

3D-Erfassung, Modellierung und Visualisierung der Festungsanlage Kristiansten in Trondheim durch Photogrammetrie und terrestrisches Laserscanning im Rahmen von ERASMUS-Programmen

THOMAS P. KERSTEN¹, MAREN LINDSTAEDT¹, LENA MAZIULL¹, KRISTIN SCHREYER¹, FELIX TSCHIRSCHWITZ¹ & KNUT R. HOLM²

Zusammenfassung: In diesem Beitrag werden die 3D-Erfassung, 3D-Modellierung und 3D-Visualisierung der Festungsanlage Kristiansten in Trondheim (Norwegen) durch digitale Photogrammetrie und terrestrisches Laserscanning präsentiert. Die Festungsanlage Kristiansten wurde nach dem großen Stadtbrand im Jahre 1681 oberhalb der Stadt erbaut. Seit 1997 ist sie ein Museum. Die Aufnahme der Festungsanlage erfolgte jeweils Ende August/Anfang September 2010 und 2011 während zweier zwei-wöchiger Summer Schools mit dem Thema „Digital Photogrammetry & Terrestrial Laser Scanning for Cultural Heritage Documentation“ an der NTNU Trondheim mit internationalen Studierenden im Rahmen des ERASMUS Teaching Programs. Für die Aufnahme wurden ein terrestrischer Laserscanner und digitale Spiegelreflexkameras eingesetzt. Die Anlage eines geodätischen 3D-Netzes, das über Passpunkte in das übergeordnete norwegische Koordinatensystem eingebunden wurde, gewährleistete eine einheitliche Registrierung der Scans und Orientierung der photogrammetrischen Bilder. Die Festungsgebäude wurden in AutoCAD aus photogrammetrischen Aufnahmen und Punktwolken detailliert konstruiert, während das Festungsgelände und die -mauern durch Dreiecksvermaschung in Geomagic modelliert wurden. Die Visualisierung der Festung erfolgte 2013 im Rahmen einer Lehrveranstaltung im Masterstudiengang Geomatik mit der Software Cinema 4D. Dabei wurde das 3D-Modell texturiert und in Form eines Videos präsentiert. Dieses 3D-Modell wurde abschließend in die Game Engine Unity für eine interaktive 3D-Visualisierung auf 3D-Monitoren transferiert.

1 Einleitung

Das Erasmus-Programm ist ein Förderprogramm der Europäischen Union. Obwohl sein Name an Erasmus von Rotterdam erinnert, einen europäisch gebildeten Humanisten der Renaissance, steht es als Akronym von „European community action scheme for the mobility of university students“ (DAAD 2012). An dem weltweit größten Förderprogramm von Auslandsaufenthalten an Universitäten nehmen neben den 28 EU-Staaten auch weitere Staaten wie Norwegen teil. Zentrale Bestandteile sind die Anerkennung von Studienleistungen im Ausland anhand des European Credit Transfer Systems (ECTS) und die finanzielle Unterstützung von Austauschstudierenden, die an einer teilnehmenden Hochschule regulär studieren. Neben Studienaufenthalten und Auslandspraktika im Rahmen des Studiums können auch Lehraufenthalte sowie Fortbildung von allgemeinem Hochschulpersonal gefördert werden. Grundlage für den Austausch von

¹ HafenCity Universität Hamburg, Labor für Photogrammetrie & Laserscanning, Überseeallee 16, D-20457 Hamburg, E-Mail: [Thomas.Kersten, Maren.Lindstaedt, Kristin.Schreyer, Felix.Tschirschwitz]@hcu-hamburg.de, Lena-Maziull@web.de

² NTNU - Norwegian University of Science and Technology, Division of Roads, Transport, and Geomatics, Høgskoleringen 7 A, NO-7491 Trondheim, Norway, E-Mail: knut.r.holm@ntnu.no

Studierenden und Dozenten bildet ein entsprechendes bilaterales Abkommen zwischen entsendender und aufnehmender Hochschule.

Das Labor für Photogrammetrie & Laserscanning der HafenCity Universität Hamburg hat in Zusammenarbeit mit der NTNU (Norwegian University of Science and Technology, Division of Roads, Transport, and Geomatics) in Trondheim drei Mal in den Jahren 2009 bis 2011 eine zweiwöchige Summer School über „Digital Photogrammetry & Terrestrial Laser Scanning for Cultural Heritage Documentation“ im Rahmen eines ERASMUS Teaching Programs durchgeführt. In dem praktischen Teil der Summer School wurden jeweils historische Gebäude durch Photogrammetrie und terrestrisches Laserscanning erfasst und deren Daten anschließend in dem Kurs bearbeitet. Grundlagen dieser Summer School sind die Lehrveranstaltungen Architekturphotogrammetrie im Bachelorstudiengang Geomatik und das Modul Terrestrisches Laserscanning im Masterstudiengang Geomatik der HCU Hamburg (siehe auch KERSTEN 2005).

