

3D-Erfassung und Modellierung des Duderstädter Westerturmensembles durch Kombination von digitaler Architekturphotogrammetrie und terrestrischem Laserscanning

Thomas KERSTEN¹, Manuel BIEBERMANN² und Michael SCHNEIDER³

¹ HafenCity Universität Hamburg, Geomatik, Hebebrandstrasse 1, 22297 Hamburg

² GIFTGE Consult GmbH, Stephanstraße 12, 31135 Hildesheim

³ Vermessungsbüro Detlef Först, Rungestr. 39, 18435 Stralsund

Zusammenfassung

Dieser Beitrag beschreibt die exakte 3D-Erfassung und Modellierung des Duderstädter Westerturmensembles durch kombinierten Einsatz der digitalen Spiegelreflexkamera Fujifilm FinePix S2 Pro und des terrestrischen Laserscanners Mensi GS100. Das Projekt wurde im Jahr 2005 am Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg in Absprache mit der Stadt Duderstadt durchgeführt. Das Duderstädter Westerturmensemble, bestehend aus Turm, Museum und umgebenden Gebäuden, wurde aus 58 digitalen Bildern und einer 3D-Punktwolke des Laserscanners mit einer Genauigkeit von 1-2 cm u.a. für Visualisierungen am Computer modelliert, die für die 500-Jahr-Feier des Westerturmes im Jahr 2006 präsentiert werden sollen. Die erforderlichen Arbeitsschritte von der Datenerfassung bis zur Visualisierung werden beschrieben und die erreichte Genauigkeit und der Arbeitsaufwand werden näher dargestellt.

1 Einleitung

Die Erstellung von Fassadenplänen und 3D-Gebäudemodellen erfolgt heute noch weitestgehend durch tachymetrische Aufnahmen oder durch digitale Architekturphotogrammetrie. Doch terrestrische Laserscanner stellen für Anwendungen in der Architektur und Denkmalpflege zunehmend eine echte alternative oder ergänzende Messmethode dar. Dafür stehen je nach Anforderung hinsichtlich Genauigkeit, Reichweite, Detailreichtum und Messgeschwindigkeit verschiedene Laserscanner als Kamera- oder Panorama-View Scanner auf dem Markt zur Verfügung. Die Auswertung von tachymetrischen oder photogrammetrischen Daten zu 3D-Gebäudemodellen ist heute eine bewährte Methode. Die photogrammetrische Erfassung und 3D-Modellierung von historischen Gebäuden z.B. mit der Software PICTRAN wurde in einigen Publikationen der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (seit 1.1.2006 gehört das Department Geomatik zur neu gegründeten HafenCity Universität Hamburg) beschrieben: KERSTEN und ACEVEDO PARDO 2002, KERSTEN et al. 2003, KERSTEN et al. 2004, KERSTEN 2005. Eine Software-Lösung für die kombinierte Auswertung von Laserscanner- und Bilddaten mit dem Programm PHIDIAS der Firma PHOCAD, Aachen wird in den folgenden Publikationen vorgestellt: SCHWERMANN und EFFKEMANN (2002), EFFKEMANN (2003), BENNING et al. (2004), BECKER und SCHWERMANN (2005).

In diesem Beitrag werden die Aufnahme des Westerturmensembles in Duderstadt durch digitale Architekturphotogrammetrie und durch terrestrisches 3D-Laserscanning sowie die kombinierte Auswertung dieser Daten mit PHIDIAS beschrieben. Die für die Auswertung

und Modellierung notwendigen Arbeitsschritte werden mit Angaben über die Genauigkeit aufgezeigt und die Ergebnisse des virtuellen Westerturms präsentiert.

2 Das Aufnahmeobjekt „Duderstädter Westerturmensemble“

Der Westerturm ist das Wahrzeichen der Stadt Duderstadt (Landkreis Göttingen) im südlichen Niedersachsen. Der Duderstädter Westerturm (ca. 35m x 8m x 52m, siehe Abb. 1) ist der letzte, vollständig erhaltene Turm der mittelalterlichen Stadtbefestigung, der bereits am 16. Oktober 1343 als Niedertor (valva inferior) erstmals urkundlich erwähnt wurde. Im Frühjahr 1424 wurde bei einem Großbrand der gesamte nördliche Stadtbereich und somit auch der Westerturm vernichtet. Wenige Wochen später wurde der Turm als Steinbau wieder errichtet, wobei erst 1505 die Dachkonstruktion vollendet wurde, welche durch ihre spätere und gleichmäßige Drehung den Turm zum Wahrzeichen der Stadt machte. Die Drehung erfolgte vermutlich wegen fehlender Versteifungen der Turmspitze. Durch den Bau der weit vor den Mauern liegenden Wallanlage und den damit neu entstandenen vier Walltoren, verloren die vier inneren Stadttore ihre Bedeutung. Seit 1538 wurden dann auch Wohnräume im Turm vermietet. Im Jahre 1580 erbaute Valentin Seling ein Haus direkt am Westerturm, welches nach Um- und Neubauten zum späteren Bachmann'schen Haus wurde. Am 28.08.1989 erwarb die Stadt Duderstadt das Gebäude mit dem Gedanken, den Westerturm der Allgemeinheit zugänglich zu machen. Überraschend wurde bei den anschließend durchgeführten bautechnischen Untersuchungen festgestellt, dass sich im Gebäude das einzige in ursprünglicher Höhe erhaltene Stück der Stadtmauer befindet.

