss befindet sich heute im Besitz des Bundeslandes Schleswig-Holstein und wird vom „Verein Schloss Ahrensburg e.V.“ verwaltet. Heute gehören Führungen in verschiedenen Sprachen, Trauungen, Ausstellungen und Feierlichkeiten zum Angebot des Museums.

Das Gebäude wurde im Rahmen einer Diplomarbeit im April 2001 an einem Tag geodätisch und photogrammetrisch aufgenommen (Krafczyk, 2001). Im Januar/Februar 2002 wurde dann der Schlosspark im Rahmen einer weiteren Diplomarbeit an sechs Tagen topographisch aufgemessen (Kuppe, 2002).

Digitale Kamera

Für die photogrammetrischen Bildaufnahmen 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 mm x 15,6 mm Super-CCD
	Pixel	3,4 Mio. (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 28mm
	Aufnahme	ca. 1,5 Bilder/sec, 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 jeweils 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.

Photogrammetrische Bildaufnahme und Passpunktbestimmung

Für die 3D-Erfassung und Rekonstruktion des Schlosses wurden mit der digitalen Spiegelreflexkamera 57 Bilder aufgenommen, von denen für die spätere dreidimensionale Auswertung lediglich 37 Bilder verwendet wurden. Das Schloss wurde rundherum aus Augenhöhe mit einem Bildmaßstab von ca. 1: 1000 aufgenommen. In Abb. 2 sind die 31 Aufnahmestandorte für den Sockel- (grün) und den Wand- und Dachbereich (rot) dokumentiert. Die photogrammetrische Bildaufnahme beinhaltet auch Aufnahmen, die auf den verschiedenen Standpunkten verkantet und gedreht wurden, um eine spätere simultane Kalibrierung der Kamera (Objektiv Nikkor 28mm) in der Auswertung zu gewährleisten. Durch die Kalibrierung der Kamera werden systematische Bildfehler wie z.B. Objektivverzeichnung kompensiert. Durch folgende Maßnahmen wurde garantiert, dass die Kameraeinstellungen bei der Bildaufnahme stabil bleiben: Abschaltung des Autofokus, Fokussierung des Objektivs auf Unendlich, Einstellung der Blendenautomatik mit einer vorgewählten Blendenzahl und einer entsprechenden Lichtempfindlichkeit. Die aufgenommenen Bilder werden in der Kamera auf der IBM Microdrive gespeichert und später über das PCMCIA-Port auf das Notebook übertragen.

Vor der eigentlichen 3D-Auswertung müssen die digitalen Bilder in einem Bildverband orientiert werden. Dazu werden koordinierte Passpunkte (X-, Y-, Z-Koordinaten) benötigt, welche in den Bildern eindeutig erkennbar sein müssen. Dafür eignen sich Signalisierungen, die vor der Bildaufnahme am Gebäude gut verteilt angebracht werden. In diesem Fall wurden 10 cm große Zielmarken aus Papier (siehe Abb. 3) verwendet, die mit einem CAD-Programm konstruiert und auf einem Laserdrucker ausgedruckt wurden. Insgesamt wurden 22 Signalisierungen in der Nähe von Fenstern an den vier Fassaden befestigt, anschließend mit einem Leica Tachymeter eingemessen und durch eine geodätische 3D-Netzberechnung bestimmt. Zusätzlich wurden 10 markante Punkte verteilt über die vier Fassaden als Passpunkte eingemessen und die 3D-Koordinaten bestimmt. Die Genauigkeit der 32 Passpunkte lag bei 2mm. Die jeweilige Passpunktverteilung auf der Front- und einer Seitenfassade des Ahrensburger Schlosses ist exemplarisch in Abb. 4 dargestellt.