Im Rahmen dieser beiden Lehrveranstaltungen dokumentiert das Labor für Photogrammetrie & Laserscanning der HCU Hamburg schon seit 15 Jahren architektonisch bedeutende Gebäude in Norddeutschland durch Photogrammetrie und terrestrisches Laserscanning (KERSTEN & ACEVEDO PARDO 2003, KERSTEN et al. 2003, KERSTEN et al. 2004, KERSTEN et al. 2006, KERSTEN & LINDSTAEDT 2012). Weitere praktische Projektarbeiten der HCU Hamburg über die 3D-Modellierung stellen folgende komplexe Architekturobjekte dar: das Nordportal des antiken Dammes in Marib/Jemen (KERSTEN 2007), die historische Halbinsel in Istanbul (KERSTEN et al. 2009), die Almaqah-Tempel in Sirwah/Jemen (LINDSTAEDT et al. 2008) und in Yeha/Äthiopien (LINDSTAEDT et al. 2010), sowie das Fort Al Zubarah in Katar (KERSTEN & MECHELKE 2013).

In diesem Beitrag werden die 3D-Objektaufnahme, die 3D-Modellierung und Visualisierung der Festungsanlage Kristiansten in Trondheim (Norwegen) mithilfe abgeleiteter Daten vom terrestrischen Laserscanning und digitaler Photogrammetrie vorgestellt. Nach einer kurzen Vorstellung der Festung Kristiansten wird die Summer School beschrieben, bevor etwas detaillierter auf die Arbeiten und die generierten Daten bei der Objektaufnahme, der Modellierung und Visualisierung eingegangen wird.

2 Die Kristiansten-Festung in Trondheim

Die Festung Kristiansten ist eine Befestigungsanlage auf der Ostseite der Stadt Trondheim. Sie wurde an einer strategisch wichtigen Anhöhe oberhalb der alten Stadtbrücke errichtet, die der Haupteingang zur Stadt aus dem Norden und Osten war. Ursprünglich wurde Trondheim durch den Fluss Nidelven und den Trondheimfjord gesichert, der Osten jedoch war ungeschützt. Von dieser Anhöhe konnte man ungehindert in die Stadt schießen, so dass schwedische Truppen die Stadt 1564 und 1658 von dieser Anhöhe kontrollierten. Pläne für eine Befestigungsanlage auf diesem Areal wurden bereits 1676 gemacht, aber bis zum großen Feuer in der Stadt im Jahre 1681 nicht realisiert. Als die beiden technischen Offiziere Johan Caspar de Cicignon und Anthony Coucheron nach Trondheim geschickt wurden, um einen neuen Stadtplan nach dem Feuer zu entwerfen, bauten sie auch gleich die Festung. Der Baubeginn war 1682 und die Anlage wurde bereits 1684 fertig gestellt (KAVLI 1987). Nach dem ursprünglichen Plan sollte eine symmetrische, sternförmige Festungsanlage um einen Verteidigungsturm gebaut werden. Da jedoch die Mauern dem Gelände angepasst wurden, gestaltete sich die Befestigungsanlage als irreguläre Form eines

Sternes mit neun Ecken. Nach einem Umbau im Jahr 1740 hat die Festung ihre Gestalt bis heute weitestgehend beibehalten. In dem nördlichen Teil der Festung liegen die Kasematten, die als Räume mit Deckengewölbe einen Teil der äußeren Mauer bilden. Sie wurden als Unterkunft, Lebensmittelspeicher, Küche, Gefängnis, etc. genutzt. Sie sind heute noch gut erhalten und für verschiedene Zwecke weiterhin im Gebrauch. Es gibt drei individuelle Gebäude in der Festung; die Kommandantur, ein einfaches Haus mit einer Etage, das Wachhaus neben der Kommandantur, und der weiße Donjon, ein vierstöckiger steinerner Verteidigungsturm mit Schießscharten, der als auffälligster Bestandteil der Festung ein Wahrzeichen Trondheims ist. Der Turm bedeckt eine Fläche von 17 m x 15 m, hat eine Höhe von 20 m und weist eine Wandstärke von 4 m auf. Im Gebäude befindet sich ein Keller zur Lagerung von Schießpulver. Das Erdgeschoss wurde ursprünglich als Residenz für den Kommandeur genutzt. Auf den weiteren beiden Stockwerken standen Kanonen, die in alle Richtungen schießen konnten. Sie standen auf sehr robusten Holzböden, damit das Gewicht und der Rückstoß der Geschütze abgefangen werden konnte. Die oberste Etage unter dem Dach wurde als Beobachtungsposten genutzt.

Die Festung befand sich nur einmal unter Beschuss, nämlich während des großen Nordischen Krieges. Der schwedische König Karl XII schickte im Jahr 1718 General Carl Gustaf Armfeldt mit 10.000 Soldaten nach Trondheim. Da er nicht in der Lage war, die Festung einzunehmen, konnte er somit auch die Stadt Trondheim nicht erobern. Nach dem Tod von Karl XII musste sich Armfeldt mit seinen Männern im Winter 1718/1719 auf einen verheerenden Rückzug über die Berge nach Schweden machen, bei dem er fast seine gesamte Armee aufgrund von Schnee und kalten Temperaturen verlor. Als Norwegen 1814 gezwungen wurde, mit Schweden eine politische Union einzugehen, wurde Kristiansten durch Karl III. Johan, König von Norwegen, im Jahr 1816 außer Dienst gestellt. Die Instandhaltung der Festung wurde dadurch gewährleistet, dass sie aufgrund ihrer exponierten Lage als Brandmeldestelle verwendet wurde. Während der deutschen Besatzung Norwegens im 2. Weltkrieg wurden norwegische Patrioten auf Kristiansten hingerichtet. Nach dem Krieg wurde die Festung für die Hinrichtung von Personen, die wegen Landesverrats und Kriegsverbrechen in Norwegen verurteilt wurden, genutzt. Der geschichtliche Überblick zur Festung Kristiansten ist in BRATBERG (2008) veröffentlicht.