Im Jahre 1999 wurden bei der Erstellung eines Nutzungskonzepts gravierende Schäden an der Holzkonstruktion des Daches aufgedeckt, welche zu einer grundlegenden Sanierung des Turmes im Jahre 2002 führten. Im Zuge dieser Sanierung wurde auch die Stadtmauer im alten Bachmann'schen Haus freigelegt und die Struktur der alten Hausfassade durch eine Glaskonstruktion ersetzt. Das so restaurierte Ensemble wurde am 12.08.2004 feierlich eingeweiht und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

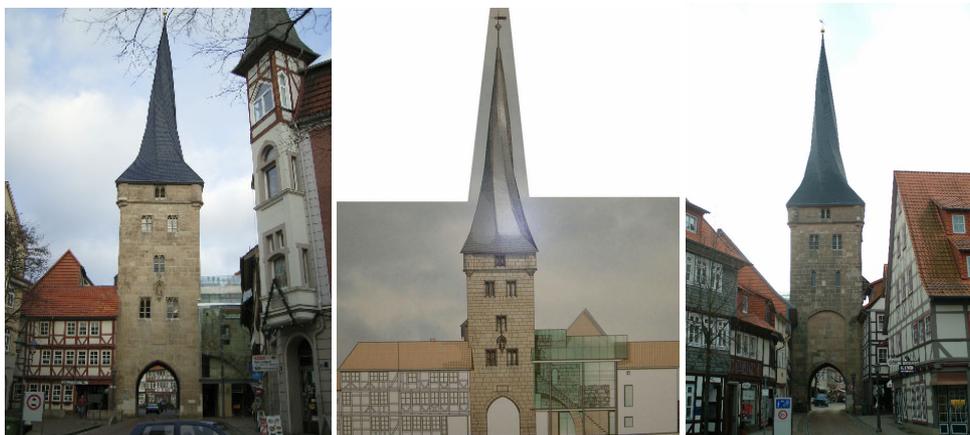


Abb. 1: Duderstädter Westerturmensemble (Mitte), Front- (links), Hinteransicht (rechts)

3 Die Aufnahmesysteme

Die Aufnahme des Duderstädter Westerturmenssembles erfolgte mit der handelsüblichen digitalen Spiegelreflexkamera Fujifilm FinePix S2 Pro und dem terrestrischen Laserscanning-System Mensi GS100. Die wesentlichen technischen Daten der digitalen Kamera sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Technische Daten der Kamera Fujifilm FinePix S2 Pro

	Kamera	Digitale Spiegelreflexkamera
	CCD	23,3 mm x 15,6 mm Super-CCD
	Pixel	6 (phys.), 12,1 Mio. (interpol.) Pixel
	Bilddateigröße	Maximal 4256 x 2848 Pixel
	Dateiformat	TIFF-RGB (ca. max. 35 MB/Bild)
	Speichermedium	Microdrive 1GB (max. 28 Bilder)
	Objektiv	Nikon-F-Bajonett/Nikkor 28 mm
	Aufnahme	ca. 1,5 Bilder/Sek., max. 5 Bilder
	Empfindlichkeit	ISO 100, 160, 200, 400, 800, 1600
	Schnittstellen	USB, Video Out
	Gewicht	ca. 820g (ohne Batterien/Objektiv)

Das Trimble 3D-Laserscanning-System GS100 wird von Mensi S.A. in Frankreich hergestellt und besteht aus Messinstrument mit Zubehör und entsprechender Erfassungs- und Auswertesoftware. Die Streckenmessung erfolgt nach dem Impulslaufzeitverfahren mit einem grünen Laser mit 532nm Wellenlänge. Die Genauigkeit der Einzelstrecke beträgt 6mm. Die optimale Messentfernung des GS100 wird mit 2 – 100m angegeben. Durch die bestmögliche Winkelauflösung von 0,0018° lässt sich in 100m Entfernung eine Gitterweite von 3 x 3mm realisieren. Der Panorama-View Scanner (360° horizontal, 60° vertikal) kann bis zu 5000 Punkte in der Sekunde messen, wobei ein Laserpunkt in 50m Entfernung 3mm groß abgebildet wird. Weitere technische Angaben und Abbildungen vom System sind in HÖNNIGER & KERSTEN (2005) aufgeführt. Die vollständigen technischen Daten sind unter MENSI (2004) zu finden.