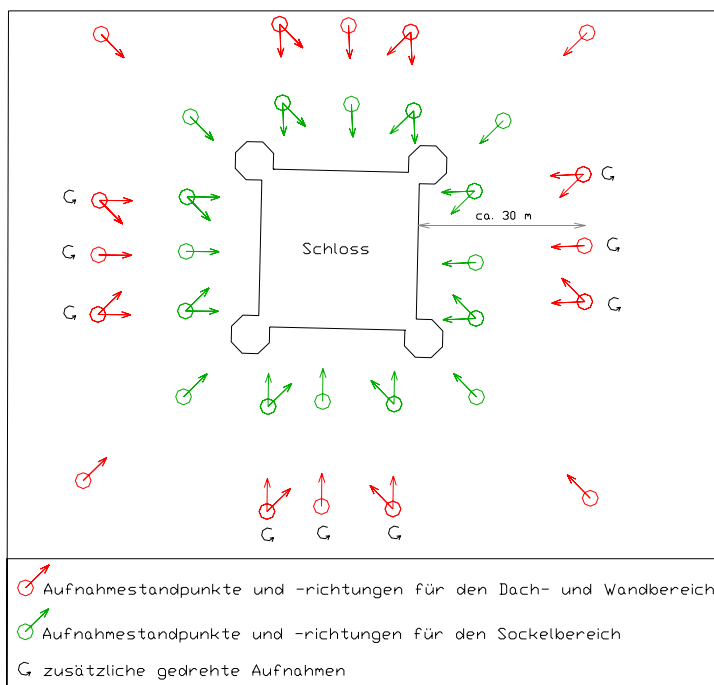


Abb. 2: Bildaufnahmekonfiguration Schloss Ahrensburg

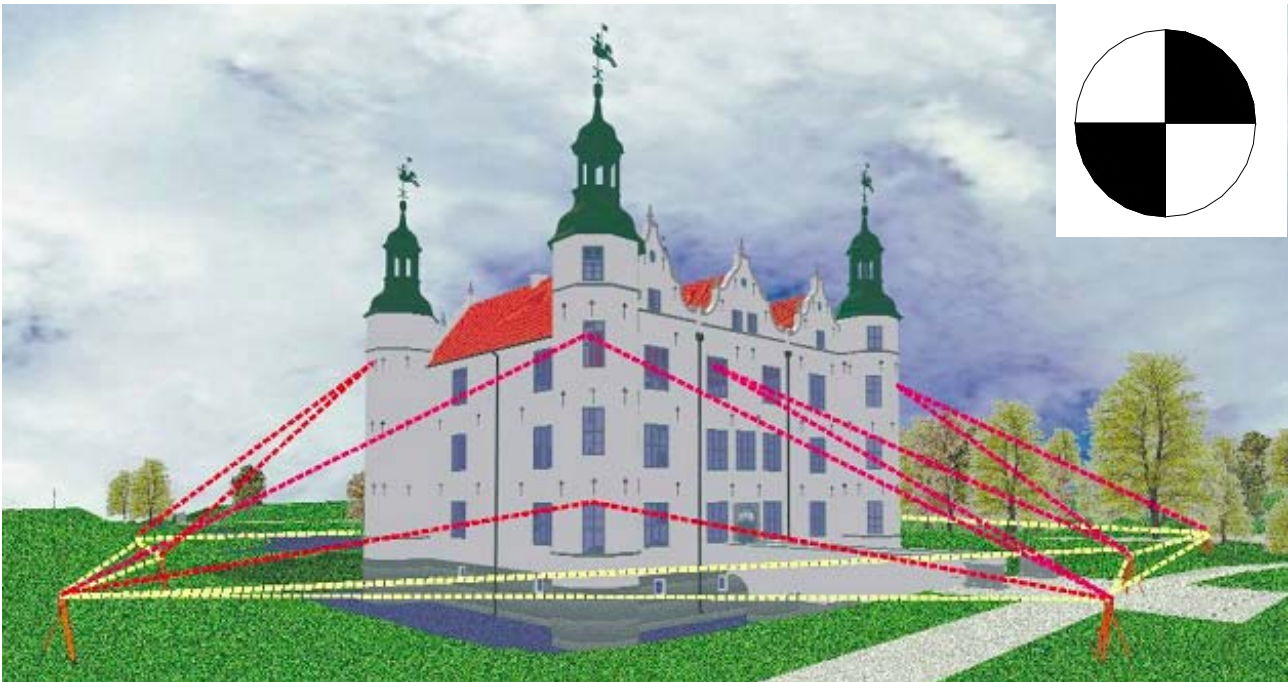


Abb. 3: Netzkonfiguration zur Passpunktbestimmung beim Ahrensburger Schloss und Passpunktsignal (rechts oben)