Abb. 1: Festungsanlage Kristiansten in Trondheim – Übersichtsbild (links, Google Earth), Sicht von der Stadt auf den Verteidigungsturm Donjon (Mitte) und Sicht auf die Stadt (rechts)

In den letzten Jahren wurde die Festungsanlage renoviert. Seit 1997 ist der Donjon ein Museum und die Kommandantur ist heute ein Restaurant. In einer der Kasematten wurde eine Gedächtniskapelle eingerichtet. Die gesamte Festung ist heute ein beliebter Ort für Spaziergänge aufgrund der wundervollen Aussicht auf die Stadt und den Fjord (Abb. 1). Heute werden immer

noch Salutschüsse durch die Kanonen am Nationalfeiertag (17. Mai) und bei königlichem Besuch sowie bei anderen wichtigen Anlässen abgegeben. Das Neujahrs-Feuerwerk der Stadtverwaltung wird auch jedes Jahr auf der Festung gezündet.

3 Summer Schools im ERASMUS Teaching Programm

In den Jahren 2009, 2010 und 2011 fanden insgesamt drei Summer Schools mit dem Thema „Digital Photogrammetry & Terrestrial Laser Scanning for Cultural Heritage Documentation“ im Rahmen des ERASMUS Teaching Programme für jeweils zwei Wochen an der NTNU Trondheim statt. Der Inhalt der Summer School war jeweils in einen theoretischen und praktischen Teil aufgeteilt. Inhaltliche Grundlagen bildeten die Lehrveranstaltungen Architekturphotogrammetrie (Bachelorstudiengang Geomatik) und das Modul Terrestrisches Laserscanning (Masterstudiengang Geomatik) der HCU Hamburg. In der ersten Woche wurden im theoretischen Teil Vorlesungen über digitale Photogrammetrie und über terrestrisches Laserscanning gehalten. Dabei bildeten digitale Kamerasysteme, Aufnahmekonfiguration, Projektplanung, Passpunktmessungen, geodätische 3D-Netzausgleichung, Bildorientierung und Kamerakalibrierung durch Bündelblockausgleichung, 3D-Punktbestimmung in Fotos, CAD-Objektrekonstruktion, Modellierung und Visualisierung die Schwerpunkte in der digitalen Photogrammetrie. Das terrestrische Laserscanning wurde durch folgende Themen abgedeckt: Messverfahren, Systeme, Kriterien für Laserscanner, Registrierung und Georeferenzierung, Segmentierung, Filterung, geometrische Genauigkeitsuntersuchungen, CAD-Objektrekonstruktion aus Punktwolken, Modellierung, 3D-Triangulation/Dreiecksvermaschung und Analyse der Ergebnisse. Im praktischen Teil wurde mit den Teilnehmern ein Projekt überwiegend in der zweiten Woche bearbeitet. Als Arbeitspensum (Workload) waren für die Summer Schools jeweils 60 Stunden vorgesehen, was zwei ECTS entspricht. Die erste Summer School fand vom 7. bis 18. September 2009 statt. Als praktisches Projekt wurde ein Fassadenausschnitt des Nidarosdoms von innen und außen aufgenommen, da die Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeider (NDR) nicht nur an den Aufnahme- und Auswerteverfahren, sondern vor allem auch an den Daten und Ergebnissen interessiert waren. Erst in der zweiten und dritten Summer School befassten sich die Teilnehmer mit der Festungsanlage Kristiansten. Im zweiten Kurs, der vom 30. August bis zum 10. September 2010 stattfand, wurden in erster Linie der Festungsturm Donjon und Teile des Innenbereiches als Bearbeitungsobjekt erfasst, während in der dritten Summer School vom 29. August bis 9. September 2011 die Kommandantur, der Innenbereich der Anlage sowie die Außenmauern aufgenommen und bearbeitet wurden. Die Teilnehmerzahl lag jeweils zwischen acht und zehn Studierenden, die aus Norwegen, Deutschland, Polen und Finnland kamen.

4 Datenerfassung und 3D-Modellierung der Festung Kristiansten

Die Datenerfassung der Festungsanlage erfolgte jeweils am dritten und vierten Tag der Summer Schools (01./02.09.2010 und 31.08./01.09.2011), bei der folgende Arbeiten (inkl. Vorbereitung) in 1,5 Tagen durchgeführt wurden: a) Messung eines geodätischen 3D-Netzes, Signalisierung und

Messung von Passpunkten für Photogrammetrie und Laserscanning, photogrammetrische Bildaufnahme und terrestrisches Laserscanning. Die Messung des geodätischen 3D-Netzes erfolgte jeweils mit einer Totalstation Leica TCRP 1201 (siehe Abb. 2), wobei die acht Netzpunkte auf festen Stativen zwangszentriert waren und gegenseitig gemessen wurden, um eine stabile Netzgeometrie zu gewährleisten. Von den Netzpunkten und frei stationierten Standpunkten wurden die signalisierten Passpunkte (Abb. 2) an den beiden Festungsgebäuden (Donjon und Kommandantur) gemessen. Das 3D-Netz und die Passpunkte wurden mit der Software PANDA von GeoTec (Laatzen) mit den folgenden Ergebnissen ausgeglichen. Die Netzpunkte wurden in beiden Jahren jeweils mit einer Genauigkeit von besser als 1 mm bestimmt, während die jeweils 28 signalisierten Passpunkte am Verteidigungsturm Donjon 2010 und an der Kommandantur 2011 mit einer Genauigkeit von 2,5 mm in der Lage und 4 mm in der Höhe ausgeglichen wurden. Die in PANDA berechneten Passpunkt- und Netzpunktkoordinaten wurden über drei identische Punkte in das UTM-Koordinatensystem transformiert. Die Restklaffen lagen in der Lage für zwei Koordinaten bei 12 cm. Die Höhe wurde durch eine systematische Verschiebung angepasst.



