



BEUTH HOCHSCHULE FÜR TECHNIK BERLIN
University of Applied Sciences

Fachbereich III
Bauingenieur- und Geoinformationswesen
Vermessungswesen und Geomatik

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Engineering

*Vermessung und 3D Modellierung eines Tunnels auf der
archäologischen Ausgrabung Oymaağaç Höyük, Türkei*



Autor: ROTHE, Peter
MatNr. 779230

Abgabetermin: 24. September 2014

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Martin Kähler
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Werner Stempfhuber

Vorwort

In dieser Bachelorarbeit befasse ich mit dem terrestrischen Laserscanning, wobei das Zielobjekt vollständig und steingerecht modelliert und visualisiert werden soll. Zusätzlich wird vergleichend dazu, die Erstellung dreidimensionaler Modelle mit verschiedenen Methoden der Photogrammetrie untersucht, die die Ergebnisse des Lasercannings verdichten bzw. ergänzen sollen.

Das zu vermessende Objekt befindet sich auf einer Hügelkuppe der Mittleren Pontiden in der Türkei, nahe dem kleinen Ort Oymaağaç, etwa 60 km westlich von Samsun am Schwarzen Meer. Diese Hügelkuppe, der Oymaağaç Höyük, wird in einem Projekt mehrerer Institute und Hochschulen, unter der Leitung der Freien Universität und durch die Grabungsleiter Prof. Dr. Rainer Czichon und Prof. Dr. Jörg Klinger bereits in mehreren Kampagnen seit dem Jahr 2007 erforscht und ausgegraben. Der Oymaağaç Höyük ist mit großer Wahrscheinlichkeit mit dem Kultzentrum "Nerik", dem Krönungsort der hethitischen Könige der Frühzeit, zu identifizieren und umfasst neben der hethitischen Tempel- und Stadtanlagen auch einen zum grössten Teil unerforschten Tunnel. Dieser etwa 24 Meter lange und etwa 3500 Jahre alte Tunnel mit Kraggewölbe aus Bruchsteinen soll in dieser Arbeit detailgetreu dokumentiert werden.

Ich möchte hier auch die Gelegenheit nutzen, um meinen Dank auszusprechen. Besonders danken möchte ich Prof. Dr.-Ing. Martin Kähler, der mir diese Bachelorarbeit ermöglicht hat und mit mir im September 2013 vor Ort in Oymaağaç war. Er stand mir mit seinem Laborteam um Dipl.-Ing. Marko Koch und Dipl.-Ing. Monika Lehmann immer mit Rat und Tat zur Seite. Ebenso hilfreich war mir die Expertise von Prof. Dr.-Ing. Werner Stempfhuber, der mich insbesondere in Fragen der Netzmesung unterstützt hat. Herzlich danken will ich auch Prof. Dr. Rainer Czichon, Institut für Vorderasiatische Archäologie und Prof. Dr. Jörg Klinger, Institut für Altorientalistik der Freien Universität Berlin. Beide Professoren haben mir diese Forschungsreise ermöglicht, mich als Teil des Forschungsteams vor Ort aufgenommen und mich mit

Fachwissen und Material über die Hethiter versorgt.

Ebenfalls will ich meinen Kommilitonen danken, die mich während meiner Studienzeit immer gut gelaunt begleitet und mir die gemeinsame Zeit verschönert haben - you know who you are.

Ein besonderer Dank geht an meine Familie und Freunde, die mir während der Studienzeit stets zur Seite standen und mich unterstützt haben - Vielen Dank!

Inhaltsverzeichnis

Vorwort		iii
1	Einleitung	1
1.1	Aufgabenstellung	1
1.2	Motivation	2
1.3	Die Hethiter	3
1.4	Der Oymağaç Höyük	4
1.5	Die Situation vor Ort	5
2	Grundlagen	6
2.1	Erfassung von Bauwerken	6
2.1.1	Handaufmaß	7
2.1.2	Tachymetrie	7
2.1.3	Terrestrisches Laserscanning	10
2.1.4	Mehrbildphotogrammetrie	11
3	Software	16
3.1	Leica Cyclone	16
3.2	Adobe Photoshop	17
3.3	PTGui	17
3.4	Leica TruView	17
3.5	Agisoft PhotoScan	18
3.6	Trimble Business Center	18
3.7	CAPLAN	18
3.8	aSPECT 3D	18
4	Am Oymağaç Höyük	19
4.1	Betrachtung des Messgebietes	19

4.2	Instrumentarium	19
4.2.1	Scanner HDS 7000	20
4.2.2	Trimble S6 2"DR 300+	20
4.2.3	Olympus EM-5	20
4.2.4	Canon EOS 550D	20
4.3	Lage und Höhennetz	21
4.4	Tachymetrie	22
4.4.1	Stationierung	22
4.4.2	Passpunktmessung	22
4.5	Laserscanning	22
4.5.1	Panoramen	23
4.6	Mehrbildphotogrammetrie	24
5	Auswertung der Daten	25
5.1	Vor Ort	25
5.2	Passpunktkoordinaten	25
5.2.1	TBC	25
5.2.2	Caplan	26
5.3	Photoshop	27
5.4	PTGui	28
5.4.1	Panoramabildung	28
5.4.2	Cube Faces	29
5.5	Leica Cyclone	30
5.5.1	Targets Registrieren	31
5.5.2	Texturierung	31
5.5.3	Beschneidung der Scans	32
5.5.4	Registrierung der Scans	32
5.6	AgiSoft PhotoScan	33
5.6.1	Bearbeitungsschritte	33
5.6.2	Align Images	33
5.6.3	Mesh	34
5.6.4	Passpunktmessung	35
5.6.5	Dense Cloud	36
5.6.6	Mesh	36
5.6.7	Texturierung	36

5.7	aSPECT 3D	36
5.8	CloudCompare	37
6	Ergebnisse	39
6.1	Vergleich der Messverfahren	39
6.1.1	Oberflächenstruktur	41
6.1.2	Aufnahme der Zwischensteinlücken	42
6.1.3	Anzahl der Punkte	43
6.2	Kombination der Verfahren	44
6.3	Visualisierung der Punktwolken	47
6.3.1	Flug durch den Tunnel	47
6.3.2	TruView	47
7	Zusammenfassung	50
7.1	Laserscanning	50
7.2	Mehrbildphotogrammetrie	50
7.3	Fazit	51
	Literaturverzeichnis	52
	Abbildungsverzeichnis	55
	Tabellenverzeichnis	57
	Abkürzungsverzeichnis	57
	Anhang	59

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Die Ausgrabung am Oymaağaç Höyük soll mit Hilfe einer Kombination von geistes- und naturwissenschaftlichen Methoden die Ursachen für die Entstehung eines zentralen Ortes an dieser Stelle klären. Es werden die Struktur der hethitischen Stadtanlage und des umliegenden Siedlungsgebietes erforscht, die Ursachen des Bedeutungsverlustes und die Verlagerung des zentralen Ortes in römischer Zeit in das südliche Neapolis, sowie die Veränderung unter kaschkäischer Herrschaft nachvollzogen. [21, NER]

Das Oymaağaç-Nerik Projekt ist ein Kooperationsprojekt mehrerer Hochschulen und Institute unter der Leitung von Prof. Dr. Jörg Klinger und Prof. Dr. Rainer Czichon der Freien Universität Berlin. Von zentraler Bedeutung ist dabei die Freilegung einer 2500 m² großen Tempelanlage aus hethitischer Zeit auf einer Hügelkuppe nahe Oymaağaç in der Türkei. Im Rahmen der Arbeiten an diesem Projekt ergibt sich eine vermessungstechnisch sehr interessante Fragestellung im Zusammenhang mit der steingerechten Dokumentation eines schmalen Tunnelkomplexes. Die Vermessung und 3D-Modellierung des freigelegten Teiles dieses Tunnels ist das Ziel dieser Bachelorarbeit.

Aufgrund der schwer zugänglichen Lage und Form des zu vermessenden Objektes werden unterschiedliche Vermessungsverfahren angewendet und in zweckmäßiger Weise kombiniert, um als Ziel die steingerechte Dokumentation in einem dreidimensionalen Modell zu erlangen. Klassische Tachymetrie kommt bei der geodätischen Einmessung von Passpunkten zum Zuge, photogrammetrische Aufnahme- und Auswertungsverfahren werden zusammen mit dem terrestrischen Laserscanning zur Dokumentation des Objektes herangezogen, kombiniert bzw. ergänzend eingesetzt und miteinander vergleichend untersucht. Eine abschließende Beurteilung der Qualität der Ergebnisse wird abgegeben.



Abb. 1.1: Stier-Gefäße aus Boğazköy

Im Verlauf dieser Bachelorarbeit werden vorab wesentliche Grundlagen erläutert und angewandte Messverfahren eingehend beschrieben. Der Messaufbau und die praktische Realisierung vor Ort werden erläutert, sowie die Abläufe der verschiedenen Auswertverfahren detailliert vorgestellt. Die erlangten Ergebnisse werden unter Berücksichtigung ihrer Genauigkeit analysiert und final verdichtend in einem dreidimensionalen Modell zusammengeführt. Als abschliessende Aufgabe wird die im Jahr 2012 von Thomas Mewes und Sebastian Wichert erarbeitete Punktwolke im oberen Teil mit den neuen Modellen vergleichend betrachtet und untersucht. Im letzten Kapitel wird ein kurzes Fazit gezogen.

1.2 Motivation

In dieser Abschlussarbeit soll im Studiengang Vermessungswesen und Geomatik erlerntes - fast ausschließlich theoretisches - Wissen angewendet und an einem wissenschaftlichen Projekt erweitert und vertieft werden. Es sollen in diesem Projekt bekannte Aufnahme- und Auswertverfahren, technische Instrumente und Softwareprodukte eingesetzt und durch neueste Hard- und Software ergänzt werden. Das im Studienverlauf erlernte grundlegende Wissen soll vertieft und erweitert werden - insbesondere in den zukunftssträchtigen Bereichen der Photogrammetrie und des Laserscannings. Zudem wird das Ergebnis dieser Arbeit einen kleinen Teil zum Erfolg des Oymaağaç-Nerik Projektes beisteuern können.

Die Idee zu dieser Abschlussarbeit wurde von Prof. Dr. Martin Kähler ins Leben gerufen, der das Projekt in der Türkei schon länger betreut. Die Bachelorarbeit hat zum Ziel, die Ergebnisse der jeweils angewandten Verfahren zu vergleichen, ergänzend zu kombinieren und zu analysieren. Die kombinierte Auswertung dient der möglichst vollständigen Modellierung des Objektes.

Die Herausforderung in der Türkei mit neuestem technischen Aufwand Daten zu erheben und diese in Berlin in mehreren Methoden und Programmschritten im Labor auszuwerten, war dabei die Motivation diese Arbeit anzugehen, durchzuziehen und erfolgreich zu beenden.