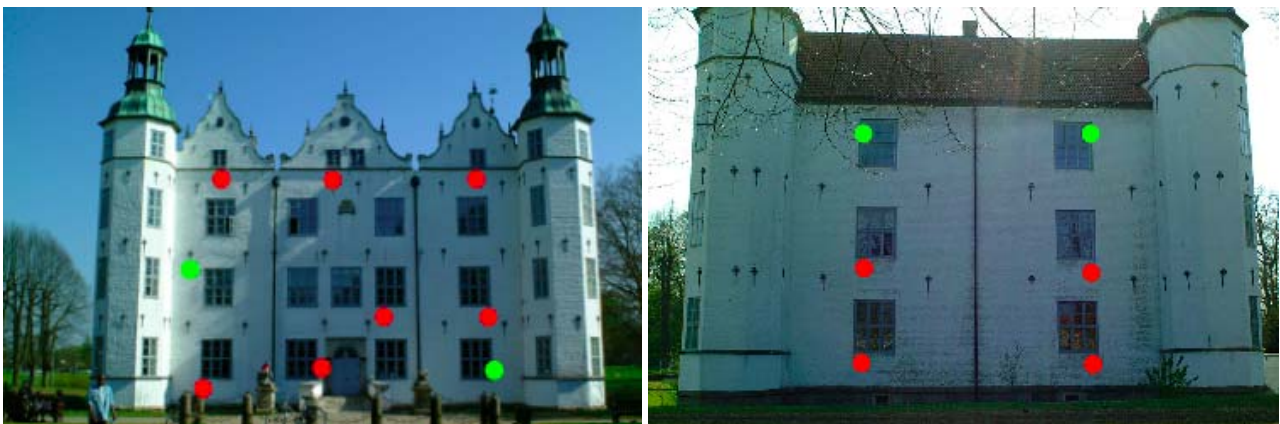


Abb. 4: Passpunktverteilung auf der Front- und Seitenfassade des Ahrensburger Schlosses (Rot = Signal, Grün = markanter Fassadenpunkt)

Photogrammetrische Auswertung

Die rechnerische Bestimmung der Bildorientierungen ist Voraussetzung für die weitere 3D-Auswertung. Dazu wurden am Computer die Passpunkte und weitere sogenannte Verknüpfungspunkte in den digitalen Bildern manuell gemessen. Die Abb. 5 zeigt exemplarisch die Bildpunktmessungen mit der Software PICTRAN von der Firma Technet GmbH. Durch die Punktmessungen wurden die einzelnen Bilder zu einem Rundum-Bildverband verknüpft. In einem anschließenden Rechenprozess wurden sowohl die Parameter der Bildorientierungen des gesamten Bildverbandes, als auch die Parameter der Kamerakalibrierung simultan bestimmt. Der Bezug zu dem lokalen Koordinatensystem ist dabei über die Passpunktkoordinaten hergestellt worden. Die Genauigkeit lag für die Bildpunktmessungen bei ca. 3 Mikrometer, was bei einem Bildmaßstab von 1: 1000 einer Punktgenauigkeit von ca. 3 mm am Objekt entspricht.

Die 3D-Auswertung des Gebäudes erfolgte mit der Software PICTRAN-D durch manuelle Messungen von Punkten, Linien und Polygonen (siehe Abb. 6a, 6b) in den verschiedenen orientierten Bildern. Aus Gründen der Zuverlässigkeit wurden alle Punkte in mindestens drei verschiedenen Bildern gemessen. Die digitalisierten Punkte wurden anschließend über eine DXF-Schnittstelle zur weiteren Bearbeitung in das CAD-Bearbeitungsprogramm AutoCAD eingelesen. Mit AutoCAD erfolgte die detaillierte 3D-Konstruktion des gesamten Schlosses stufenweise (Abb. 8), wobei einige Gebäudeteile aufgrund der Komplexität und historischen Bauweise generalisiert werden mussten.

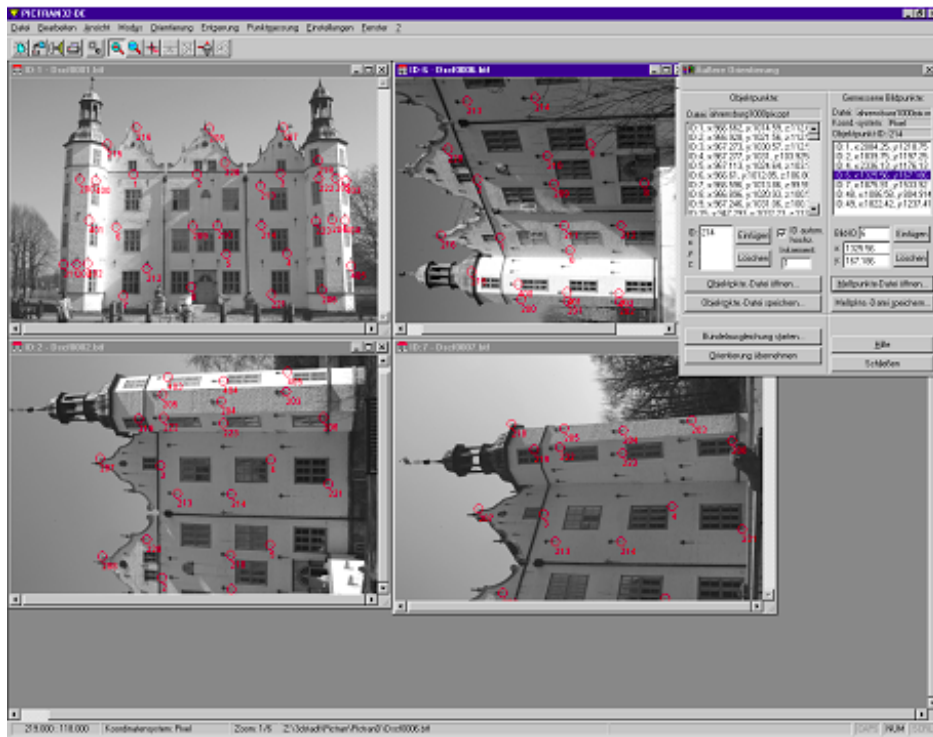


Abb. 5: Bildpunktmessungen für die Bestimmung der Bildorientierungen in vier Messbildern mit PICTRAN-D