Abb. 2: Passpunktsignalisierung an den beiden Festungsgebäuden, Reflektoren für Laserscanner, geodätische Passpunktmessung und Riegl VZ-400 im Einsatz (v.l.n.r.)

Der Verteidigungsturm Donjon wurde 2010 photogrammetrisch mit der Nikon D70 (3008x2000 Pixel) und Nikkor-Objektiven (Brennweite 18 mm und 28 mm) in insgesamt 77 Bildern als Rundum-Bildverband aus Augenhöhe aufgenommen. Die Kommandantur wurde 2011 mit der Nikon D90 (4288x2848 Pixel, Brennweite 20 mm) in 92 Bildern photogrammetrisch erfasst. Die Bildtriangulation zur Orientierung der Bilder und zur Kamerakalibrierung wurde für den Bildverband der Kommandantur mit der Software PICTRAN von technet GmbH erstellt, für das im Durchschnitt 15,7 Punkte pro Bild und jeder Objektpunkt in sieben Bildern gemessen wurden. Die Bündelblockausgleichung lieferte eine Standardabweichung von 1 mm für die Passpunkte und eine Bildmessgenauigkeit von 2,5 μm . Der Bildverband des Verteidigungsturms wurde später nur für die Texturierung des 3D-Modells verwendet.

Die Aufnahme der Festungsgebäude und der Anlage innen und außen erfolgte mit dem terrestrischen Laserscanner Riegl VZ-400, wobei das System mit der Software RiScanPro über ein Notebook gesteuert wurde (Abb. 2 rechts). 2010 wurde der Verteidigungsturm Donjon von zwölf Scannerstandpunkten um das Gebäude herum gescannt. Für die Panoramascans der

Festungsinnenanlage wurde eine Scanauflösung von 20 mm auf 25 m gewählt, während das Gebäude mit einem Punktabstand von 5 mm auf der Gebäudewand erfasst wurde. Für die spätere Registrierung der Scans wurden insgesamt 26 Reflektoren (14 im Gelände, vier am Gebäude und acht auf den Netzpunkten) mit einem Durchmesser von 6 cm (Abb. 2 Mitte) im gescannten Objektbereich verteilt. Für die Aufnahme der Festungsmauern und einen Teil des Innenbereiches wurden 2011 von insgesamt 13 Scanstationen 28 Zielzeichen, deren Koordinaten mit der Totalstation bestimmt wurden, um das Objekt aufgestellt. Die Mauern wurden mit einer Scanauflösung von 20 mm auf der Mauer gescannt. Nach jedem Scan wurde zusätzlich ein Panorama mit der auf dem Scanner fest installierten und kalibrierten digitalen Kamera Nikon D700 (Abb. 2 rechts), die einen Vollformatsensor mit 36 mm x 24 mm und ein fixiertes Nikkor-Objektiv mit 20 mm Brennweite besitzt, aufgenommen. Die Bilddaten dienen für die RGB-Einfärbung der Scans. Die Registrierung, Georeferenzierung und Einfärbung der Scans erfolgte in RiScanPro mit dem folgenden Ergebnis für die 13 Scans von 2011. Die Scans konnten mit einer Standardabweichung von 5 mm für die Passpunkte zueinander registriert werden, während eine Georeferenzierung mit einer Standardabweichung von 8,9 mm erzielt wurde. Die Ergebnisse der 12 Scans von 2010 waren geringfügig besser. Durch Filterung der Scans in RiScanPro konnten nicht nur grobe Fehlmessungen sondern auch die Vegetation eliminiert werden, so dass als Grundlage für die 3D-Modellierung in Geomagic die Daten vom Gelände, den Mauern und der Gebäude vorlagen.



Abb. 3: Ansichten des aus Punktwolken modellierten Verteidigungsturm Donjon – Dreiecksvermaschung mit manueller Texturierung in Geomagic

Als erstes wurde der Verteidigungsturm Donjon nach einer weiteren Filterung (Glättung/Reduktion) der Punktwolke durch Dreiecksvermaschung (Kantenlänge 3 cm) in Geomagic modelliert. Nach der Vermaschung wurden noch einige Löcher besonders auf den Dachpartien geschlossen, so dass eine geschlossene Vermaschung mit 2,9 Mio. Dreiecken vorlag, die mit den Fotos aus dem photogrammetrischen Bildverband in Geomagic texturiert wurde (Abb. 3). Anschließend wurden das innere Geländemodell und die Mauern der Festungsanlage durch Vermaschung mit 1,6 Mio. Dreiecken (Kantenlänge 15 cm) modelliert. Als charakteristische Objekte wurden zusätzlich zwei verschiedene Kanonentypen modelliert (siehe Abb. 4 unten in rot). Allerdings mussten dafür einige Objektteile wegen lückenhafter Erfassung durch den

Laserscanner konstruiert werden (Abb. 4 oben). Die Kanone in Abb. 4 besteht aus 133.000 Dreiecken. Nach der Erstellung der beiden 3D-Kanonenmodelle wurden diese jeweils sieben Mal kopiert und auf die entsprechenden Positionen im Modell der Festungsanlage platziert (Abb. 4 unten).