4 Photogrammetrische Objektaufnahme und Laserscanning

Die Objektaufnahme erfolgte im Februar 2005 an insgesamt drei Tagen in folgenden Arbeitsschritten: Passpunkt-signalisierung für das Laserscanning und für die photogrammetrische Aufnahme, geodätische 3D-Netz-messung und Passpunktbestimmung mit den Tachymetern Leica TCRP 1201 und Leica TCA 1105+, photogrammetrische Aufnahme und Laserscanning. Aufgrund der Höhe des Westerturmes wurde eine fahrbare Drehleiter mit einer maximalen Arbeitshöhe von 28 m (Abb. 2) für die Passpunkt-signalisierung und für zusätzliche Aufnahmen mit der Kamera eingesetzt. Als photogrammetrische Passpunkte dienen 49 Signale, die am Objekt verteilt angebracht wurden. Zur Verknüpfung und Georeferenzierung der Laserscanning-Punkt-wolken wurden neun grüne Mensi-Targets und jeweils sechs Kugeln an der Turmwand und auf den Tachymeterstandpunkten verwendet. Das 3D-Netz bestand wegen der Gebäudeanordnung und der Einbindung des Innenbereiches des Turmes und Museums aus vier Teilnetzen mit insgesamt 12 Standpunkten, von denen die Passpunkte für Photogrammetrie und Laserscanning gemessen wurden. In einer Ausglei-

chung mit der Software PANDA (GeoTec, Laatzen) wurden die Netz- und Passpunkte mit einer Standardabweichung von besser als 1,5 mm bestimmt. Der Außen- und Innenbereich des Westerturmensembles wurde mit insgesamt 137 Bildern (5 GB Bilddaten) aufgenommen, davon wurden für die spätere dreidimensionale Auswertung und Kamerakalibrierung lediglich 58 Bilder verwendet.

Mit dem Laserscanner GS100 wurde das Objekt von zehn Scannerstandpunkten in einer Rasterweite von 93 mm auf 10 m gescannt. Objektdetails wie Fenster oder Turmfigur wurden mit einer höheren Auflösung von 5 mm auf 10 m gescannt. Die Steuerung des Scanners erfolgte mit der Software PointScape, wobei die Selektion der Scanbereiche durch das Video-Framing erfolgte. Die jeweils sichtbaren Targets und Kugeln (angebracht an Turmwand und auf Tachymeterstandpunkten) wurden für die spätere Verknüpfung und Georeferenzierung der Scans separat von jedem Standpunkt gescannt und durch die Software als Passpunkte erkannt. Beim Scannen der Turmspitze stellte sich heraus, dass das schwarze Schieferdach das grüne Laserlicht kaum reflektierte, so dass dieses Gebäudeteil später allein durch die Photogrammetrie rekonstruiert werden musste.



Abb. 2: Drehleitereinsatz für Passpunktsignalisierung (links) und photogrammetrische Aufnahme (Mitte), Laserscannerstandpunkt (rechts)

5 Datenauswertung

5.1 Registrierung und Geo-Referenzierung der Punktwolken (Scans)

Für eine manuelle Registrierung und Geo-Referenzierung der Scans kam die Software RealWorks Survey 4.2 der Firma Mensi zum Einsatz. Jede Scannerstation wurde über drei bis sieben Targets und Kugeln mit den anderen verknüpft, wobei die Genauigkeit für die Registrierung der Punktwolken zwischen 3,8 mm (Minimum) und 8,6 mm (Maximalwert) lag. Die Geo-Referenzierung der gesamten Punktwolke erfolgte über 23 Passpunkte (6 Kugeln auf Netzpunkte, 9 Targets und 8 Kugeln an der Turmwand, siehe Abb. 3 Mitte) mit einem RMS von 8,8 mm an den Passpunkten, was für die Objektrekonstruktion bei weitem ausreichte.