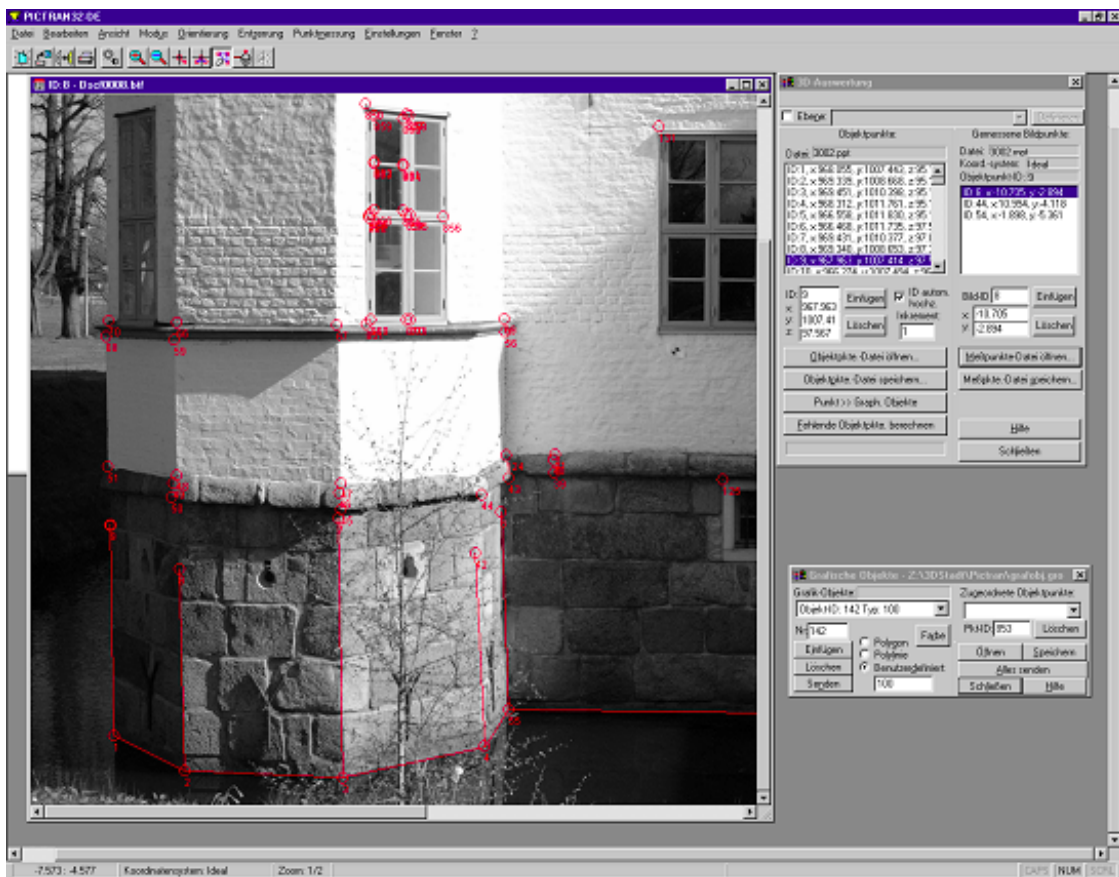


Abb. 6a: Bildpunktmessungen der Fassade und des Sockels des Ahrensburger Schlosses in PICTRAN-D