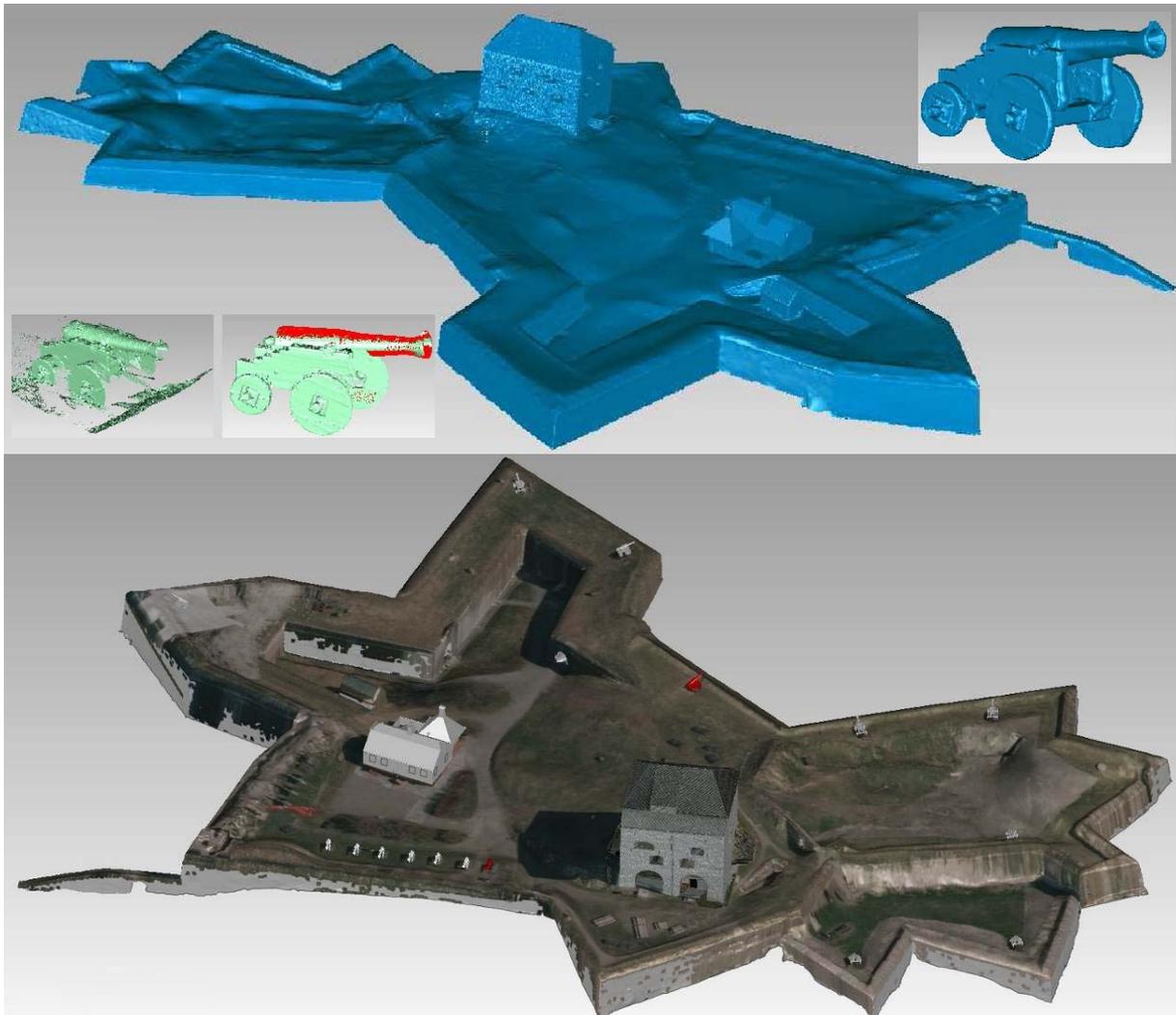


Abb. 4: Festungsanlage Kristiansten als vermaschtes 3D-Modell mit modellierten Kanonen (oben) und in Geomagic texturiertes 3D-Modell (unten)

Als einziges Objekt der Festung wurde die Kommandantur nicht nur photogrammetrisch aufgenommen, sondern auch photogrammetrisch ausgewertet. Nach der Orientierung der Bilder und der Kalibrierung der Kamera wurden in PICTRAN die Gebäudepunkte in verschiedenen Bildern gemessen, die für eine detaillierte Konstruktion des Gebäudes in AutoCAD erforderlichlich waren. Die CAD-Konstruktion erfolgte genauso wie in vielen anderen Projekten der HCU Hamburg (KERSTEN et al. 2003, KERSTEN et al. 2004, KERSTEN 2005, KERSTEN et al. 2006), d.h. nach Bestimmung der 3D-Punkte wurden diese in AutoCAD importiert, dort zu 2D-Polylinien verknüpft, aus denen dann Volumenkörper erstellt wurden. Im CAD können Boolesche Operationen auf zwei oder mehr Flächen oder Volumina angewendet werden, wodurch durch

Schnittmengen, Vereinigungen oder Differenzen der Flächen oder Volumina neue Objektteile entstehen. Abb. 5 zeigt die in AutoCAD detailliert konstruierte Kommandantur der Festung Kristiansten. Die gesamte Modellierung der Festungsanlage und die Aufbereitung der gesamten Daten aus den zwei Feldkampagnen 2010 und 2011 erfolgte als Semesterarbeit im Rahmen des ERASMUS Studierenden-Austauschprogrammes an der NTNU Trondheim im Wintersemester 2011/2012 (MAZIULL 2011).