Anschließend wurde die gesamte Punktwolke (Abb. 3 links) noch bereinigt, in dem überflüssige Punkte, die nicht zu dem Objekt gehörten, gelöscht wurden. Für die Objektrekon-

struktion wurde die Punktwolke zunächst segmentiert und der Turm als interessierender Bereich für die weitere Auswertung ausgeschnitten. Danach wurden die einzelnen Wände des Turmes und zusätzlich die vier Ecken des Turmes segmentiert. Beim Zuschnitt der Punktwolke, der auch beim Anbau und der Turmspitze durchgeführt worden ist, wurde immer darauf geachtet, dass mit jeder Punktwolke nur eine Wand dargestellt wird. Somit entstanden aus einer gesamten Punktwolke 15 verschiedene kleinere Punktwolken, die anschließend jeweils separat als ASCII-File exportiert wurden, um in PHIDIAS verarbeitet werden zu können.

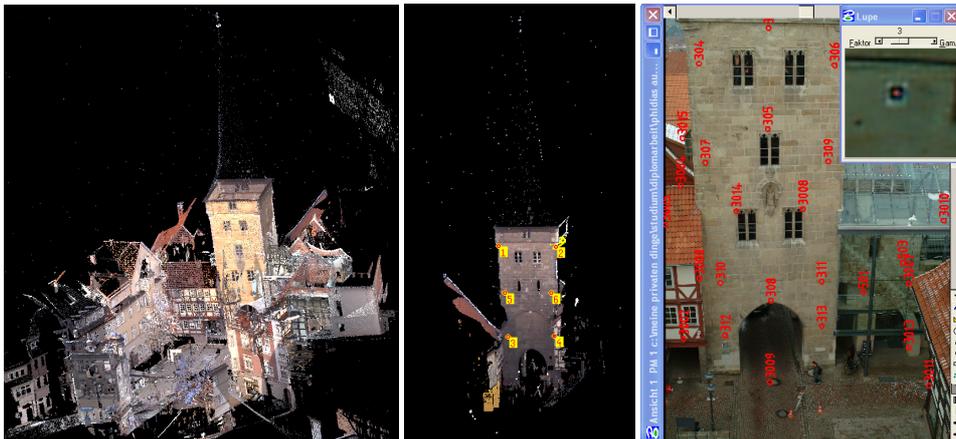


Abb. 3: Gesamte registrierte Punktwolke (links) und Ausschnitt mit Passpunkten zur Geo-Referenzierung (Mitte); Bild mit Bildpunktmessungen (rechts)

5.2 Bildorientierung und Kamerakalibrierung

Vor der eigentlichen 3D-Auswertung wurden 58 ausgewählte, digitale Bilder in einem Bildverband durch Bildpunktmessungen mit dem Programm PHIDIAS der Firma PHOCAD, Aachen verknüpft und orientiert. Abb. 3 (rechts) zeigt exemplarisch in einer rotierten Darstellung gemessene Bildpunkte und die Messung eines Passpunktes. Insgesamt wurden im Durchschnitt 12 Bildpunkte pro Bild und jeder Objektpunkt in 6 Bildern gemessen, wodurch eine gute Verknüpfung des Bildverbandes und eine zuverlässige Punktbestimmung gewährleistet waren. Die Bildorientierungen wurden simultan mit der Kamerakalibrierung in einer anwendergesteuerten Bündelblockausgleichung bestimmt. Die Steuerung durch den Anwender erfolgte hauptsächlich wegen der komplexen Aufnahmeconfiguration der Innen- und Außenaufnahmen, die keinen automatischen Auswerteprozess zuließ. Durch die Kalibrierung der Kamera wurden u.a. systematische Fehler durch die hohe Objektivverzerrung in der weiteren Auswertung kompensiert. Alle Bildpunkte konnten mit einer Bildmessgenauigkeit von $s_x = 4,8 \mu\text{m}$ und $s_y = 4,9 \mu\text{m}$ gemessen werden, was einer Genauigkeit von besser als einem Pixel entspricht. Die Standardabweichungen für die Objektpunktkoordinaten lagen bei 2 mm für signalisierte Punkte und besser als 1 cm für natürliche Punkte. Diese Ergebnisse bestätigen das hohe Genauigkeitspotenzial der digitalen SLR-Kameras für Anwendungen in der Architekturphotogrammetrie, das auch in anderen Projekten erreicht wurde (KERSTEN und ACEVEDO PARDO 2002, KERSTEN et al. 2003, KERSTEN et al. 2004, KERSTEN 2005).