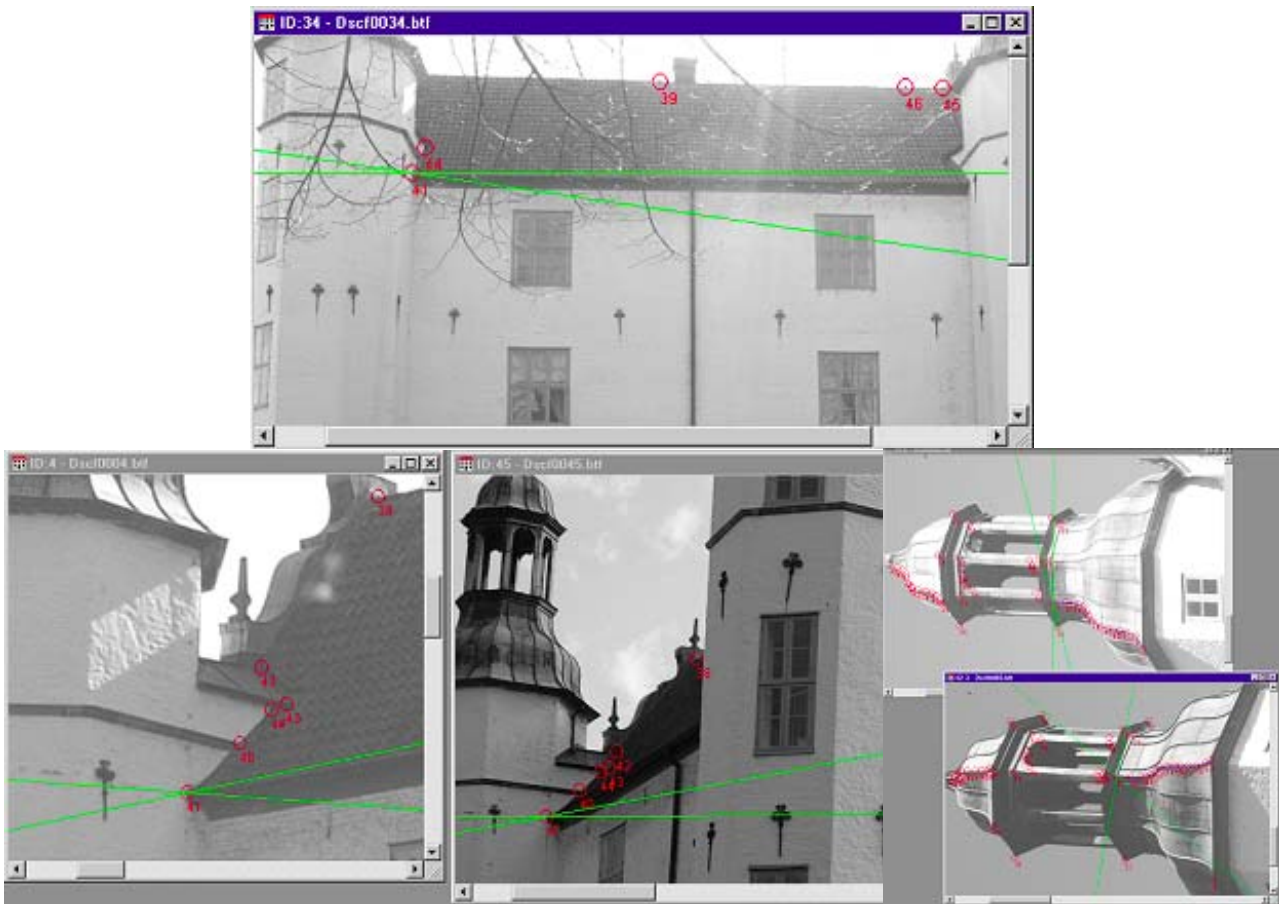


Abb. 6b: Bildpunktmessungen der Dächer und Türme des Ahrensburger Schlosses in PICTRAN-D

Topographische Geländeaufnahme des Schlossparks Ahrensburg

Um die spätere Visualisierung des Schlosses anschaulicher zu gestalten, wurde das Gelände des Schlossparks topographisch aufgemessen. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde am Beispiel des Schlossparks getestet, in wie weit der Tachymeter Leica TCA1105 mit dem Remote Control System RCS1100 für topographische Geländeaufnahme im praktischen Einsatz als Ein-Mann-System eingesetzt werden kann. Dafür bediente der Topograph das Messinstrument über das Remote Control System aus der Ferne, so dass er mit dem Reflektor die Aufnahmepunkte abgehen und registrieren konnte, während der Messstrahl des Instrumentes dem Prisma des Reflektors automatisch folgte.

Das gesamte Messgebiet ist bis auf den süd- und südöstlichen Teil umrandet von alten Bäumen. Der größte Teil des Messgebietes war gut einsehbar und hatte keine großen Höhenunterschiede zu verzeichnen. Einzig im west- und nord-westlichen Teil des Gebietes war die Sicht durch die vielen dicht beieinander stehenden Bäumen sehr eingeschränkt, was zu Problemen bei der automatischen Verfolgung des Reflektorprismas durch die Bewegung der Äste führte. Außerdem erschwerte eine hohe Böschung in diesem Bereich die Geländeaufnahme. Die topographisch aufgenommene Fläche betrug ca. 6 ha, wobei etwa 1,5 ha zum Schlosspark gehören. Zusätzlich sind etwa 1,6 ha Wasserfläche, die das Schloss und den Park umgeben. In Abb. 7 ist der Schlosspark Ahrensburg als Situationsplan und als schattiertes digitales Geländemodell (DGM) zur besseren Orientierung dargestellt.