1.3 Die Hethiter

“Im Unterschied zu anderen großen Kulturen der vorgriechischen Antike, wie jener der Ägypter oder der Assyrer, war die der Hethiter weitestgehend aus dem historischen Bewusstsein der Nachwelt verschwunden.” [7, KLINGER 2012] Erst im Laufe des 19. Jahrhunderts als im Zuge des wachsenden Interesses an Geschichte und Kultur des Vorderen Orients und Ägyptens die Aufmerksamkeit zunehmend auf dem Bereich des östlichen Mittelmeeres fiel, waren es zunächst die materiellen Hinterlassenschaften der späthethitischen Staaten Nord- und Mittelsyriens, die wissenschaftliches Interesse hervorriefen. Als in den Jahrzehnten nach 1850 u.a. die ägyptischen Quellen nach der Entschlüsselung der Hieroglyphen immer intensiver ausgewertet werden konnten, entstand allmählich das erste Bild einer hethitischen Großmacht, mit vorerst unbekanntem Zentrum. Dieses wurde nach damaligem Wissen im syrischen, mesopotamischen Raum vermutet. [8, vgl. KLINGER 2012]

Nachdem immer mehr Ruinen und vor allem Felsreliefs in Kleinasien entdeckt wurden, fiel der Fokus um 1893/94 auf erste Versuchsgrabungen an der Stadtruine von Boğazköy in Anatolien. Dabei stieß der Franzose Ernest Chantre auf erste Tontafelfragmente. Keilschrifttafeln waren um 1900 für geübte Philologen zwar lesbar, die Boğazköy Texte waren jedoch in einer gänzlich neuen und unbekannten Sprache abgefasst und somit vorerst unverständlich. Mit Hilfe von Tontafeln, die als diplomatische Korrespondenz eines Königs bzw. von Staatsverträgen in akkadischer Sprache identifiziert und lesbar waren, verdichtete sich die Vermutung eine Königsstadt gefunden zu haben. Als Hugo Winckler dann 1906 einige besondere Tontafeln fand, die er einem bereits be-

kannten ägyptischsprachigen Dokument gleichsetzte, gab es kaum mehr Zweifel, dass die Ruinen von Boğazköy mit der hethitischen Hauptstadt Hattusa identisch waren und das Zentrum des hethitischen Großreiches nun doch im Norden der anatolischen Hochebene, rund 200 km nördlich der heutigen Hauptstadt der Türkei, Ankara, liegt. Bei diesem wegweisenden Dokument handelte es sich um Fragmente des Friedensvertrages zwischen Ramses II. von Ägypten und dem hethitischen Großkönig Hattusili III. von Hatti. [8, vgl. KLINGER 2012]

In den 1920er Jahren trug der Schweizer E.O. Forrer dann maßgeblich durch seine Forschung an den in Boğazköy gefunden Keilschrifttafeln dazu bei, dass die hethitische Sprache verständlich wurde und sich eine eigenständige Forschungsdisziplin, die Hethitologie, entwickelte. [9, vgl. KLINGER 2012]

1.4 Der Oymağaç Höyük

Von der hethitischen Hauptstadt Hattusa dehnte sich der hethitische Einfluß und somit das Kernreich schnell bis an das Schwarze Meer aus. Nach dem Bild, das sich aus den inschriftlichen Quellen gewinnen lässt, stellten die beiden bedeutendsten hethiterzeitlichen Städte in dieser Region, Nerik und Zalpa, wichtige Fixpunkte für die Ausbildung der hethitischen Kultur insgesamt dar. Es ist davon auszugehen, dass beide Städte schon im 2. Jahrtausend vor Christus von überregionaler Bedeutung waren. So nehmen der Wettergott von Nerik, der auch der persönliche Gott eines so bedeutenden Königs wie Hattušili III. war, und ein spezieller Kultort in Nerik, der den Namen dahanga trägt, innerhalb der religiösen Vorstellung der Hethiter einen zentralen Platz ein.

Auch wenn die historische Geographie des nördlichen Zentralanatolien der hethitischen Zeit noch viele Fragen im Detail aufwirft, so besteht doch in der Forschungsliteratur seit geraumer Zeit eine weitgehende Einigkeit dahingehend, dass Nerik in einem Raum nördlich von Vezirköprü-Havza gelegen haben müsste. Quellen dafür sind neben dem großen Hattušili-Text vor allem verschiedene Feldzugsorakel, in denen die lokale Nähe zum Fluss Kızılrnak beschrieben wird.

Für eine Identifikation mit dem Ruinenhügel von Oymağaç in unmittelbarer Nähe des Kızılrnak haben sich deshalb J. Yakar und A. Dinçol sowie M. Forlanini ausgespro-

chen. Anfang der 1970er Jahre wurde bereits die erste wissenschaftliche Identifizierung durch B. Alkim vorgenommen. Aufgrund seiner Größe und verkehrsgeographischen Lage am Nordrand des von Kupfer- und Silberminen umgebenen Beckens von Vezirköprü nahe des Kızılırmak kommt dem Oymağaç Höyük eine Schlüsselstellung in der Gebirgslandschaft der Mittleren Pontiden zu. Er ist mit großer Wahrscheinlichkeit mit dem Kultzentrum „Nerik“, dem Krönungsort der hethitischen Könige der Frühzeit, zu identifizieren, der ab dem Ende der Mittleren Bronzezeit ständig durch die Kaschkäer bedroht war. [22] vgl. www.nerik.de]

1.5 Die Situation vor Ort

Während der An- und Einreise in die Türkei kam es zu einer Reihe von Problemen. So stellte sich der Transport und die Verzollung der sensiblen und teuren Vermessungsgeräte, insbesondere des Scanners HDS7000, als schwierig dar. Vor Ort angekommen, wurde direkt die Ausgrabung und vor allem der Tunnelkomplex besichtigt. Dieser erstreckt sich über 24 m (wovon 20 m begehbar waren). Die Höhe betrug an den höchsten Stellen circa 1,90 m und durchschnittlich 1,75 m. Die Breite des Tunnels betrug am Boden circa 1,50 m und verlief nach oben hin spitz als Kraggewölbe zusammen. Für die folgenden 10 Tage fokuzierte sich unsere Tätigkeit auf dieses Objekt.



Abb. 1.2: Kraggewölbe im Tunnel

2 Grundlagen

2.1 Erfassung von Bauwerken

Als Bauwerke definiert man generell Ingenieurbauwerke, wie z.B. Gebäude, Brücken, Tunnel oder Verkehrswege - zu verstehen als künstliche, von Menschenhand errichtete Objekte. Es gibt vielfältige Gründe ein Bauwerk zu vermessen und/oder zu dokumentieren. Die Ergebnisse einer solchen Erfassung können Bauingenieuren, Raumplanern, Architekten, oder wie hier Archäologen eine Grundlage ihres Arbeitens sein.

Hier soll die Bauaufnahme zum Zwecke der Bauforschung und Denkmalpflege genannt sein, die sich durch ein hohes Maß an Genauigkeit und Detailreichtum auszeichnet. So kann für die Archäologie eine detaillierte und umfassende Bestandserfassung von Nöten sein, die auch eine Rekonstruktion zerstörter oder fehlender Teile des Bauwerkes erlaubt. [1] vgl. ECKSTEIN]

Zur Festlegung des Begriffes Bauaufnahme soll hier die am häufigsten zitierte Definition angeführt werden: "Bauaufnahme ist die Bestands- und Zustandserfassung eines dreidimensionalen Objekts und dessen Wiedergabe in zweidimensionalen maßstabsgerechten Plänen und – soweit zeichnerisch nicht darstellbar – durch die verbale Beschreibung. Damit lässt sich die Bauaufnahme als die Umkehrung des Prozesses beschreiben, der vom architektonischen Entwurf über die Bauausführung zum fertiggestellten, ggf. im Laufe der Zeit veränderten Bauwerk führt." [17] WANGERIN]

Damit ist insbesondere Ziel und Zweck einer Bauaufnahme, zweidimensionale Zeichnungen und Pläne von einem dreidimensionalen Objekt anzufertigen. Weiterhin fallen der digitalen Auswertung und Dokumentation immer mehr Gewicht zu, seien es 3D Modelle oder Simulationen.

Im Vermessungswesen gibt es mehrere Methoden, um das erwünschte Ergebnis der Bauaufnahme zu erreichen. Je nach Form, Lage und Beschaffenheit des aufzunehmenden Bauwerks, sollte man sich für eine Methode oder die Kombination verschiedener solcher entscheiden.

- Handaufmaß
- Tachymetrie
- Photogrammetrie
- Laserscanning

Im Folgenden werden diese Methoden kurz erläutert.

2.1.1 Handaufmaß

Das händische Aufmaß bedient sich einfachster Messmittel wie u.a. Gliedermesstab, Bandmaß, Winkelprisma und immer verbreiteter auch Handlaserentfernungsmessern (Distos). Am Messobjekt selbst werden direkte Längenmessungen abgegriffen und zeitnah in einer groben Feldskizze festgehalten. Ein dreidimensionales Aufmaß über einfache Streckenmessungen ist nicht wirtschaftlich durchführbar, sobald die Objektgeometrie viele Details aufweist. Daher wird das Handaufmaß meist nur in der Ebene der Grundrisse und Schnitte zweidimensional getrennt in Lage und Höhe ausgeführt. Das Handaufmaß lohnt sich bei einfachen Strukturen und überall dort, wo nicht erst aufwendig ein Bezugssystem geschaffen werden muss. Nur kurze Entfernungen bis 20 m können mit vertretbarer Genauigkeit gemessen werden. Winkel müssen über Spannmaße abgeleitet oder kontrolliert werden, was einen erheblichen Aufwand darstellt. Zudem weist das Handaufmaß in der Summe aller Messungen eine ungünstige Fehlerfortpflanzung auf. [5] vgl. KERN]

2.1.2 Tachymetrie

Als Tachymeter wird ein Instrument zur dreidimensionalen Aufnahme von Punkten bezeichnet. Vom Instrumentenstandpunkt werden Polarkoordinaten (Horizontalwinkel, Zenitwinkel und horizontale Entfernung) registriert und gespeichert. Zudem muss die Instrumentenhöhe, als auch die Höhe des Zielprismas über dem Bodenpunkt gemessen

werden, da der Höhenunterschied auf die Bodenhöhe reduziert werden muss. [16] vgl. RESNIK/BILL]

Im Feld gemessene Daten können bereits vor Ort bearbeitet, komplettiert oder verändert werden und mittels Datenfluss für die weitere Bearbeitung zur Verfügung gestellt werden.

“Zur Messung der (schrägen) Strecke zwischen zwei Punkten wird von einem Sender eine elektro-magnetische Strahlung im Bereich des nahen Infrarotlichtes oder des sichtbaren Lichtes ausgesandt, im Zielpunkt von einem Tripel-Prisma reflektiert und im Instrument wieder empfangen. Sender und Empfänger sind in einem Gehäuse untergebracht.“ [10] KORTH]

Impulslaufzeit

Hierbei wird zur Streckenbestimmung die Laufzeit des mehrfach in sehr kurzen Intervallen ausgesandten Lichtimpulses beim Durchlauf der doppelten Strecke (zur Reflexionsebene und zurück) gemessen. Die resultierende Genauigkeit ist jedoch für die terrestrischen Verfahren im Vergleich zum Phasenvergleich schlechter. [2] vgl. HEHL/-BECKER]

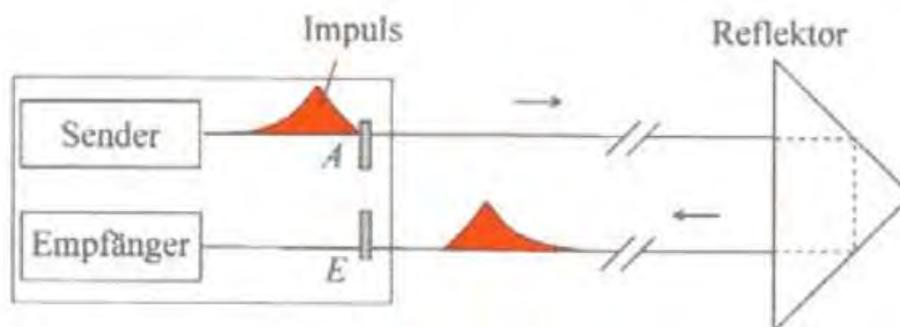


Abb. 2.1: Impulslaufzeit

$$D = \frac{c * t}{2} \quad (2.1)$$

Phasenvergleich

Dabei werden unterschiedlich frequentierte Signale gesendet, anhand deren Wellenlängen die Distanz aus der Anzahl der vollständigen Intervalle zuzüglich der Restlänge des unvollständigen Intervalls berechnet werden können. Somit ist die gesamte zurückgelegte Strecke als das Zweifache der Entfernung zum Zielpunkt definiert. Eventuell auftretende Mehrdeutigkeiten können durch Messungen mit mehreren Frequenzen aufgelöst werden. [2] vgl. HEHL/BECKER], [15] vgl. PETRAHN]