5.3 Objektrekonstruktion durch kombinierte Auswertung

Die Objektrekonstruktion wurde mit dem photogrammetrischen Auswertesystem PHIDIAS, das als eine Anwendung auf das CAD-System MicroStation aufgesetzt ist, durchgeführt. Durch die Kombination dieser Programme können die ermittelten Daten aus PHIDIAS direkt in MicroStation angezeigt und weiter bearbeitet werden. Zur photogrammetrischen Auswertung stehen acht Ansichtsfenster zur Verfügung, wobei hier aber maximal drei Bilder geladen wurden und dabei nur ein Bild zum Zeichnen im Vollbildmodus dargestellt wurde. Für eine präzise Punktmessung kann eine skalierbare Lupe geöffnet und der so ausgewählte Bereich vergrößert dargestellt werden. Die im ASCII-Format eingelesenen Punktwolken werden in ein internes Binärformat umgewandelt, um jedes weitere Einlesen dieser Daten zu beschleunigen und die Dateigröße zu verkleinern.

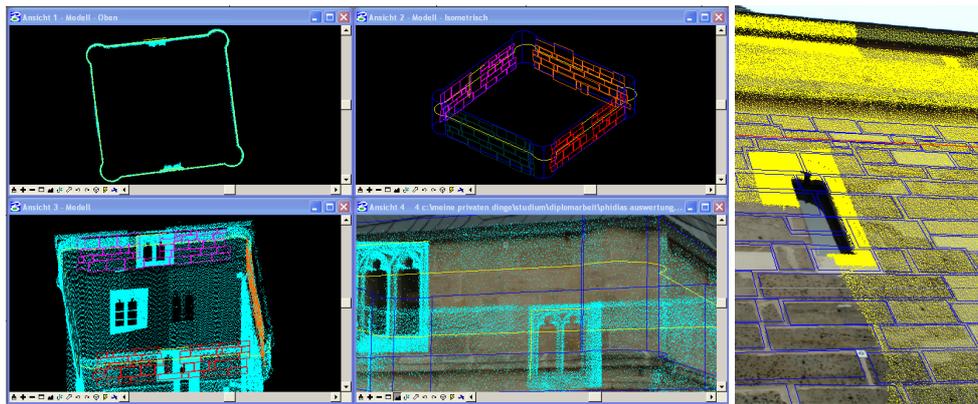


Abb. 4: Darstellung der Punktwolke in Kombination mit Bilddaten (links), Monoplotting der Steine im Bild und in der Punktwolke (rechts)

Das Monoplotting in PHIDIAS wird durch die Kombination von Bild- und Laserscanningdaten möglich. Dazu werden die Punktwolke und das dazugehörige Bild gleichzeitig am Bildschirm dargestellt (siehe Abb. 4 rechts). In einem ersten Schritt wird die Zeichnungsebene festgelegt, wobei darauf zu achten ist, dass die Koordinatenachsen rechtwinkelig auf der Gebäudeseite liegen, um eine spätere Einzelsteinauswertung zu vereinfachen. Die nötige Tiefeninformation wird nach Ebenenfestlegung aus der Punktwolke erhalten. Für die Einzelsteinauswertung wird die Punktwolke dann „ausgeblendet“. Das Zeichnen der Einzelsteine erfolgte für die volumenhafte 3D-Auswertung als „geschlossene Polygone“. Die Einzelsteine wurden bis über die eigentlichen Kanten des Gebäudes sowie über die Fenster und Durchfahrten gezeichnet, um nach der Auswertung aller Gebäudeseiten die exakten Ecken und Kanten im CAD-Programm durch Schnitt zu bestimmen. Sämtliche Einzelsteine wurden anschließend auf die eigentliche Wandstärke, die durch Handaufmass mit einer Stärke von bis zu 1,55 m ermittelt wurde, in einen 3D-Volumenkörper extrudiert.

Ein weiterer Schritt stellte die Konstruktion der abgerundeten Elemente im oberen Bereich des Turmes dar. Hierfür wurden alle vorbereiteten Punktwolken geladen und in einer Draufsicht angezeigt (siehe Abb. 4), so dass daraus eine Polylinie gezeichnet werden konnte, die zur weiteren Verarbeitung in AutoCAD übertragen wurde. Die Turmspitze wurde

wegen der schlechten Laserreflexion am schwarzen Schiefer aus photogrammetrischen Messungen (Vorwärtsschnitt in mindestens drei Bildern) konstruiert. Wegen der schlecht zu identifizierenden Punkte am Schieferdach der Turmspitze konnten diese Objektpunktkoordinaten nur mit einer Standardabweichung von besser als 3 cm bestimmt werden. Das Ergebnis der Turmspitzenrekonstruktion ist in der Abb. 5 dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der Rekonstruktion des Westerturmensembles ist in BIEBERMANN und SCHNEIDER (2005) zusammengefasst.