An sechs Messtagen wurden insgesamt 1116 verteilte Geländepunkte aufgenommen, was einer durchschnittlichen Tagesleistung von 186 Punkten entspricht. Aus den aufgenommenen Geländepunkten wurde mit dem Programm AutoCAD Land Development ein DGM erzeugt, welches später in das 3D-Gebäudemodell des Schlosses integriert wurde.

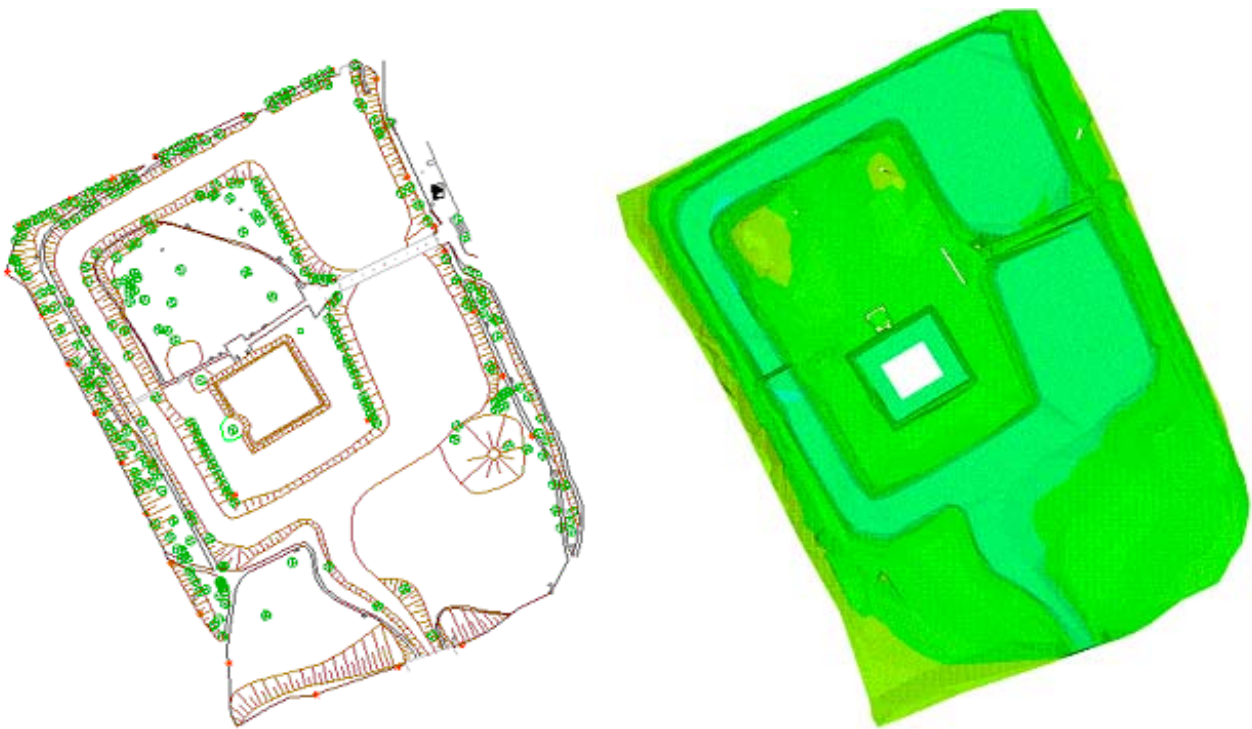


Abb. 7: Ahrensburger Schlosspark als Situationsplan (links) und als schattiertes Geländemodell (rechts)

CAD-Rekonstruktion und Visualisierung

Die photogrammetrisch erfassten 3D-Gebäudedaten wurden mit AutoCAD 2000 überarbeitet. Die Rekonstruktion der einzelnen Gebäudeobjekte erfolgte anhand der Messpunkte, wobei die Objekte durch Zusammenfügen der Punkte, Linien und Flächen gebildet wurden. Zuerst wurde der Grundriss konstruiert und im Anschluss daran die einzelnen Fassaden aufgesetzt. Abschließend wurden die Einzelobjekte, wie Türme oder Dächer, dem 3D-Volumenmodell hinzugefügt (siehe Abb. 8).



Abb. 8: 3D-CAD-Rekonstruktion des Ahrensburger Schlosses aus Einzelobjekten über Fassaden zu einem Drahtmodell und zu einem schattierten 3D-Volumenmodell

Um die Qualität der Rekonstruktion anhand der geschlossenen Gebäudeflächen zu überprüfen, wurde das 3D-Gebäudemodell mit AutoCAD schattiert (gerendert). Aufgrund der großen Datenmenge von ca. 152 MB für das gesamte Volumenmodell und der integrierten Daten der Topographie führte das Rendern bzw. Schattieren 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 insgesamt mindestens 15 Minuten. Zur photorealistischen Visualisierung wurde den Flächen in AutoCAD entsprechendes Material als Texturen zugewiesen. Beispielhaft sind in Abb. 9 verschiedene Texturen abgebildet, während in Abb. 10 einige perspektivische Ansichten, die mit AutoCAD berechnet wurden, exemplarisch dargestellt sind.