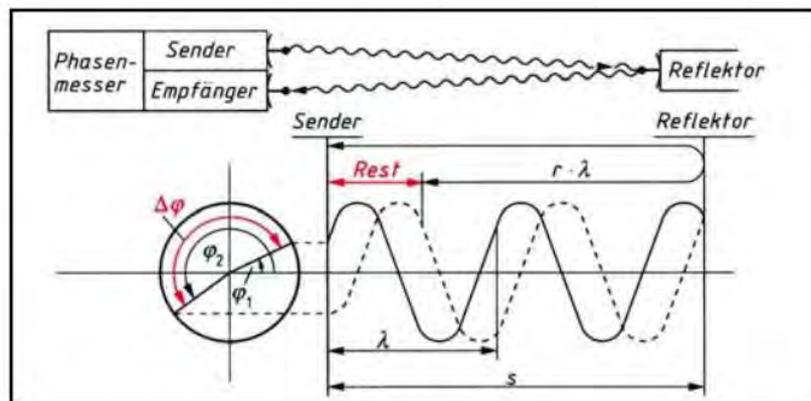


Abb. 2.2: Phasenvergleich

$$2s' = n * \lambda + Rest \quad (2.2)$$

$$Rest = \lambda * \frac{\Delta\phi}{2\pi} \quad (2.3)$$

$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 \quad (2.4)$$

Elektronische Winkelbestimmung

Die Ablesung der Horizontal- und Vertikalrichtungen erfolgt beim elektronischen Tachymeter mittels elektronischem Teilkreisabgriffsverfahren, wobei vorwiegend die optoelektronischen Verfahren

- Codeverfahren
- Inkrementalverfahren
- Dynamisches Verfahren

Anwendung finden.

Optimierung durch Ausgleichung

“Es ist eine als zweckmäßig allgemein anerkannte Vorsicht, sich auf das Ergebnis einer Messung (Beobachtung) nicht eher zu verlassen, als bis es einer Kontrolle durch andere, so genannte überschüssige Messungen unterworfen worden ist und dieser Genüge geleistet hat.” [4] HELMERT]

Somit sind alle Messungen mit Fehlern behaftet, die kontrolliert und minimiert werden müssen. Beobachtungen sind auf folgende Fehlerarten zu untersuchen:

- Grobe Fehler
- Systematische Fehler
- Zufällige Fehler

Beim wiederholten Messen derselben Beobachtung treten diese Fehler unregelmäßig auf und müssen bestmöglichst eliminiert werden. Mehrfachbestimmungen durch überschüssige Messungen, die als Redundanz bezeichnet werden, und die folgende Ausgleichung, z.B. durch die Methode der kleinsten Quadrate führen zu ausgeglichenen, d.h. plausibelsten Beobachtungen. [3] vgl. HEHL]

2.1.3 Terrestrisches Laserscanning

Das terrestrische Laserscanning ist eine weitere Methode zur Erfassung von 3D Koordinaten. Auch hier beruht das Messverfahren auf dem Polarprinzip und der hier reflektorlosen Registrierung von Horizontalwinkel, Zenitwinkel und horizontaler Entfernung. Zusätzlich wird die Intensität des zurückkommenden Signales pro Messung, also die Reflexionseigenschaften des aufgenommenen Objektes gespeichert. Im Unterschied zur Tachymetrie werden Punkte vollautomatisch nach Raster, also ohne gezielte Auswahl durch den Operator, erfasst. Je nach Scannermodell kann schon in wenigen Minuten eine vollständige Abbildung im Maßstab 1:1 aus mehreren Millionen Punkten der zu erfassenden Objektgeometrie erstellt werden. Moderne Laserscanner erreichen dabei eine Genauigkeit, die dem eines Tachymeters bei reflektorloser Messung entsprechen. Nachteile dieser Methode sind die sehr hohen Anschaffungskosten, sowie die zeitaufwändige Bearbeitung der generierten Punktwolken. Mit aktuell mehreren hundert Metern bei Phasenvergleich und sogar mehreren tausend Metern bei Impulslaufzeit Scannern, ist der ursprüngliche Reichweitennachteil maßgeblich Geschichte geworden. Im Vergleich

zur Photogrammetrie kann bis dato nur in aufwändigen Prozessen multispektrale Farbinformation in die Punktwolke gebracht werden. [11] vgl.KORTH], [6] vgl. KERN]

2.1.4 Mehrbildphotogrammetrie

Bei der Photogrammetrie werden die Messungen nicht direkt am Objekt, sondern indirekt an dessen Abbildung im Photo zur Bestimmung der Form, Größe und Lage gemacht. Dies ist durch rekonstruierbare Strahlenbündel möglich, wobei Bildpunkt, Projektionszentrum und Objektpunkt kollinear sind, d.h. auf einer Linie liegen - als Modell also die idealisierte Zentralprojektion (Formeln 2.5 und 2.6).

Sind die reale Abbildungsgeometrie in der Kamera (innere Orientierung) und die Lage des Aufnahmesystems im Raum (äußere Orientierung) bekannt, kann jeder Bildstrahl absolut im dreidimensionalen Raum beschrieben werden. Die Mehrbildphotogrammetrie basiert auf der Bündelblockausgleichung, bei der beliebig viele Strahlenbündel orientiert und Objektpunkte so räumlich bestimmt werden können. Die Vorteile der terrestrischen Mehrbildphotogrammetrie wurden schon sehr früh in der Geschichte der Photographie durch Albrecht Meydenbauer erkannt. So können Objekte völlig berührungslös aufgenommen werden, auch wenn diese schwer zugänglich, kompliziert strukturiert, sehr heiß, sehr kalt, ja sogar giftig oder radioaktiv sind. Die Anschaffungskosten der Hardware, sowie die Kosten und der Zeitaufwand der Aufnahmen sind im Vergleich zum Laserscanning sehr gering. [12] vgl. LUHMANN]

$$x' = x'_H - c * \frac{R_{11}(X - X_O) + R_{21}(Y - Y_O) + R_{31}(Z - Z_O)}{R_{13}(X - X_O) + R_{23}(Y - Y_O) + R_{33}(Z - Z_O)} + dx' \quad (2.5)$$

$$y' = y'_H - c * \frac{R_{12}(X - X_O) + R_{22}(Y - Y_O) + R_{32}(Z - Z_O)}{R_{13}(X - X_O) + R_{23}(Y - Y_O) + R_{33}(Z - Z_O)} + dy' \quad (2.6)$$

Innere Orientierung

Die Parameter der inneren Orientierung beschreiben die Lage des Projektionszentrums im kamerafesten Bildkoordinatensystem, sowie die Abweichung vom mathematischen Modell der Zentralperspektive. Die Kamera wird als räumliches System angesehen, welches aus der Bildfläche und einem Objektiv mit dem Projektionszentrum besteht. [12] vgl. LUHMANN]

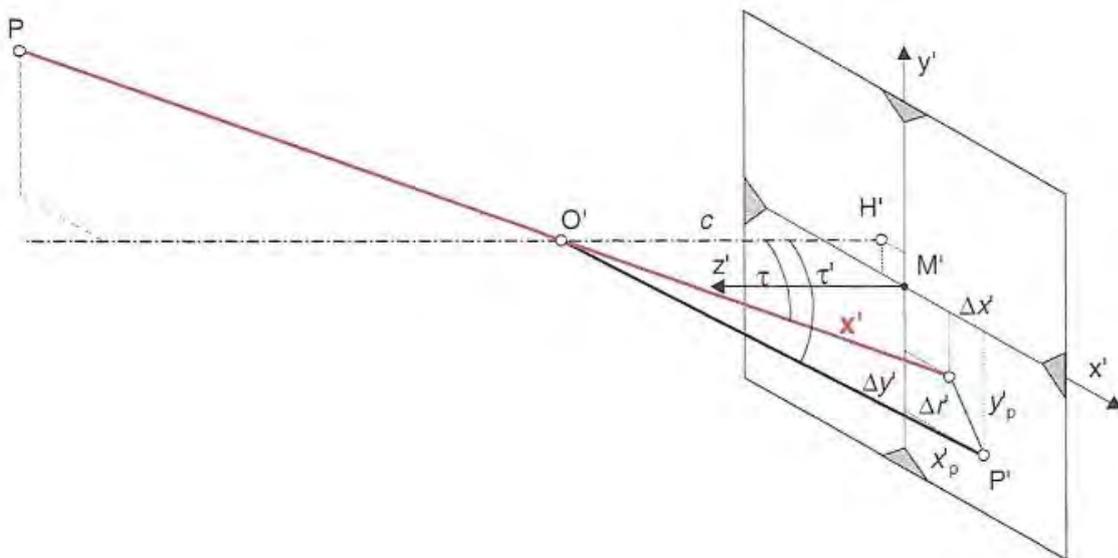


Abb. 2.3: Innere Orientierung

- Kamerakonstante c
Lotrechter Abstand des Projektionszentrums von der Bildebene
- Bildhauptpunkt (x'_p, y'_p)
Lotfußpunkt des Projektionszentrums im Bildkoordinatensystem
- Abbildungsfehler $\Delta r'$

Äußere Orientierung

Die äußere Orientierung beschreibt durch sechs Parameter die Lage der Ausrichtung des räumlichen Bildkoordinatensystems im übergeordneten Objektkoordinatensystem. Das Bildkoordinatensystem liegt mit seinem Ursprung im Projektionszentrum des Bildes. Mit seinem kamerafesten Bezugssystem wird es festgelegt und kann dadurch im Bild rekonstruiert und mit einem Bildmesssystem in Bezug gesetzt werden. [12] vgl. LUHMANN]

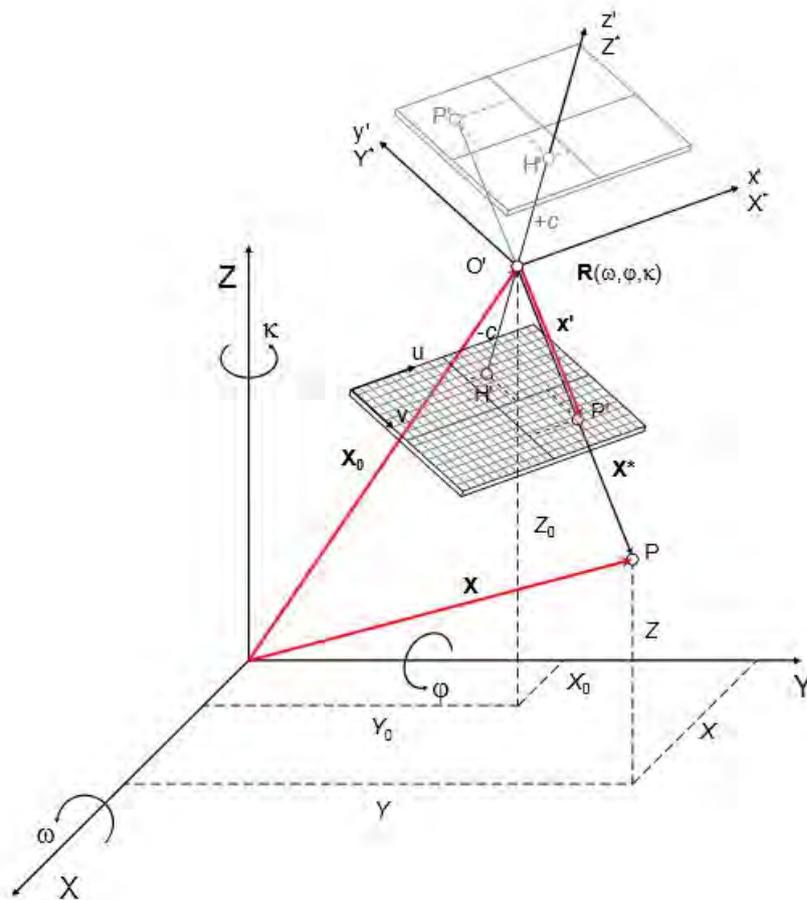


Abb. 2.4: Äußere Orientierung

- Koordinaten des Projektionszentrums (X_0, Y_0, Z_0)
- Bildkoordinatensystem (X', Y', Z')
- Drehwinkel im Raum $(\omega, \varphi, \kappa)$

Relative Orientierung

Bei der relativen Orientierung wird die Lage von zwei oder mehreren Bildern im Raum zueinander wiederhergestellt. Nach dieser Orientierung schneiden sich die Strahlen homologer Bildpunkte ohne übergeordnetem Koordinatensystem im Raum.