Abb. 5: Kommandantur der Festung Kristiansten – Konstruiertes 3D-CAD-Modell aus photogrammetrischen Bildern (oben) und in Cinema 4D texturiertes 3D-Modell (unten)

5 Visualisierung

5.1 Videosequenz

In dem folgenden Wintersemester 2012/2013 wurde das an der NTNU Trondheim generierte 3D-Modell der gesamten Festung Kristiansten von derselben Studentin in Zusammenarbeit mit einer Kommilitonin im Rahmen der Lehrveranstaltung Projekt Visualisierung des Masterstudienganges Geomatik bearbeitet. Um eine Videosequenz zu gestalten, wurde das gesamte Modell in Cinema 4D der Firma MAXON Computer GmbH weiter bearbeitet und sehr detailliert texturiert. Vorab wurde der Verteidigungsturm Donjon in Geomagic überarbeitet, in dem die Dreiecksvermaschung durch einen Filter geglättet und die Anzahl der Dreiecke auf 2,4 Mio. reduziert wurde. Die Texturierung von Geomagic wurde beim Import in Cinema 4D nicht übernommen. Bei der Texturierung mit Cinema 4D stellte sich heraus, dass die Bearbeitung von komplexen, vermaschten Modellen, wie z.B. das Festungsgelände und die –mauern oder der Verteidigungsturm Donjon, deutlich arbeitsintensiver ist als die Bearbeitung von 3D-Volumenkörpern (Kommandantur). Da die vermaschten Modelle aus Dreiecken bzw. Polygonen bestehen, müssen sie in mühevoller Kleinstarbeit unterteilt werden, bevor ihnen unterschiedliche Texturen manuell zugeordnet werden können. Eine automatische Texturierung der vermaschten Modelle wäre jedoch auch möglich gewesen, wenn orientierte Bilddaten einer kalibrierten Kamera im selben Koordinatensystem wie das 3D-Modell vorliegen (STALLMANN & KERSTEN 2012). Für die Erstellung von passenden und qualitativ besseren Texturen wurden überwiegend Fotos in der freien Bearbeitungssoftware GIMP zugeschnitten und entzerrt. Zur optimalen Ausleuchtung des Modells wurden in Cinema 4D verschiedene Lichtquellen erstellt und platziert, da sich dadurch

besondere Merkmale der verschiedenen Objekte gerade für die Abendzeit gut hervorheben lassen. Rund um den Verteidigungsturm wurden z.B. insgesamt sechs Strahler positioniert, welche die Grundmauern beleuchten (Abb. 6 links oben).

Zur Generierung einer Videosequenz wurde für dieses Projekt eine auf einem Spline verlinkte objektorientierte Kamera gewählt, da sie zum einen auf unterschiedliche Objekte ausgerichtet werden konnte und zum anderen entlang des Splines als Kamerapfad lief. Zur Erzeugung der Bildsequenz wurden nach dem Rendering mit dem Standardrenderer von Cinema 4D Einzelbilder im Format TIFF abgespeichert, um bei einem Prozessabbruch, z.B. durch Systemabsturz des Computers, keine Daten zu verlieren. Denn das Rendering von 6000 Frames (240 Sekunden oder 4 Minuten Videolänge) auf einem Standardrechner war mit 784 Stunden (das entspricht 33 Tagen) sehr zeitaufwendig. Zwei Filmsequenzen (Walk-Through und Fly-Through) wurden in dem Bild-Manager von Cinema 4D erstellt und im Videoformat AVI abgespeichert. Für die Zusammenführung der beiden Sequenzen wurde die Videoschnitt-Software iMovie der Firma Apple verwendet. Nachdem Audioeffekte wie z.B. Vogelgezwitscher oder Hintergrundmusik zum Film hinzugefügt wurden, wurde das Video als HD 720p, welches einer Auflösung von 1280x720 Pixel entspricht, im Format MOV exportiert. Dieses Video weist ein Datenvolumen von 261 MByte auf, während das 3D-Modell im Format .c4d 371 Mbyte groß ist und 137 Texturen mit einem Datenvolumen von 192 Mbyte besitzt. Das erstellte Video ist im Internet unter YouTube (https://www.youtube.com/watch?v=CtUh1El_exg) verfügbar. Der Zeitaufwand für die Erstellung des Videos betrug ohne die Zeit für das Rendering 175 Stunden.