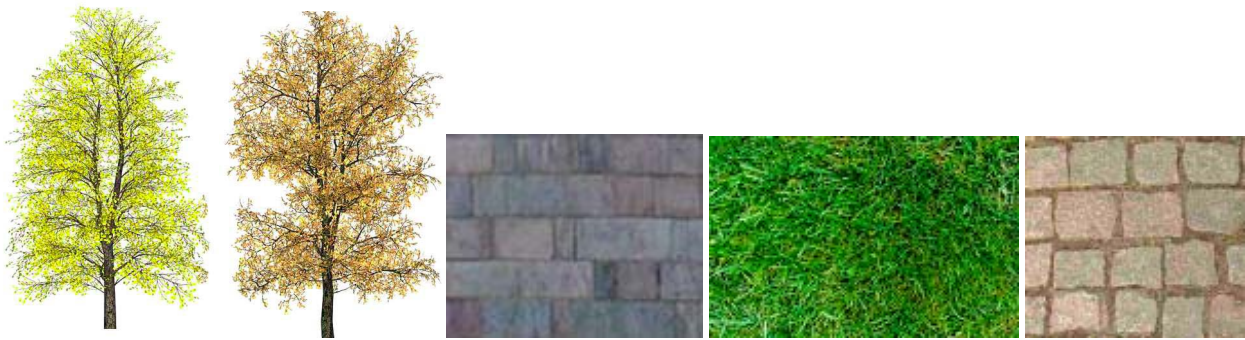


Abb. 9: Texturen für die Visualisierung: Buche, Eiche, Granitstein-Wand, Rasen, Pflastersteine

Mit der Software 3D Studio VIZ können perspektivische Ansichten, Videoanimationen und VRML-Files für die Internetdarstellung generiert werden. Dabei werden den einzelnen Flächen an den Gebäuden auch mit dieser Software 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. Die Software 3D Studio ist ein sehr komplexes Visualisierungstool mit sehr vielen Möglichkeiten, das eine intensive Einarbeitung erfordert. Für die Erstellung von Videosequenzen wird auch hier eine hohe Rechnerleistung benötigt. Zum Beispiel wurde eine erste Videosequenz von einer Minute (60.33 sec) in der Auflösung 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.