Absolute Orientierung

Das relativ orientierte Modell wird mit Hilfe von Passpunkten in ein übergeordnetes Koordinatensystem transformiert und somit absolut orientiert.

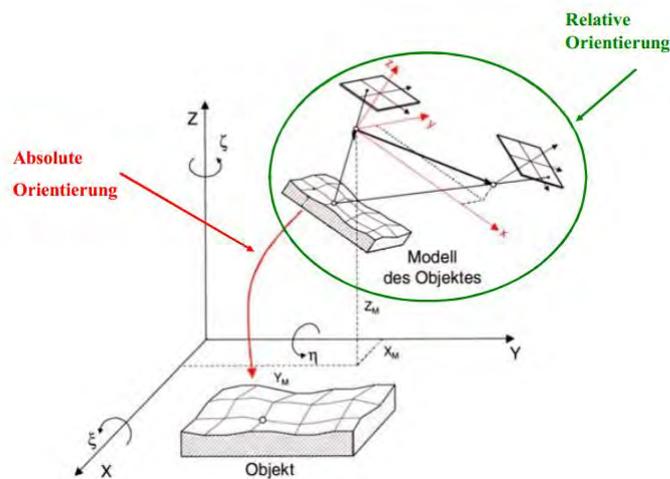


Abb. 2.5: Relative und Absolute Orientierung

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{bmatrix} + m * R * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Datenaufnahme zur Bündelblockausgleichung

Ausgangsdaten sind streifen- oder blockförmige Bildverbände mit mindestens 60% in Länge und 20% in quer überlappenden Ausschnitten. Es wird rechnerisch direkt der Zusammenhang zwischen Bild- und Objektkoordinaten hergestellt, ohne Modellkoordinaten berücksichtigen zu müssen. Die äußeren Orientierungselemente der Strahlenbündel des gesamten Verbandes können für alle Messbilder aus den Bildkoordinaten der Verknüpfungspunkte und Passpunkte, sowie deren terrestrischer Koordinaten gleichzeitig bestimmt werden. [12] vgl. LUHMANN]

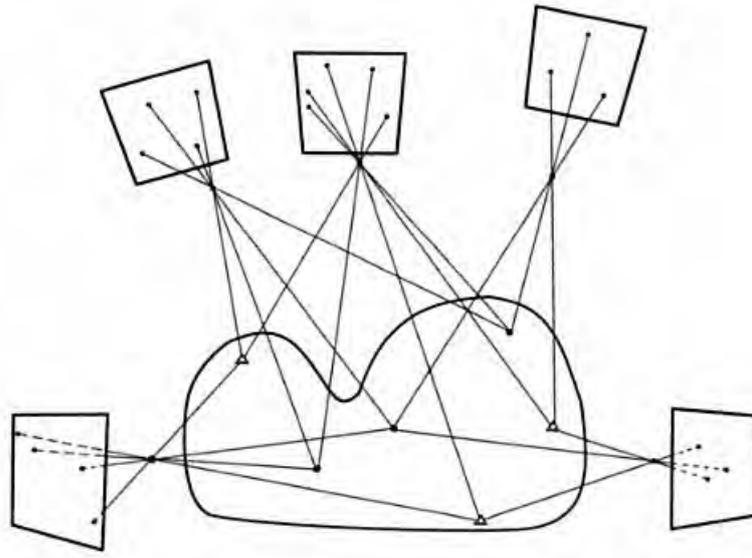


Abb. 2.6: Orientierung der Bündelblockausgleichung

3 Software

3.1 Leica Cyclone

Leica Cyclone von Leica Geosystems, ist eine 3D Software zur Auswertung und Visualisierung von Laserscanprojekten. Die Module der Leica Cyclone Software bieten für viele Anwendungen ein breites Spektrum: von der Registrierung, Bearbeitung, Visualisierung, bis hin zum Austausch der Punktwolken über das Internet. Leica Cyclone unterstützt den klassischen Workflow, aus der Vermessung, für die wirtschaftliche Bestandserfassung von Objekten und die Bearbeitung der so aufgenommenen Punktwolken. Das Programm arbeitet basierend auf Datenbanken, was einen entscheidenden Vorteil bringt - das Problem von Kopieren oder Übertragen großer Datenmengen eines Projektes entfällt. Leica Cyclone ist modular aufgebaut und für verschiedene Einsatzmöglichkeiten konzipiert worden:

- Cyclone-SCAN
(Software-Schnittstelle zum Betreiben von 3D-Laserscannern vor Ort)
- Cyclone-REGISTER
(Transformation der Scandaten in ein gemeinsames Referenzsystem)
- Cyclone-MODEL
(Export/Import in/aus ein CAD- System)
- Cyclone-SURVEY
(Aufsatz zur Lösung/Bearbeitung vermessungstechnischer Aufgaben)
- Cyclone-IMPORTER
(unterstützt den Import firmenfremder Formate)
- Cyclone-VIEWER Pro
(Visualisierung und Messungen innerhalb der Punktwolke)

- Cyclone-SERVER
(gleichzeitiger Datenbank-Zugriff zu 3D Punktwolken/Modellen) Leica TruView und Cyclone-PUBLISHER
(Publikation der Punktwolken im Internet) [25] vgl. www.leica-geosystems.de]

3.2 Adobe Photoshop

Photoshop von Adobe Systems ist ein Bildbearbeitungsprogramm für Pixelgrafiken und Bestandteil der Adobe Creative Suite. Die Software bietet umfangreiche Funktionen zur Bildbearbeitung wie z.B. der Farb- und Tonwertkorrektur. Dabei können die Helligkeitsstufen für Tiefen, Mitteltöne und Lichter verändert werden. [18] vgl. www.adobe.com]

3.3 PTGui

PTGui ist eine kommerzielle Software aus dem Hause New House Internet Services BV, die es ermöglicht, aus mehreren zusammenhängenden Bildern ein Panoramabild zu konstruieren. Dabei wird aus sich überlappenden Bildern mehrerer Reihen vollautomatisch ein Panoramabild erstellt. Für die Erstellung eines Panoramas benötigt die Software neben den Bildern auch Informationen zur verwendeten Kamera samt Einstellungen (Blende, ISO Wert etc.) und dem benutzten Objektiv. [27] vgl. www.ptgui.com]

3.4 Leica TruView

Leica TruView der Firma Leica Geosystems ist ein kostenloses Plug-In für den Microsoft Internet Explorer. Es ermöglicht die internetbasierte Betrachtung von großen Punktwolken. Zudem können bildbearbeitende Eingriffe wie Beschriftungen vorgenommen werden. Eine einfache Handhabung ermöglicht es jedem Messungen in einer Punktwolke auszuführen, ohne dabei tiefgreifende Kenntnisse über das Laserscanning und der dazugehörigen Auswertemethoden zu haben. Leider steht dieses interessante Add-On zurzeit ausschließlich für den Internet Explorer von Microsoft zur Verfügung und nicht für andere Browser. [26] vgl. www.leica-geosystems.de]

3.5 Agisoft PhotoScan

Agisoft PhotoScan ist eine 3D-Rekonstruktionssoftware und nutzt die Photogrammetrie als Auswerteverfahren, um aus Photos automatisch Punktwolken und im weiteren Verlauf komplett texturierte 3D Modelle zu erzeugen. Die Erstellung von hochauflösenden georeferenzierten Orthophotos ist zudem eine Funktionalität dieses Softwarepaketes. Vorteil dieses Produktes ist eine robuste Bildorientierungen ohne kodierte Zielmarken und ohne spezielle Bildaufnahmebedingungen. [13] vgl. NEITZEL/KOLONOWSKI]

3.6 Trimble Business Center

Das Trimble Business Center ist eine leistungsstarke Office-Software für Vermessungsprojekte von Trimble. Alle Messdaten können eingelesen, ausgewertet bzw. weiterverarbeitet und korrigiert werden. So besteht hier u.a. die Möglichkeit geodätische Netze auszugleichen, Massenberechnungen anzustellen oder GNSS Messungen auszuwerten. [28] vgl. TBC Techsheet]

3.7 CAPLAN

Das Software-Paket CAPLAN (Cremers Auswertung und Planerstellung) der Firma Cremer Programmentwicklung GmbH bietet weitgreifende Berechnungsmöglichkeiten sowie eine Planausgabe für Lagepläne und Profile. Auch CAPLAN besitzt Modulstrukturen, die eine Vielzahl vermessungstechnischer Aufgaben abdecken. [20] vgl. www.cpentw.de]

3.8 aSPECT 3D

aSPECT 3D von ArcTron 3D Vermessungstechnik und Softwareentwicklungs GmbH ist eine modulbasierte Software und kann aus digitalen Bildern des zu vermessenden Objektes 3D-Modelle generieren, texturieren, georeferenzieren, über eine 7-Parameter-Transformation skalieren, HD Filme erstellen und Datenmengen über SQL-Datenbanken verwalten. [19] vgl. www.aspect3d.arctron.de]

4 Am Oymağaç Höyük

4.1 Betrachtung des Messgebietes

Durch die Eingeschränktheit der Begehbarkeit des unteren Bereiches des Tunnels, fiel die Entscheidung vor Ort, dass das Messverfahren der Mehrbildphotogrammetrie in der Mitte des Tunnels von ungefähr 10 bis 17 m durchgeführt wird. Dieser Bereich wird dann als Vergleich der Verfahren benutzt. Das Verfahren des Laserscannings wird im kompletten Tunnel angewandt, um ein durchgehendes 3D-Modell zu erstellen.