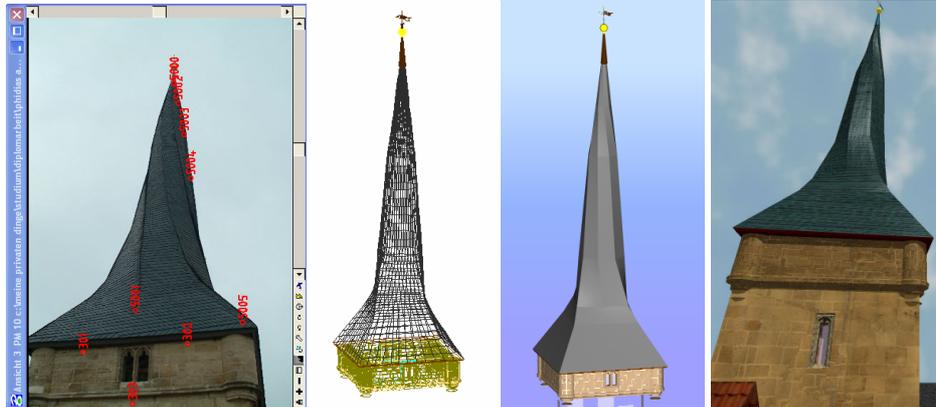


Abb. 5: Rekonstruktion der Turmspitze aus photogrammetrischen Bildpunktmessungen (links); Darstellung als Drahtmodell (2.v.l.), als schattiertes Modell in AutoCAD und als gerendertes Modell in Highlight Pro (rechts)

5.4 Visualisierung

Für die Visualisierung des Westerturms wurde die umgebende Topographie (Strassen, Wege, Pflasterübergänge, Schilder, Laternen, Abfalleimer und Wasserlauf) und die angrenzenden Gebäude (generalisiert) durch eine tachymetrische Aufnahme mit dem Leica TCRP 1105+ aufgenommen. Die Bearbeitung dieser Daten erfolgte mit der Software Geo7. Ergänzt wurden diese Aufnahmen durch ein detailliertes Handaufmass von einigen Objekten wie Laternen und Schildern.

Die Visualisierung des Westerturmensembles erfolgte mit verschiedenen Programmen: AutoCAD, AECViz von TORNADO Technologies Inc., Kanada, 3D Studio VIZ und Highlight Pro. In AutoCAD wurde das 3D-Volumenmodell mit entsprechenden Texturen für die jeweiligen Objektteile gerendert, um so eine Qualitätskontrolle der modellierten Daten zu erhalten und um daraus perspektivische Ansichten im BMP-Format zu erstellen (Abb. 6 oben). Eine interaktive Animation wurde mit AECViz erstellt, in dem das gesamte DWG-File (132 MB) in ein 5 MB großes ausführbares Programm (EXE-File) umgewandelt wurde, das der Betrachter interaktiv aus allen Perspektiven anschauen und auch begehen kann (siehe Abb. 6 rechts oben). In Highlight Pro wurde eine Videosequenz mit einer Länge von 2:41 min in einer Auflösung von 640 x 480 Pixel als kodierte MPEG-File (57 MB) erstellt (siehe Abb. 6 unten), während mit 3D Studio ein virtueller Rundgang durch und im Turm als Film (3:31 min, AVI, 727 MB) erstellt wurde. Alle Visualisierungsdaten stehen dem Interessierten in Zukunft an einem Computer-Terminal in der Turmbäckerei zur Verfügung.