Abb. 6: Ausschnitte aus dem in Cinema 4D erstellten Video der Festung Kristiansten – Verteidigungsturm Donjon (links oben) und Kommandantur (rechts oben) mit Beleuchtung sowie Ansichten auf die gesamte Festungslänge (unten)

5.2 Interaktive 3D-Visualisierung

Die interaktive Visualisierung ist eine Darstellungsform, bei der der betrachtende Anwender selber den Blickwinkel, aus dem er die Szene betrachten möchte, wählt und eine Game Engine die gewählte Perspektive in Echtzeit berechnet und darstellt. Im Rahmen dieses Projektes wird die Engine Unity eingesetzt. Sie bietet gute Performance und Programmierbarkeit durch die Sprache C#. Ein klarer Vorteil gegenüber anderen auch gebräuchlichen Engines ist, dass sie eine direkte Ausgabe auf unterschiedliche Plattformen, wie PC (Windows, Mac), mobile Endgeräte (Android und iOS) und ins Web mit einem Klick bietet. Diese Möglichkeit ist bereits in der kostenlosen Version von Unity enthalten, was ihren Einsatz auch in Bereichen erlaubt, in denen keine großen Investitionen möglich sind.

Da durch die Erfassung mit Laserscanning ein vollständiges Modell der gesamten Festungsanlage vorliegt, wird die Bewegung des Betrachters im Modell als Rundgang umgesetzt. Der Nutzer bewegt sich dabei über das Gelände zu Fuß wie ein Mensch bei einem Besuch des realen Bauwerks. Als Schnittstelle zwischen Computer und Nutzer wird eine Steuerung mit Maus und Tastatur sowie durch den Controller der Playstation3 (Dualshock3) eingesetzt. Über Tasten und Zeiger (Joysticks) lassen sich sowohl die Positionsänderungen als auch die Blickrichtung dem System mitteilen. Näheres zu unterschiedlichen Steuerungen in Unity findet man in TSCHIRSCHWITZ et al. (2014).

Die Ausgabe an den Nutzer erfolgt wahlweise als einfache perspektivische Darstellung oder in unterschiedlichen Formen des stereoskopischen 3D. Angepasst an unterschiedliche Anzeigeräte kann die Ausgabe auf Basis von NVIDIA 3D Vision für 3D-Monitore oder Top-Bottom- bzw. Side-by-Side-Stereo, z.B. für stereoskopische Projektoren, erfolgen.

Die interaktive Visualisierung erfolgt auf Basis des texturierten Modells, welches auch Grundlage der gerenderten Videosequenz war. Da keine Datenreduktion durch Erstellung eines CAD-Modells für die gesamte Anlage erfolgte, bietet sich hier nur die Darstellung auf leistungsfähiger Hardware an. Auf eine Präsentation mit einem Smartphone, wie in TSCHIRSCHWITZ et al. (2014) beschrieben, muss hier daher verzichtet werden. Die viel zu hohe Punktdichte der Dreiecksvermaschung überschreitet dabei die Grenzen der in modernen Smartphones verbauten Prozessoren und Grafikchips. Eine starke Datenkompression ist bei diesem Modell nicht sinnvoll, da eine hohe Auflösung für eine realistische und ansprechende Darstellung des anspruchsvollen Geländes notwendig ist.

6 Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde gezeigt, dass durch die Integration von praktischen Projekten in Lehrveranstaltungen der Bachelor- und Masterstudiengänge Geomatik der HCU Hamburg sowie in internationalen Summer Schools im Rahmen von ERASMUS Dozenten- und Studierenden-Austauschprogrammen größere Projekte in der Architekturphotogrammetrie erfolgreich bearbeitet werden können. Die Datenerfassung und erste Bearbeitungsprozesse erfolgten für das Projektbeispiel Festung Kristiansten in zwei Summer Schools, in der sich Studierende aus verschiedenen Hochschulen zwei Wochen lang intensiv mit der Thematik in Vorlesungen und praktischen Projektbearbeitungen auseinandersetzen konnten. Die weiterführende und vertiefte

Bearbeitung des Projektes wurde dann im Rahmen eines ERASMUS Austauschsemesters an der NTNU Trondheim durch eine Studentin durchgeführt (MAZIULL 2011). In dem folgenden Wintersemester 2012/2013 konnte das erstellte 3D-Modell der Festungsanlage Kristiansten von derselben Studentin in der Lehrveranstaltung Projekt Visualisierung des Masterstudienganges Geomatik bearbeitet werden. Dabei wurde das gesamte Modell in Cinema 4D weiter gestaltet und sehr detailliert texturiert, so dass daraus eine Videosequenz generiert werden konnte, die im Internet unter YouTube verfügbar ist. Nach der Konvertierung des 3D-Modells aus Cinema 4D in die Game Engine Unity ergeben sich durch die interaktive 3D-Visualisierung auf verschiedenen Ausgabegeräten wie 3D-Monitoren weitere Möglichkeiten der immersiven Betrachtung für einen interessierten Anwender.

Die Integration solcher praktischen Projekte in Lehrveranstaltungen von Bachelor- und Masterstudiengängen fördert eine erhöhte Motivation und Lernbereitschaft der Studierenden, da der theoretische Hintergrund und der praktische Bezug gut miteinander verknüpft werden können. Die Vorbereitung und Durchführung von internationalen Summer Schools fordert zwar einen entsprechenden logistischen und organisatorischen Aufwand, wenn man dabei den notwendigen bürokratischen Aufwand für das ERASMUS Programm vernachlässigt. Jedoch steht dem Aufwand der Gewinn durch eine zeitlich begrenzte, aber intensive Ausbildung, durch den Ausbau des persönlichen Netzwerkes, die Bearbeitung von interessanten Projekten und die Erweiterung des eigenen Horizontes durch Lehren und Lernen im internationalen Umfeld gegenüber.