4.2 Instrumentarium

- 1 x Stativ
- 1 x kleines Stativ
- 1 x Mauerstativ
- 1 x 50 m Maßband
- 1 x Scanner HDS 7000
- 1 x Trimble S6 2"DR 300+
- 1 x Leica Miniprisma
- 1 x Prismenstab mit Leica Rundprisma
- 1 x Olympus EM-5
- 1 x Canon EOS 550D
- 1 x Nodalarm
- 1 x Kugelkopfstativ

4.2.1 Scanner HDS 7000

Der HDS7000 von Leica ist ein Laserscanner aus dem Hause Leica und misst mit dem Phasenvergleichsverfahren. Er kann bis zu einer Mio Punkte/sec aufnehmen und hat eine Reichweite von bis zu 180 m. [30] vgl. HDS7000 Datenblatt]

4.2.2 Trimble S6 2"DR 300+

Das Trimble S6 2"DR 300+ ist eine eine vollmotorisierte Totalstation aus dem Hause Trimble mit einer Genauigkeit in der Richtungsmessung von 2". Die Genauigkeit der Distanzmessung beträgt 3 mm + 2 ppm. [34] vgl. Trimble S6 Datenblatt]

4.2.3 Olympus EM-5

Die Olympus EM-5 ist eine Systemkamera mit einer Auflösung von 16.1 Megapixel in einem Seitenverhältnis von 17.3 x 13.0 mm und einer Pixelgröße von ca 3,7 µm. [33] vgl. Olympus ME5 Datenblatt]

4.2.4 Canon EOS 550D

Die EOS 550D ist eine Spiegelreflexkamera der Firma Canon und bietet mit 18 Megapixel in einem Seitenverhältnis von 22,3 x 14,9 mm eine Pixelgröße von 4,3 µm auf. [29] vgl. Canon EOS 550D Datenblatt]

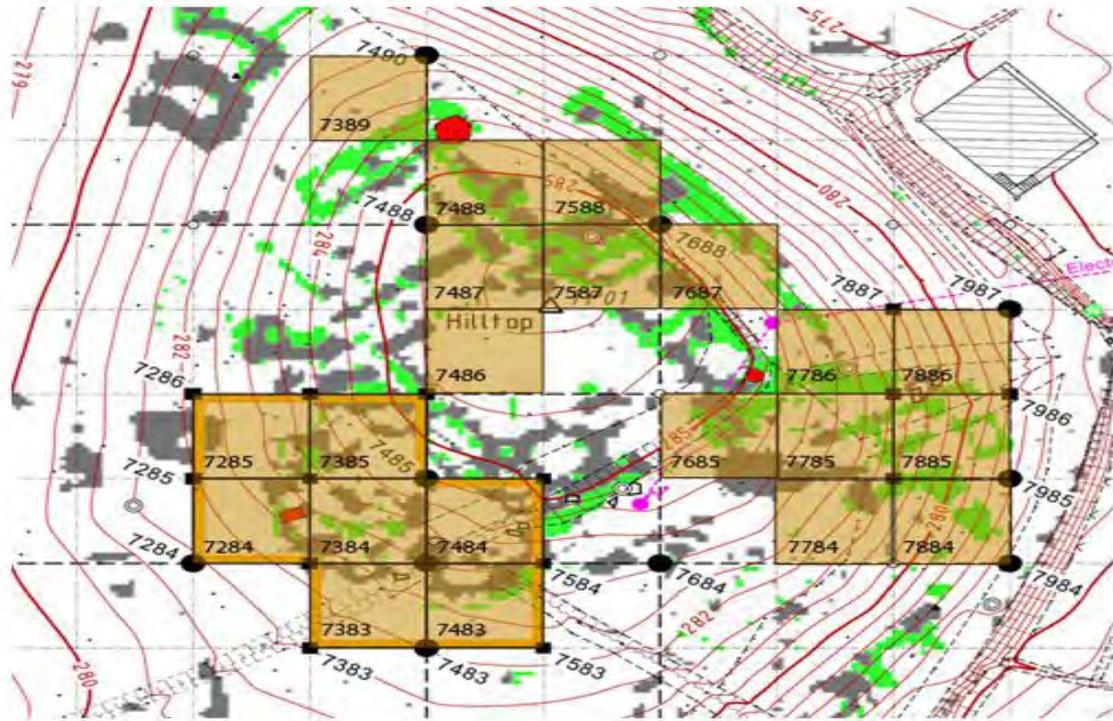


Abb. 4.1: Übersicht des Lagenetzes

4.3 Lage und Höhennetz

Das Lagenetz wurde in Bereiche von 10 x 10 m Raster unterteilt und durch Prof. Dr.-Ing. Theo Johannsen im Jahre 2009 an das Landesnetz der Türkei angeschlossen (Abbildung 4.1).

“Um das Survey-Gebiet in seiner geographischen Lage zu beschreiben, benötigten wir für die lokale Aufmessung einen Anschluß an ein amtliches landesweites Festpunktfeld. Hierfür stellte uns die Katasterbehörde, vertreten durch das Vermessungsamt in Veziirköprü, einen Auszug aus dem amtlichen Lageplan und dem Punktverzeichnis zur Verfügung. Außerdem zeigten uns die türkischen Kollegen einen solide vermarkten Festpunkt auf einem Hügel südöstlich von Oymağaç. Ergänzend dazu haben die türkischen Kollegen als Geste der Kooperation und Hilfestellung zwei neue Festpunkte vermarktet; einen davon direkt auf dem Siedlungshügel und den zweiten ca. 500 m außerhalb des Surveygebietes, am Rande des Dorfes Oymağaç. Wie die späteren Berechnungen zeigten, bildeten diese drei „Festpunkte“ einen Bezug mit einer Genauigkeit im Bereich von ca. 5 bis 10 cm.“ [23]

Die Koordinaten wurden für die tachymetrische Messung vom Grabungsleiter Prof.

Dr. Rainer Czichon zur Verfügung gestellt.

4.4 Tachymetrie

4.4.1 Stationierung

Für die Stationierung wurde das freie Stationierungsprogramm der Trimble S6 benutzt und mit Hilfe von drei Festpunkten durchgeführt. Die Festpunkte wurden mit je zwei Vollsätzen aufgemessen und anschließend die Stationierung ermittelt. Das Stationierungsergebnis wurde mit einer Anschlusskontrolle auf einen der Festpunkte noch einmal kontrolliert (± 3 mm).

4.4.2 Passpunktmessung

Nachdem die Stationierung erfolgreich war, begann die Messung der einzelnen Passpunkte, die im Tunnel verteilt wurden. Die Aufmessung der Passpunkte erwies sich durch die schwierigen Sichtverhältnisse oft als problematisch. So konnte das Miniprisma von Leica durch die schlechten Sichtverhältnisse (Hindernisse und Lichtverhältnisse) oft nicht angezielt werden. Deswegen mussten die Punkte mit dem Zollstock abgelotet oder mit Exzentrumsreflektorlos aufgemessen werden. Da diese Methode aber keine zufriedenstellenden Ergebnisse aufwies, wurde beschlossen, noch vier zusätzliche Punkte in den Tunnel zu legen.

Diese Extrapunkte ermöglichten Stationierungen innerhalb des Tunnels, was die direkte Sicht auf die Passpunkte ermöglichte und diese reflektorlos, mit dem Prisma oder der Reflektorfolie aufmessbar waren.

4.5 Laserscanning

Für die Aufnahme des Tunnels mit dem Scanner wurde beschlossen, alle 50 cm einen Scan durchzuführen, um somit alle kleinen Vertiefungen und Ecken des Tunnels aufzunehmen (steingerecht). Aufgrund der Nähe des Scanners zu den Wänden wurde festgelegt, dass eine Auflösung der Scannwolken mit 12,6 mm auf 10 m genügen würde. Die Scandauer betrug dadurch auch nur 3 min und 22 sec (Abbildung 4.2).

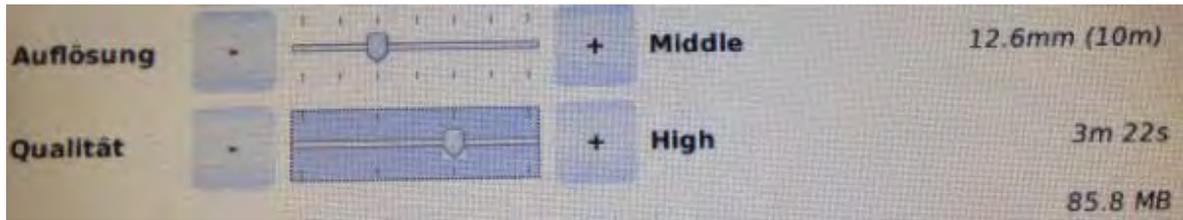


Abb. 4.2: Scannereinstellungen

4.5.1 Panoramen

Nachdem der Laserscan abgeschlossen war, wurde die Kamera mit dem Nodalarm (Abbildung 4.3) auf das Stativ mit Zwangszentrierung adaptiert. Der Nodalarm dient dazu, dass das Objektivzentrum der Kamera genau mit dem optischen Zentrum des Scanners übereinstimmt. Die Übereinstimmung wurde erreicht, indem die vertikal drehbare Schiene des Nodalarmes auf 90,4 mm und die horizontal drehende Schiene auf 52,3 mm gestellt wurde. Die drehbaren Schienen erlauben es Bilder in mehreren Richtungen aufzunehmen, ohne das Objektivzentrum der Kamera zu verändern. Für die weitere Bearbeitung wurde in horizontalen 60 Grad Schritten sechs Bilder mit einem 8 mm Fisheye Objektiv aufgenommen. Dieses besitzt ein Öffnungswinkel von 180 Grad. So entstand ein kompletter 360 Grad Ausschnitt mit vielen Überlappungen. Zusätzlich wurde noch ein Bild vom Zenit gemacht, indem die Vertikalschiene um 90 Grad gedreht wurde, um die Decke des Tunnels ebenfalls aufzunehmen. Damit die Texturierung der Scans einheitlich ist, wurden die Bilder mit passiven Licht ausgeleuchtet, um somit gleiche Lichtverhältnisse bei allen Bildern herzustellen.



Abb. 4.3: Nodalarm

4.6 Mehrbildphotogrammetrie

Das zweite Verfahren war die Mehrbildphotogrammetrie. In diesem Verfahren wurde mit dem Kugelkopfstativ und der Olympus E-M5 Kamera gearbeitet. Mit dem Verfahren wurde der mittlere Teil des Tunnels aufgenommen. Die Aufnahmen für die Mehrbildphotogrammetrie brauchten eine spezielle gleichmäßige Ausleuchtung. Die Ausleuchtung wurde geschaffen, indem zwei Baustrahler durchgehend auf die gegenüberliegende Wand strahlten und somit eine gute konstante Ausleuchtung vorlag. Die Stativschritte betragen wie bei den Scanstandpunkten ebenfalls 50 cm.

Die Aufnahmen hatte alle das gleiche Schema. Zuerst wurden drei Photos, die auf die Anfangshöhe der Wand zielten, im 60 Grad Winkel zueinander von rechts nach links geschossen, danach wurden die Photos in der mittleren Reihe nach dem gleichen Schema aufgenommen. Die mittleren Photos wurden 30 Grad über der unteren Reihe aufgenommen. Abschließend wurde noch die obere Reihe von Photos mit dem selben Schema aufgenommen.

Dieses Verfahren wurden danach für die gegenüberliegende Wand wiederholt. Anschließend wurde noch die Decke mit jeweils drei Bildern in 30 Grad Schritten aufgenommen. Durch diese Verfahrensweise wird eine großflächige Überlappung für die spätere Bearbeitung des 3D-Modells geschaffen.

5 Auswertung der Daten

5.1 Vor Ort

Die Auswertungen vor Ort passierten zu Testzwecken, ob die Ergebnisse den Anforderungen genügen oder ob eventuell die Messeinstellungen verändert werden müssen. Abends wurden die Daten immer ausgeladen und doppelt gesichert.

5.2 Passpunktkoordinaten

Für die Auswertung und den Vergleich der beiden Verfahren sind die Koordinaten der Passpunkte sehr wichtig, da dadurch die Modelle in dasselbe System transformiert werden können, bzw. die Koordinaten für Berechnungen benötigt werden.

5.2.1 TBC

Die tachymetrischen Messdaten wurden in TBC eingeladen und die Messungen von groben Fehlern bereinigt. Einige grobe Fehler entstanden zum Beispiel dadurch, dass bei der reflektorlosen Messung ein davorliegender Stein angemessen wurde und so der Punkt vor seiner eigentlichen Position lag.

Die bereinigten Messdaten wurden dann in einem für Caplan kompatiblen Format ausgegeben. Das sogenannte Z-File (Abbildung 5.1) beinhaltet die Punktnamen, die Horizontalstrecke, den Horizontal- und Vertikalwinkel.

```

151 10 0000818      STATION05
152 05  18:31      14-03-2006
153 06              20 980
154 20 0000120      TU004      7.8229      81.54293      132.97850 |ST|
155 20 0000120      TU003      4.9878      79.30423      135.41170 |ST|
156 20 0000120      TU001      3.2923      279.33133      83.92810 |ST|

```

Abb. 5.1: Z-File

5.2.2 Caplan

Die Netzausgleichung geschah mit dem Programm Caplan. Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Messung wurden zuerst die Stationierungen in Caplan ausgeglichen, da diese immer in zwei Vollsätzen gemessen wurden. Anschließend wurden die Passpunktmessungen polar angehängen.