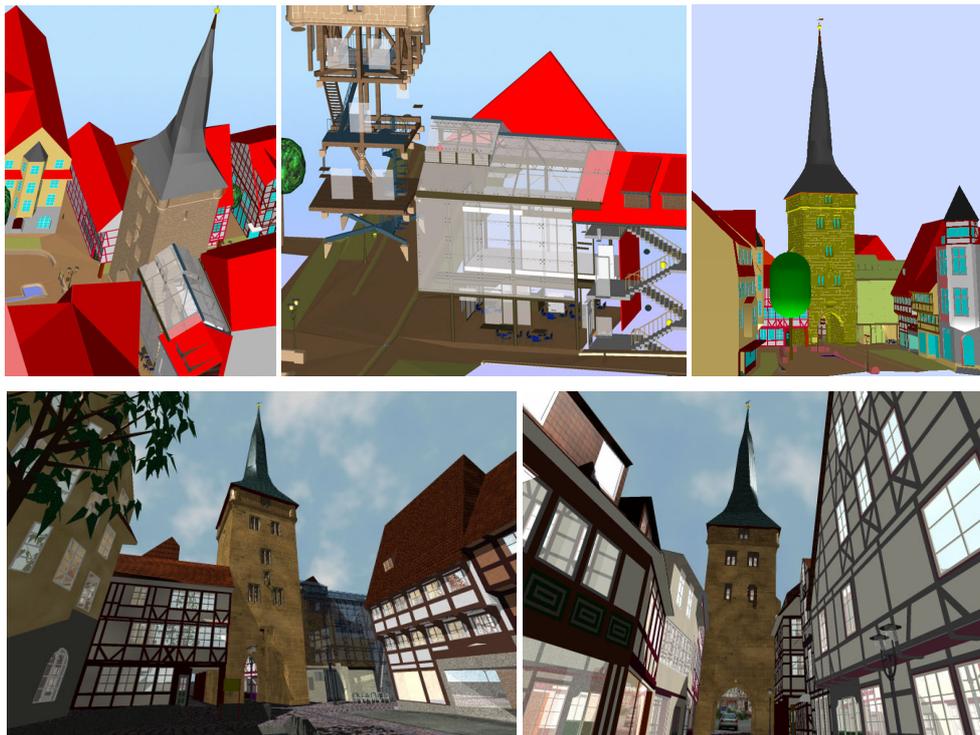


Abb. 6 : Visualisierungen des Westerturms mit AutoCAD (oben links und oben Mitte), mit AECViz (oben rechts) und mit Highlight Pro (unten)

6 Zeit- und Kostenmanagement

Alle Bearbeitungen mit PHIDIAS konnten mit einem Standard-Notebook mit 512 MB RAM, einem 1,5 GHz Intel Centrino Prozessor und einer nVIDIA GeForce Graphic-Card mit 64 MB durchgeführt werden. Der Arbeitsaufwand für die gesamte Projektbearbeitung betrug 623 Arbeitsstunden, die je nach Tätigkeit mit entsprechenden aktuellen Stundenansätzen für Messgehilfe, Techniker und Ingenieur verrechnet wurden. Rechnet man zu diesen Kosten die Instrumentenkosten und Spesen sowie einen Projektgewinn von 10% und die 16%ige Mehrwertsteuer hinzu, so ergeben sich theoretische Gesamtkosten von knapp € 35000 für das Projekt, die allerdings nicht marktgerecht erscheinen. In Abb. 7 ist der prozentuale Arbeitsaufwand der einzelnen Arbeitsschritte dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass 52% der gesamten Arbeitszeit mit CAD-Bearbeitung und Visualisierung aufgewendet wurden. In der Zeit für Visualisierung sind nur die Arbeiten mit AutoCAD und AECViz enthalten, da die Videosequenzen später erstellt wurden. Optimierungspotenzial für solch ein Projekt liegt bei der Objektaufnahme in der Anzahl der verwendeten Passpunkte, in der geodätischen Passpunktbestimmung, in der Reduktion des Laserscanningaufwandes auf wichtige Objektteile, bei der CAD-Bearbeitung durch zunehmende Erfahrung und durch Weglassen von Details.