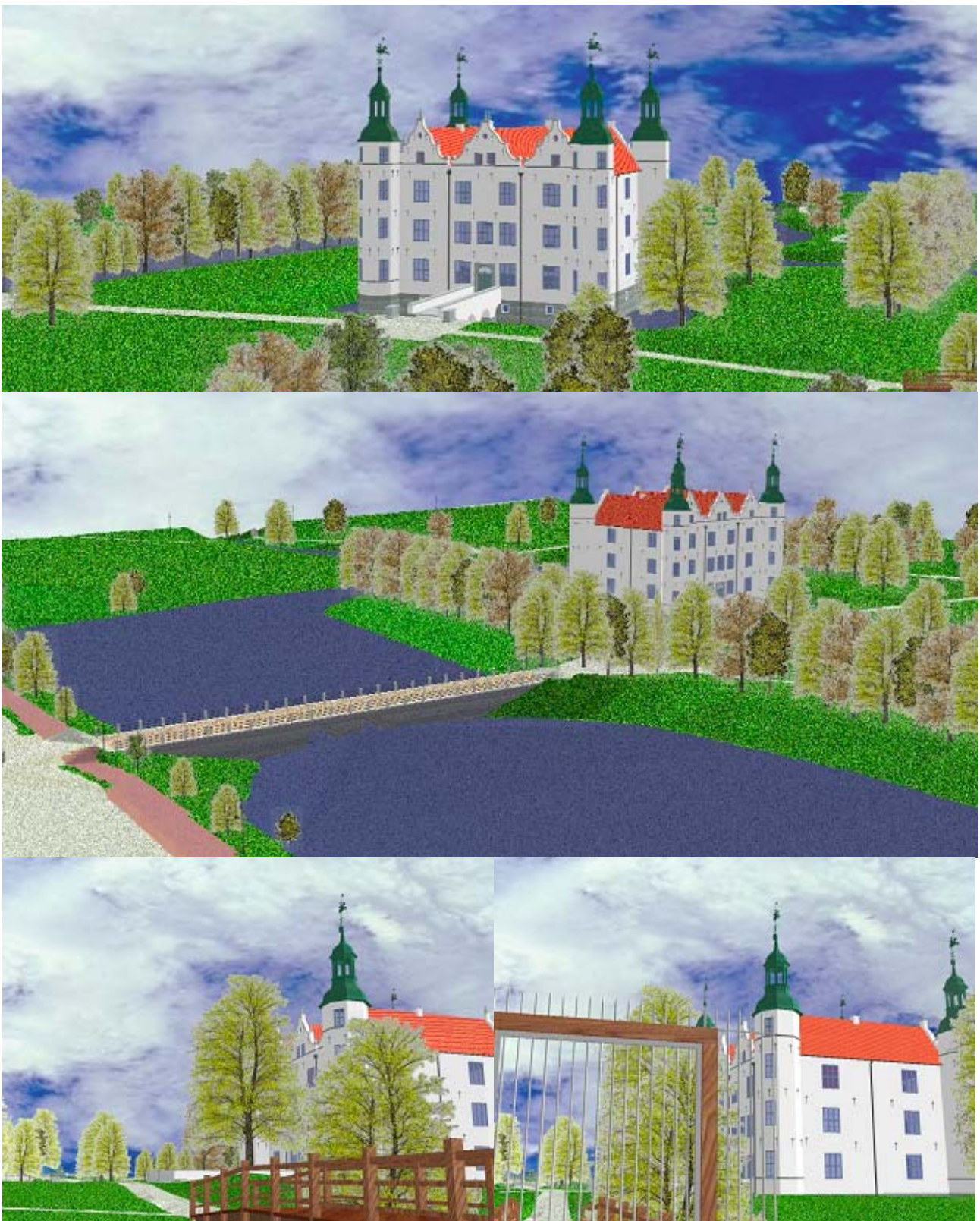


Abb. 10: Visualisierung Schloss Ahrensburg aus verschiedenen Perspektiven

Schlussfolgerungen und Ausblick

Dieses Projekt konnte zeigen, dass sich handelsübliche digitale Spiegelreflexkameras für eine detaillierte 3D-Erfassung von komplexen historischen Gebäuden eignen. Somit stellt die Architekturphotogrammetrie durch den digitalen Datenfluss heute eine effiziente Alternative zur klassischen Bauaufnahme dar. Die Auswertegenauigkeit lag hier bei ca. zwei Zentimetern, was für die meisten Anwendungen in der Bauwerksaufnahme ausreicht. Voraussetzung für solche Genau-

igkeiten ist allerdings eine Kamerakalibrierung, die simultan mit der Orientierung der Bilder in einem gesamten Bildverband erfolgt.

Für die photogrammetrische Bildaufnahme und Auswertung wird ca. ein Drittel der Projektzeit verwendet, während die CAD-Bearbeitung ca. 50% und die Visualisierung je nach Anspruch der Datenpräsentation bis zu 20% der Bearbeitungszeit beansprucht. Durch die hohe Datenmenge von 152 MB für ein solches 3D-Gebäudevolumenmodell stößt man bei der Projektbearbeitung, insbesondere bei der Visualisierung, schnell an die Leistungskapazität der Rechner. Daher sind heute entsprechend aufgerüstete Computer mit hoher Rechnerleistung (Dual-Prozessoren), mehreren Gigabyte Arbeitsspeicher RAM und einer leistungsfähigen 3D-Graphikkarte unbedingte Voraussetzung für die CAD-Bearbeitung und Visualisierung von solchen Datenvolumen.

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

Detaillierte digitale 3D-Gebäudemodelle werden in Zukunft eine wesentliche Grundlage für viele Virtual Reality Anwendungen darstellen. 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 schon virtuelle Rundflüge oder Spaziergänge um bzw. in historischen Gebäuden möglich.

Literatur

- Habich, J., Lafrenz, D., Schulze, H., Wide, L., (1998): *Schlösser und Gutsanlagen in Schleswig-Holstein*. L & H Verlag, Hamburg, 237 S.
- Kersten, Th., Acevedo Pardo, C., (2002): *3D-Objektaufnahme von historischen Gebäuden durch digitale Architekturphotogrammetrie für Visualisierungsaufgaben und Facility Management*. Photogrammetrie und Laserscanning: Anwendung für As-Built-Dokumentation und Facility Management, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 42-56.
- Krafczyk, Th., (2001): *3D-Erfassung und Visualisierung des Ahrensburger Schlosses durch digitale Architekturphotogrammetrie*. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, September.
- Kuppe, O., (2002): *Topographische Geländeaufnahme des Schlossparks Ahrensburg mit dem Tachymeter Leica TCA 1105 und dem Remote Control System RCS1100*. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Mai.
- Luhmann, Th., (2000): *Nahbereichphotogrammetrie*. Wichmann Verlag, Heidelberg, 571 S.