Die Ausgleichung der Festpunkte und Stationierungen ergab eine durchschnittliche Standardabweichung von 5,1 mm in der Lage und 8,7 mm in der Höhe. Die größten Abweichungen ergaben sich im hinteren Teil des Tunnels, da es sich um ein einseitig angeschlossenes Polygonzug handelte. Die so entstandene Passpunktqualitäten lagen somit im cm-Bereich.

Fehlergrößen der Koordinaten					
A,B = Große, kleine Halbachse der Konfidenzellipse (S = 95.00 %)					
Phi = Richtungswinkel der großen Halbachse					
Punktbezeichnung	Lagefehler (m)	Phi (gon)	A (m)	B (m)	Höhenfehler (m)
7785	0.0027	119.34	0.0058	0.0038	0.0042
7787	0.0025	26.13	0.0047	0.0043	0.0042
7887	0.0024	154.18	0.0049	0.0039	0.0041
STATION03	0.0032	113.12	0.0072	0.0040	0.0085
STATION04	0.0032	113.07	0.0071	0.0040	0.0085
TU001F1	0.0074	178.10	0.0178	0.0067	0.0122
TU002F1	0.0070	178.99	0.0166	0.0067	0.0121
TU003F1	0.0082	180.04	0.0199	0.0067	0.0121
TU004F1	0.0096	181.36	0.0236	0.0068	0.0128

Die Stand.abw. in Lage beträgt durchschnittlich (außer Fixpunkten) 5.1 mm.
Die größte Standardabweichung wurde im Punkt TU004F1 mit 9.6 mm gefunden.

Die Stand.abw. in Höhe beträgt durchschnittlich (außer Fixpunkten) 8.7 mm.
Die größte Standardabweichung wurde im Punkt TU004F1 mit 12.8 mm gefunden.

Abb. 5.2: Ausgleichungsparameter der Festpunkte

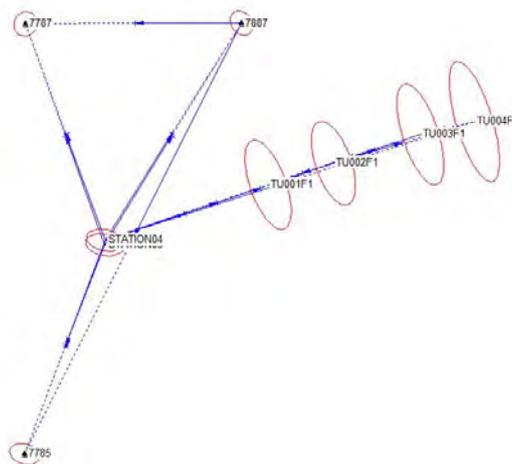


Abb. 5.3: Ausgleichungsnetz der Festpunkte

5.3 Photoshop

Die Bearbeitung in Photoshop wurde in zwei Stufen durchgeführt. In der ersten Stufe wurden die Bilder für die Panoramabildung auf eventuelle Farbunterschiede, wie Rotstiche untersucht. Beim Vergleich zum Verbund groben Farbunterschieden, wurde mit Hilfe der Look Up Table (LUT), die Farbe des betroffenen Bildes so verändert, dass es sich farblich nicht von den anderen Panoramabildern unterschied.

Der zweite Bearbeitungsschritt betraf dann die Bilder der Mehrbildphotogrammetrie. Diese Bilder hatten durch Reflexionen im Zuge der passiven Beleuchtung mit Baustrahlern einen deutlichen Gelbstich (Abbildung 5.4), welcher von den natürlichen Farben der Steine abwich. Die Tonwerte wurden daher so angepasst, dass die Farben wieder denen der Realität entsprachen. Diese Bilder (Abbildung 5.5) wurden dann für die weitere Bearbeitung benutzt.

Die Werte der Tonwertkorrektur bei Photoshop waren:

- Rotwert = 55 %
- Grünwert = 110 %
- Blauwert = 190 %



Abb. 5.4: Originalbild



Abb. 5.5: bearbeitetes Bild

5.4 PTGui

5.4.1 Panoramabildung



Abb. 5.6: Beschneiden der Bildränder (crop)

Bei der Bearbeitung in PTGui wurden im ersten Schritt die verzerrten Bildränder mit Hilfe der Cropfunktion beschnitten (Abbildung 5.6). In den so bearbeiteten Bildern wurden dann Control Points mit der Funktion Align Images gesucht. Die automatisierte Panoramafunktion war durch die vielen ähnlichen Steinfohlen in den Aufnahmen nicht immer möglich. Die Control Points mussten deshalb meist manuell gesetzt werden (Abbildung 5.7). Sobald mindestens vier der Control Points in den jeweils zusammengehörenden Bildern gefunden wurden, konnten die Panoramen berechnet werden.



Abb. 5.7: Control Points



Abb. 5.8: Panorama

5.4.2 Cube Faces

Die Panoramen wurden nun in PTGui in sechs Würfelflächen aufgespalten. Wichtig dabei war es, die Dateinamen so zu wählen, dass Cyclone diese als Würfelflächen erkannte.

Die einzelnen Teilflächen und deren Dateien wurden wie folgt benannt:



Abb. 5.9: oben =*_u



Abb. 5.10: links
=*_l



Abb. 5.11: vorne
=*_f



Abb. 5.12: rechts
=*_r



Abb. 5.13: hinten
=*_b



Abb. 5.14: unten
=*_d

5.5 Leica Cyclone

Der Aufbau von Leica Cyclone ist datenbankspezifisch in mehrere Ebenen unterteilt. Zum einen gibt es den Controlspace, in dem die Originaldaten eines Scans abgelegt sind. Hier getätigte Eingriffe wirken sich auf alle untergeordneten Ebenen aus. Die zweiten Ebene wird vom Modelspace gebildet, in dem die Punktwolke bei Bedarf u.a. zum Beispiel beschnitten werden, ohne dass die Originaldaten verloren gehen. Jeder weitere Einzelscan wird diesem Schema folgend einem Gesamtprojekt untergeordnet.

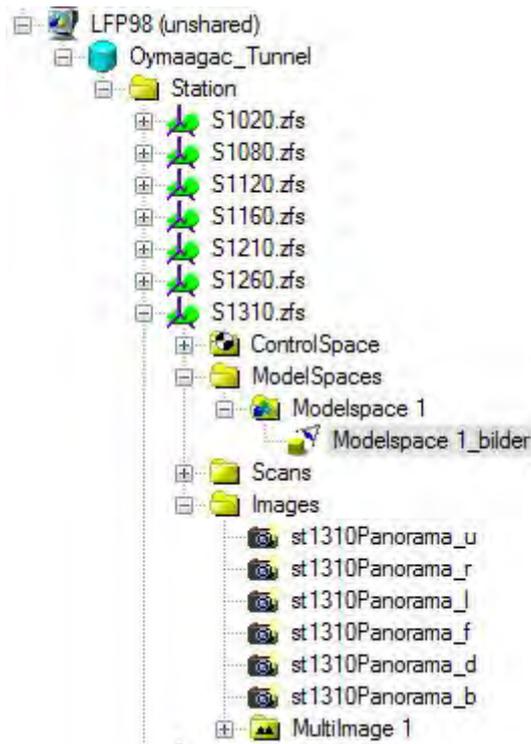


Abb. 5.15: Aufbau von Cyclone

5.5.1 Targets Registrieren

Die Passpunktregistrierung konnte ebenfalls im Modelspace durchgeführt werden. Hierzu gibt es die automatische Targeterkennung, so dass nur noch die Passpunktnummern eingefügt werden müssen. Das war aber aufgrund der unebenen Flächen, auf die die Targets geklebt wurden, nicht möglich. Die Passpunkte mussten daraufhin manuell gesetzt werden.

5.5.2 Texturierung

Für die Texturierung wurden die Cube Faces in Cyclone eingeladen und der Modelspace geöffnet. Im Modelspace wurde der Texture Map Browser (Abbildung 5.16) geöffnet. Nun konnten die einzelnen Bilder der Cubefaces mit den Scans über identische Punkte verknüpft werden. Hier sollte darauf geachtet werden, dass wenigstens vier Punkte in jedem Bild ausgewählt werden. Bei den Cubefaces oben und unten reichten auch zwei Punkte. Wenn die lokalen Koordinaten des Scans mit den Pixelkoordinatensystemen der Cube Faces übereinstimmten und die Standardabweichung aller Punkte unter 2,5 Pixel lag, wurde die Texturierung gerechnet. Die Farbbildwerte der einzelnen Cube Faces

wurden nun auf die Punkte der Punktwolke gesetzt und die Scans somit texturiert.

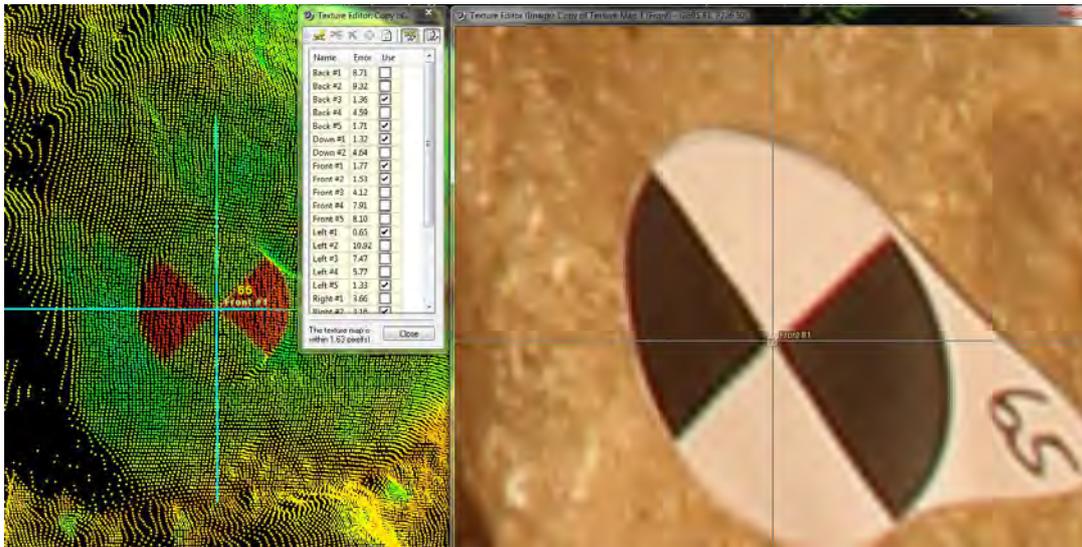


Abb. 5.16: Texturierung

5.5.3 Beschneidung der Scans

Nach der Texturierung wurden die Scans von Störpixeln bereinigt, so waren zum Beispiel die mitaufgenommenen Stativbeine noch in den Scans vorhanden. Eine grobe Beschneidung mit dem Radius von ca. 3 m vom Standpunkt konnte für jeden Scan festgelegt werden, da weiter entfernte Messungen sehr steile Visuren hatten und zudem durch die Standpunktwahl sehr grosse Überlappungen der einzelnen Punktwolke existierten. Die Beschneidung hätte auch vor der Texturierung durchgeführt werden können, allerdings war es so möglich die einzelnen Störelemente besser zu erkennen, separat auszuwählen und zu löschen.