7 Literaturverzeichnis

- BRATBERG, T.T.V., 2008: Trondheim Byleksikon. 2. Auflage, Kunnskapsforlaget, Oslo, ISBN 978-82-573-1762-1.
- DAAD, 2012: ERASMUS (Sonderausgabe) - Happy birthday, ERASMUS! Die Erfolgsgeschichte der Europäischen Union feiert ihr 25-jähriges Bestehen. DAAD euroletter, Deutscher Akademischer Austauschdienst, August, 36 S. (abgerufen am 19. Januar 2015), https://eu.daad.de/medien/eu/publikationen/sonderausgabe_euroletter.pdf.
- KAVLI, G., 1987: Norges festninger. Universitetsforlaget, ISBN 978-82-00-18430-0.
- KERSTEN, T., ACEVEDO PARDO, C., 2003: Wie kommt das Ahrensburger Schloss in den Computer? - 3D-Gebäudeerfassung und Visualisierung durch digitale Photogrammetrie. DenkMal! Schleswig Holstein, Zeitschrift für Denkmalpflege in Schleswig Holstein, Landesamt für Denkmalpflege in Schleswig-Holstein (Hrsg.), Jahrgang 10, Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co., Heide., S. 48-54.
- KERSTEN, T., 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, S. 213-222.
- KERSTEN, T., ACEVEDO PARDO, C., LINDSTAEDT, M., 2004: 3D Acquisition, Modelling and Visualization of north German Castles by Digital Architectural Photogrammetry. IAPRS, Vol. XXXV, Part B2, S. 126-132.
- KERSTEN, T., 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, T., BIEBERMANN, M., SCHNEIDER, M., 2006: 3D-Erfassung und Modellierung des Duderstädter Westerturmensembles durch Kombination von digitaler Architektur-photogrammetrie und terrestrischem Laserscanning. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2006, Th. Luhmann/C. Müller (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, S. 254-263.
- KERSTEN, T., 2006: Kombination und Vergleich von digitaler Photogrammetrie und terrestrischem Laserscanning für Architekturanwendungen. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., e.V., Band 15, E. Seyfert (Hrsg.), S. 247-254.
- KERSTEN, T., 2007: Virtual Reality Model of the Northern Sluice of the Ancient Dam in Marib/Yemen by Combination of Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for Archaeological Applications. International Journal of Architectural Computing, Special Focus on Cultural Heritage, Issue 02, Volume 05, Published by Multiscience, S. 339-354.
- KERSTEN, T., BÜYÜKSALIH, G., BAZ, I., JACOBSEN, K., 2009: Documentation of Istanbul Historic Peninsula by Kinematic Terrestrial Laser Scanning. The Photogrammetric Record, **24**(126): S. 122-138 (June 2009).
- KERSTEN, T., LINDSTAEDT, M., 2012: Virtual Architectural 3D Model of the Imperial Cathedral (Kaiserdom) of Königsutter, Germany through Terrestrial Laser Scanning. EuroMed 2012 - Int. Conference on Cultural Heritage, Ioannides, M.; Fritsch, D.; Leissner, J.; Davies, R.; Remondino, F.; Caffo, R. (Eds.), Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Volume **7616**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 201-210.
- KERSTEN, T., MECHELKE, K., 2013: Fort Al Zubarah in Katar – 3D-Modell aus Scanner- und Bilddaten im Vergleich. AVN - Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 2/2013, S. 50-58.
- LINDSTAEDT, M., KERSTEN, T., MECHELKE, K., GÖTTING, M., HEIDEN, R., 2008: Virtuelles 3D-Modell der antiken Tempelanlage in Sirwah/Jemen zur archäologischen Objektdokumentation durch terrestrisches Laserscanning und Photogrammetrie. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 17, E. Seyfert (Hrsg.), S. 59-68.
- LINDSTAEDT, M., MECHELKE, K., SCHNELLE, M., KERSTEN, T., 2010: Virtuelle 3D-Rekonstruktion des Almaqah-Tempels von Yeha in Äthiopien mit Hilfe terrestrischer Laserscanning-Daten. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2010, Th. Luhmann/Ch. Müller (Hrsg.), Wichmann, VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, S. 50-57.
- MAZIULL, L., 2011: 3D Modelling and Visualization of Kristiansten Fortress in Trondheim. Semesterarbeit an der NTNU Trondheim, Dezember.
- MAZIULL, L., 2013: Visualisierung der Festung Kristiansten in Trondheim, Norwegen in Cinema 4D. Semesterarbeit an der HCU Hamburg, März.
- STALLMANN, D., KERSTEN, T., 2012: Automatisches Texture Mapping von 3D-Modellen in Architektur und Archäologie. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 21, Seyfert, E. (Hrsg.), S. 381-391.
- TSCHIRSCHWITZ, F., KERSTEN, T., ZOBEL, K., 2014: Interaktive Visualisierung und Steuerung von 3D-Modellen und Punktwolken mit Low-Cost Systemen. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 23, Potsdam, Seyfert, E., Gülch, E., Heipke, C., Schiewe, J., Sester, M. (Hrsg.), Beitrag 173.