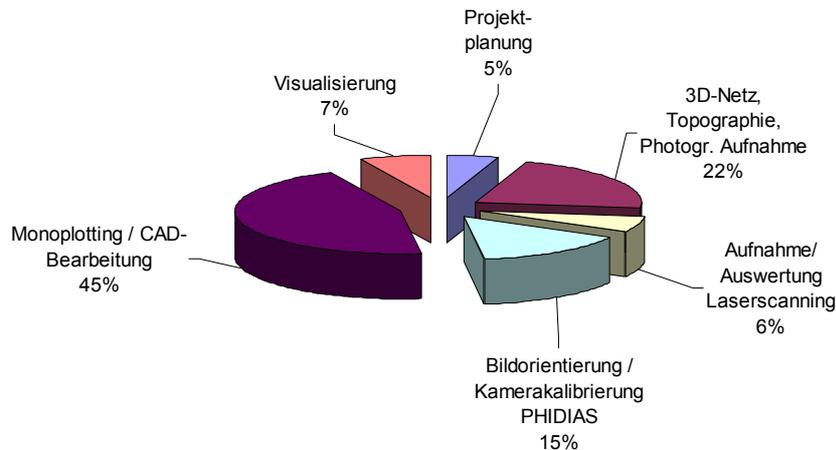


Abb. 7 : Prozentualer Arbeitsaufwand im Projekt Duderstädter Westerturmensemble

7 Fazit und Ausblick

Das Duderstädter Westerturmensemble wurde in einer kombinierten Auswertung von digitalen Bilddaten einer Spiegelreflexkamera und 3D-Punktwolken eines terrestrischen Laserscanners für eine detaillierte Visualisierung von Innen und Außen erfolgreich als virtuelles 3D-Volumenmodell rekonstruiert. Die eingesetzten Technologien (Instrumente und Software) ermöglichten eine detaillierte und exakte Rekonstruktion des Objektes mit einer Genauigkeit von 1-2 cm. Die kombinierte Auswertung mit PHIDIAS auf einem Standard-Notebook mit Doppelbildschirm erwies sich als sehr effizient, da eine direkte CAD-Anbindung für die weitere Modellierung vorhanden war. Im Zeitalter der digitalen Photogrammetrie ist es aber unverständlich, dass in PHIDIAS immer noch eine innere Orientierung „gemessen“ werden muss, wenn die Pixel- und die Chip-Größe der Kamera bekannt sind.

Das Laserscanning bereitete beim schwarzen Schieferdach der Turmspitze Probleme, da von dort kaum reflektierte Laserimpulse zurückkamen, so dass für diesen Bereich eine reine photogrammetrische Auswertung erfolgen musste, der wegen des Aufnahmeabstandes leicht ungenauer modelliert wurde. Für Anwendungen in der Architektur (z.B. Bauwerkserfassung) lohnt es sich, den Laserscanner bei einer steingerechten Auswertung oder bei der Erfassung von Objektdetails wie Skulpturen und Ornamente in Kombination mit der Photogrammetrie einzusetzen, wenn man die Objekte mit einer sehr hohen Punktdichte erfassen kann. Diese Objektdetails kann man dann über einfache Schnitte im CAD modellieren.

Das steingerecht ausgewertete und konstruierte 3D-Volumenmodell des Westerturmensemble und die daraus generierten Visualisierungen stehen dem interessierten Besucher in einem Infoterminal am Westerturm rechtzeitig zur 500-Jahr-Feier im Jahr 2006 zur Verfügung.

8 Literatur

- Becker, R., Schwermann, R. (2005). *Bestandserfassung durch kombinierte Auswertung von Laserscanner- und Bilddaten*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2005, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 134-141.
- Benning, W., Becker, R., Effkemann, C. (2004). *Extraktion von Ecken, Kanten und Profilen aus Laserscannerdaten, gestützt durch photogrammetrische Aufnahmen*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2004, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 213-220.
- Biebertmann, M., Schneider, M. (2005). *3D-Erfassung und Modellierung des Duderstädter Westerturmensembles durch Kombination von digitaler Architekturphotogrammetrie und terrestrischem Laserscanning*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, HafenCity Universität Hamburg, Juni.
- Effkemann, C. (2003). *Extraktion von Ecken, Kanten und Profilen aus Laserscannerdaten, gestützt durch photogrammetrische Aufnahmen*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2003, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 203-208.
- Hönniger, C., Kersten, Th. (2005). *Topographische Aufnahme der sächsischen Ringwallanlage Willenscharen mit dem 3D-Laserscanning-System Mensi GS100*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2005, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 224-231.
- Kersten, Th. (2005). *Digitale Architekturphotogrammetrie als ein Beispiel für die praxisorientierte Ausbildung an der HAW Hamburg*. HAW Hamburg, Fachbereich Geomatik, Festschrift zur Verabschiedung von Prof. Dr. h.c. Jürgen Zastra, 8. Juli 2005.
- Kersten, Th., Acevedo Pardo, C. (2002). *3-D Objektaufnahme von historischen Gebäuden durch digitale Architekturphotogrammetrie für Visualisierungsaufgaben und für Facility Management*. Photogrammetrie und Laserscanning, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 42-56.
- Kersten, Th., Eilmus, B., Lindstaedt, M., Acevedo Pardo, C. (2003). *3D-Erfassung und Visualisierung des Celler Schlosses durch digitale Architekturphotogrammetrie*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2003, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 213-222.
- Kersten, Th., Acevedo Pardo, C., Lindstaedt, M. (2004). *3D Acquisition, Modelling and Visualization of north German Castles by Digital Architectural Photogrammetry*. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXV, Commission V, Part B2, pp. 126-132.
- Mensi (2004). *GS 100 3D laser scanner*. <http://www.mensi.com/website2002/gs100.asp>
- Schwermann, R., Effkemann, C. (2002). *Kombiniertes Monoplotting in Laserscanner- und Bilddaten mit PHIDIAS*. Photogrammetrie und Laserscanning: Anwendung für As-Built-Dokumentation und Facility Management, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 57-70.