5.5.4 Registrierung der Scans

Bei der Registrierung der Scans wurde zuerst ein neues Projekt im Modelspace geöffnet. Die Koordinaten der Passpunkte wurden dann in dieses Projekt importiert. Die Passpunkte waren jetzt als Scanworld im Projekt vorhanden. Der nächste Schritt war es eine Registrierung zu starten und alle Scanworlds, einschließlich der Passpunktscanworld in die Registrierung einzuladen. Die Passpunktscanworld wurde als HomeScanworld für die Registrierung gesetzt und Cyclone rechnete nun die jeweiligen Fehler der Passpunkte aus (Abbildung 5.17). Falls Passpunkte eine zu große Abweichung hatten, konnten diese manuell entfernt oder ihre Lage in den Scans überprüft werden. Anschließend

wurde die Fehlerrechnung neu gestartet. Danach konnte die Registrierung gerechnet und die gesamte Punktwolke als Modelspace ausgegeben werden.

Groups/ScanWorlds/Constraint ID	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
Ungrouped					
S1020.zfs					
S1080.zfs					
S1120.zfs					
S1160.zfs					
S1210.zfs					
S1260.zfs					
S1310.zfs					
S1360.zfs					
S1410.zfs					
S1020.zfs					
S1080.zfs					
65	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.001, 0.001) m
73	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.000, 0.001, -0.003) m
74	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.004, -0.001, -0.001) m
43	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.000, 0.000, 0.003) m
66	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.004, -0.002, 0.003) m
S1120.zfs					
65	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.001, 0.002) m
72	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.003, 0.000, 0.002) m
73	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.002, 0.001, -0.002) m
74	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.003, -0.001, -0.001) m
43	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.002, 0.001, 0.001) m
66	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, 0.000, 0.000) m

Abb. 5.17: Registrierung

5.6 AgiSoft PhotoScan

5.6.1 Bearbeitungsschritte

Die Bearbeitung in AgiSoft PhotoScan erfolgte in mehreren Schritten. Die Schritte waren zu einem das Alignment, wobei die Orientierung der Bilder gerechnet und aus ihnen eine Punktwolke gebildet wurde. Danach wurde diese Punktwolke vermascht und eine dichte Punktwolke gerechnet. Diese dichte Punktwolke konnte am Ende texturiert oder auch direkt ausgegeben werden.

5.6.2 Align Images

Um die Orientierung und Verknüpfungspunkte zwischen den Bildern zu rechnen, wurden die für die Mehrbildphotogrammetrie bearbeiteten Photos bei AgiSoft PhotoScan eingeladen und über Align Photos das Verfahren der Bündelblockausgleichung verwendet. An der entstandenen dünnen Punktwolke, war zu erkennen, wie gut das Alignment

funktioniert hatte. Zur Überprüfung konnte zusätzlich noch die Bildqualität über Estimate Bildquality beurteilt werden (Abbildung 5.18). Die Bilder, die eine Bildqualität von unter 0,5 hatten, wurden aus den folgenden Berechnungen ausgeschlossen. Es bestand aber auch die Möglichkeit die Bilder, mit einer schlechten Bildqualität, manuell zu orientieren. Für die manuelle Orientierung musste das Bild mit zwei bereits ausgerichteten Bildern über vier Verknüpfungspunkte verbunden werden.

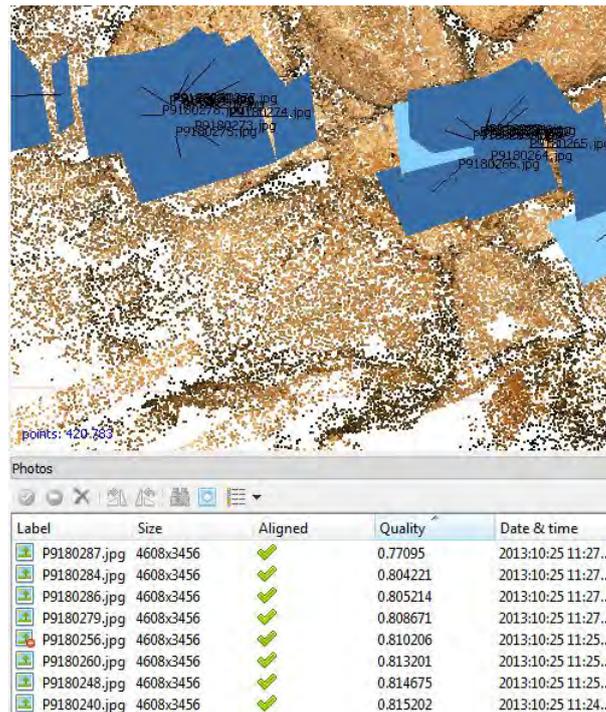


Abb. 5.18: Align And Estimate Images Quality

5.6.3 Mesh

Die dünne Punktwolke wurde dann zu einem Mesh gerechnet. Dabei wurden die drei nächsten Punkte über Dreiecke miteinander verbunden und so eine Dreiecksvermaschung gerechnet. Für die Vermaschung konnten verschiedene Oberflächeneinstellungen gewählt werden. Zum einen gab es die Möglichkeit die Option “Height field” zu wählen, welche bei ebenen Strukturen sinnvoll war. Zum anderen stand die Option “Arbitrary” zur Verfügung, welche für strukturierte Oberflächen, wie die des Tunnels, geeigneter war.

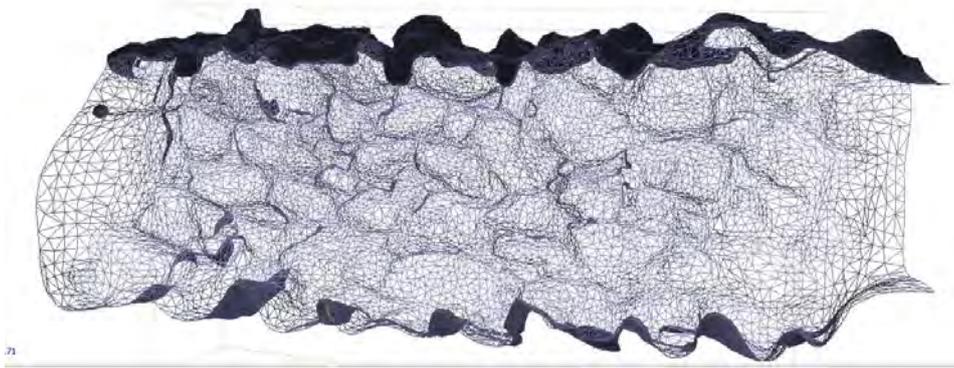


Abb. 5.19: Dreiecksvermaschung

5.6.4 Passpunktmessung

Für die Passpunktmessung wurden zuerst die Passpunktkoordinaten importiert und Marker erstellt. Die Passpunkte, die in den Photos zu sehen waren, wurden nun mit den zugehörigen Markern versehen. Sobald mindestens drei Marker für Passpunkte, die in mindestens zwei Bildern vorhanden waren, gesetzt wurden, konnte die automatische Vorpositionierung der restlichen Marker errechnet werden. Die bei dieser Passpunktmessung berechneten Restfehler, die sowohl im Koordinatensystem des Messobjektes, als auch als Pixelfehler angezeigt wurden, konnten in einem letzten Schritt mit Hilfe des Optimize Tools noch einmal verbessert werden (Abbildung 5.20).

Markers	Easting	Northing	Altitude	Error (m)	Projections	Error (pix)
<input checked="" type="checkbox"/> PP069	703786.668000	4564863.532000	275.834000	0.006592	14	0.255
<input checked="" type="checkbox"/> PP070	703786.701000	4564863.932000	277.122000	0.002555	16	0.394
<input checked="" type="checkbox"/> PP071	703786.644000	4564864.664000	277.015000	0.010502	38	0.371
<input type="checkbox"/> PP072	703786.401000	4564865.027000	275.809000	0.037078	12	0.355
<input checked="" type="checkbox"/> PP073	703786.409000	4564864.924000	275.689000	0.006591	6	0.326
<input type="checkbox"/> PP074	703786.851000	4564863.641000	275.717000	0.018354	10	0.359
<input checked="" type="checkbox"/> PP075	703788.451000	4564864.131000	275.375000	0.003821	15	0.358
<input checked="" type="checkbox"/> PP076	703788.360000	4564864.536000	276.645000	0.009143	26	0.276
<input checked="" type="checkbox"/> PP077	703788.061000	4564864.928000	276.640000	0.004663	27	0.387
<input checked="" type="checkbox"/> PP078	703787.972000	4564865.413000	275.413000	0.010406	14	0.300
<input checked="" type="checkbox"/> PP079	703788.023000	4564865.436000	274.947000	0.005574	9	0.256
<input checked="" type="checkbox"/> PP080	703788.347000	4564864.407000	274.987000	0.008306	8	0.397
<input type="checkbox"/> PP084	703789.427000	4564865.744000	274.344000	0.017267	3	0.179
<input checked="" type="checkbox"/> PP106	703789.350000	4564865.035000	276.229000	0.012584	18	0.268
<input checked="" type="checkbox"/> pp083	703789.523000	4564865.477000	275.410000	0.003877	9	0.250
Total Error				0.007667		0.333

Abb. 5.20: Passpunktgenauigkeit in PhotoScan

5.6.5 Dense Cloud

Nachdem die Orientierung durch die Passpunkte noch einmal optimiert wurde, wurde nun aus den ausgerichteten Photos die dichte Punktwolke gerechnet. Die Berechnung geschah über Tiefeninformationen, die aus allen Bildern entnommen wurden.

5.6.6 Mesh

Aus der dichten Punktwolke wurde dann wie am Anfang ein Mesh gerechnet. Durch die größere Anzahl der Punkte wurde dieses Gitter jedoch viel feiner und die Oberflächenstruktur intensiver. Um Lücken zu schließen konnte in diesem Schritt der Interpolationsmode eingeschalten werden. Da aber auch die Lücken zwischen den Steinen im Tunnel abgebildet werden sollten, wurde diese Option nicht gewählt.

5.6.7 Texturierung

Bei der Texturierung wurden die Punkte der Punktwolke mit den Farbinformationen der Bilder besetzt. Dabei war darauf zu achten, dass nur Bilder zur Texturierung herangezogen wurden, die keinerlei Störelemente und ungewollte Bildinformationen enthielten.

Für die Texturierung waren verschiedene Einstellungen wählbar. Zum Beispiel konnte ausgewählt werden, ob nur farbintensive Bilder benutzt werden. Da die Bilder mit einer passiven Beleuchtung aufgenommen wurden, wurde entschieden, dass ein Mittel der Farbwerte für die Texturierung akzeptabel war.

5.7 aSPECT 3D

Ein weiterer Teil der Bachelorarbeit ist es, das 3D Modell aus dem vorderen Bereiches des Tunnels von Thomas Mewes und Sebastian Wichert aus dem Jahr 2012 mit den neu erstellten Modellen zu vergleichen.

Für den Vergleich musste das alte Modell erst in das System der neuen Modelle gebracht werden. Hierzu wurden die Daten in aSPECT 3D eingeladen und transformiert. Die Transformation in aSPECT 3D erfolgte über das Transformationstool, in dem die Passpunktkoordinaten importiert und dann die zugehörigen Punkte in der Punktwolke selektiert und deren Koordinaten gespeichert wurden.

Sobald bei drei Punkten so diese Werte definiert waren, konnte das Programm automatisch den erwarteten Fehler der Transformation berechnen. Da einige Passpunktmarken der vorherigen Messkampagne beschädigt, bzw. komplett verloren waren, konnte nur eine kleine Menge an alten Punkten wiederaufgemessen werden. Zur geschickten Verteilung der Passpunkte für die Transformation konnten aber im Eingangsbereich, sowie im unteren Teil des Tunnels einige noch erhaltengebliebene Passpunkte herangezogen werden (Abbildung 5.21). Nach der Berechnung lagen die Restfehlerwerte der Transformation im zu erwartenden Bereich bei 4/5/3 mm in X/Y/Z Richtung.



Abb. 5.21: Übersicht Passpunkte

Die transformierte Punktwolke wurde nun im XYZ Format ausgegeben, welches für die weitere Bearbeitung in CloudCompare geeignet war.

5.8 CloudCompare

In CloudCompare eingeladen, wurden die Punktwolken einheitlich in mehrere Segmente beschnitten und je nach Erstellungsweise unterschiedlich eingefärbt. Um die Punktwolken miteinander vergleichen zu können, mussten zusätzlich weitere Störelemente entfernt werden. So musste der Boden beschnitten werden, da in den Grabungskampagnen von 2011 bis 2013 an manchen Stellen Holzbalken ausgelegt und Stützen eingebaut wurden, die in der Punktwolke von Wichert und Mewes nicht vorhanden waren. Neben diesen Holzbalken musste auch der Lüftungsschlauch und andere Gegenstände, die nicht in allen Scans vorhanden waren, ausgeschnitten werden. Im Endeffekt wurden

lediglich die linke und rechte Wand des Tunnels in den Vergleich gezogen.

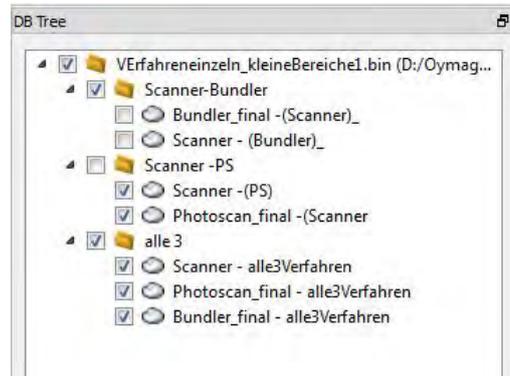


Abb. 5.22: Struktur der Punktwolken in CloudCompare

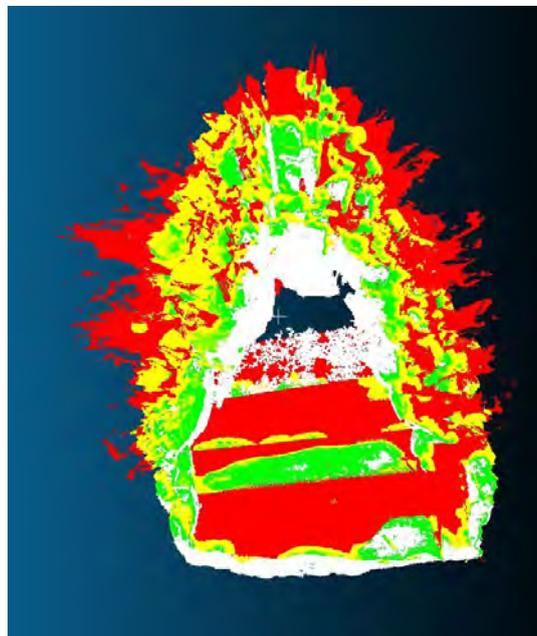


Abb. 5.23: Mehrere Punktwolken in CloudCompare

6 Ergebnisse

6.1 Vergleich der Messverfahren

Die Daten der Bundlerauswertung aus der Bachelorarbeit Wichert und Mewes aus dem Jahr 2012 konnten aufgrund damaliger fehlerhafter Passpunktmessungen im unteren Teil des Tunnels nicht gänzlich als Vergleich herangezogen werden. Bei der damaligen Auswertung konnten einzelne Punktwolken nicht zufriedenstellend vereint werden. Die so entstandenen Restklaffen mehrere Punktwolken waren bei den hier zur Verfügung stehenden Endprodukten als doppelte Punktwolken (Abbildung 6.1) mit Abständen von > 1 cm zueinander deutlich zu erkennen. Ein Auszug von Wichert und Mewes:

“Die Ergebnisse des Bundlerworkflows waren dichte Punktwolken, welche in den tiefen Bereichen jedoch Lücken aufwiesen. Um einen Punkt in der Punktwolke zu berechnen, musste dieser in mindestens drei Aufnahmen zu sehen sein. Besonders in den oben erwähnten Bereichen zwischen den Feldsteinen war es nicht der Fall. Diese sollten mit den Auswertungen aus der terrestrischen Stereophotogrammetrie gefüllt werden. Des Weiteren wurde festgestellt, dass wegen der guten Strukturierung der Objekte keine weiteren Veränderungen an den Parametern zur Berechnung der Punktwolken vorgenommen werden mussten. Schon bei der Zusammenführung der Punktwolken in CloudCompare, wurde ersichtlich, dass es in einigen Bereichen wie im Beispiel der rechten Wand in Abbildung 30, zu Lücken in der Berechnung kam. Aus diesem Grund wurden, wie in Kapitel 5.2.2 beschrieben, Detailpunktwolken (Abb. 33) berechnet, um die Informationsdichte für die Berechnung zu erhöhen und die Wolken zu verdichten. Das Ergebnis waren dichte Punktwolken einzelner, kleiner Bereiche, die man später mit den Gesamtmodellen der Streifen, wenn nötig, verknüpfte (Abb. 34).“ [14]

“Bei den Wänden und den Bodenabschnitten lagen die Restklaffen in Größenordnungen zwischen 0,5cm und 2,2cm (Passpunktgenauigkeiten.xlsx siehe Anhang). Des Weiteren fielen große Abweichungen im Endbereich des Tunnels auf. Dies lässt sich

durch das Fehlen weiterer Standpunkte im Tunnelkomplex und den dadurch nicht angeschlossenen beziehungsweise gestützten Polygonzug erklären. Beim Zusammenführen der einzelnen transformierten Punktwolken trat durch diese Restklaffen, wie auf nachfolgendem Bild zu erkennen, ein Verschiebungseffekt auf.“ [14]

Zudem konnten in dieser Arbeit nicht alle drei Verfahren erfolgreich an einem Tunnelsegment miteinander verglichen werden. Es existierte kein genügend überlappender zufriedenstellender Bereich der Punktwolken aus Scanning, Bundler und PhotoScan. Aus diesem Grunde wurden im Folgenden die beiden Verfahren einzeln an unterschiedlichen Tunnelpositionen mit dem terrestrischen Laserscanning verglichen.

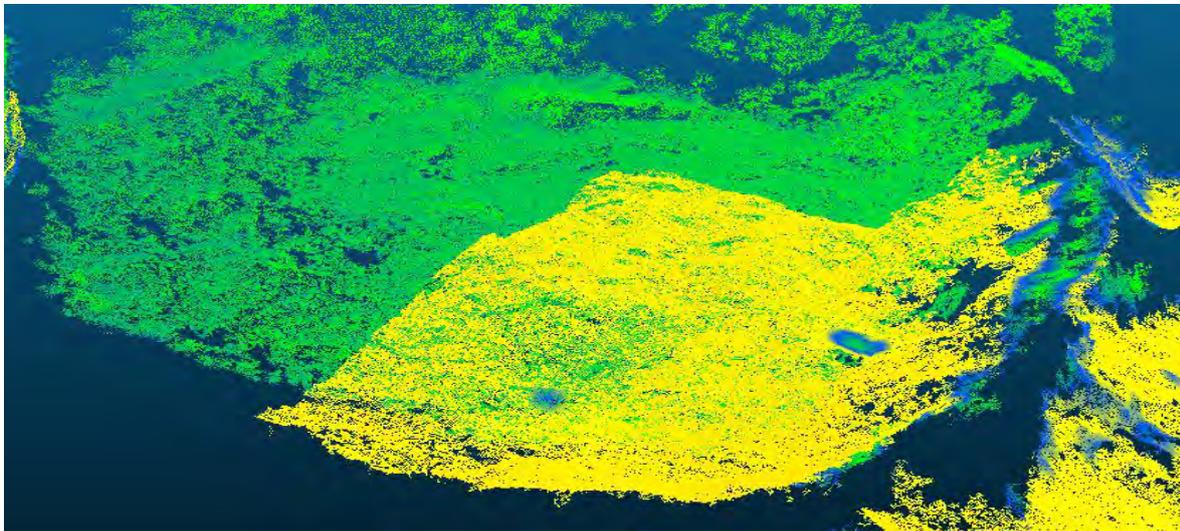


Abb. 6.1: Doppelte Punktwolke

In den folgenden Abbildungen wurden jeweils die Punktwolken des Laserscannings grün und die der Vergleichswolken (aus Bundler, bzw. PhotoScan) gelb eingefärbt. Der Vergleich der Verfahren wurde in drei Aspekte aufgeteilt, durch die Unterschiede in den Endprodukten gut beschrieben wurden. Die drei Aspekte sind:

- Oberflächenstruktur
- Fahneneffekte
- Anzahl der Punkte

6.1.1 Oberflächenstruktur

Für die Untersuchung der Oberflächenstruktur wurden kleine Teilgebiete untersucht. Diese Teilgebiete wiesen markante Elemente in der Struktur auf, wie zum Beispiel Risse im Stein. In der Punktwolke aus Bundler (Abbildung 6.2) konnte in der Steinoberfläche ein kleiner Riss im mittleren Stein vermutet werden. In der Punktwolke des Laserscannings (Abbildung 6.3) dagegen war die Struktur des Risses eindeutig zu erkennen.



Abb. 6.2: Struktur Bundler

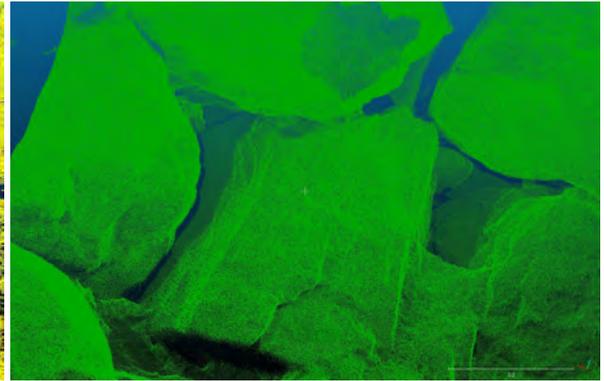


Abb. 6.3: Struktur Scanner

Bei der Struktur der Punktwolke aus PhotoScan gab es ebenfalls Unterschiede gegenüber dem Laserscanning. Es konnte hier auch an mehreren Stellen die Struktur der Steine nur erahnt werden. So ist der Riss im rechten Teil des abgebildeten Steines in PhotoScan (Abbildung 6.4) nur minimal zu sehen, während aber bei dem Laserscanning (Abbildung 6.5) genau zu erkennen ist, dass der Stein einen mehrere cm tiefen Riss aufweist.



Abb. 6.4: Struktur Photoscan

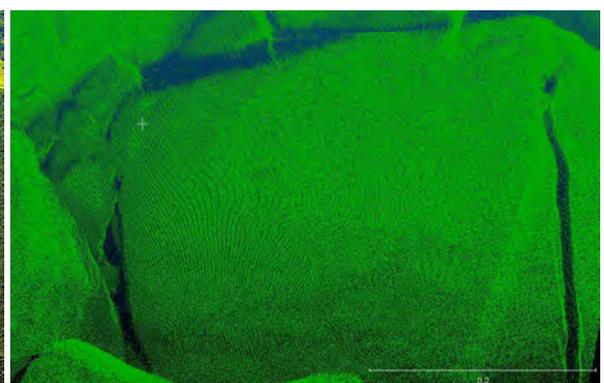


Abb. 6.5: Struktur Scanner(2)

Für den Vergleich der Struktur musste besonders darauf geachtet werden, dass die reinen Punktwolken zum Vergleich herangezogen wurden und nicht die texturierten

Wolken. Mit Texturierung waren die Risse im Ergebnis von Bundler und PhotoScan visuell zwar deutlich zu erkennen, aber in der Punktwolke nicht vorhanden. So zeigt die Abbildung 6.6 einen texturierten Abschnitt aus PhotoScan.



Abb. 6.6: Texturierte Struktur PhotoScan

6.1.2 Aufnahme der Zwischensteinlücken

Bei der Aufnahme in den Lücken zwischen den einzelnen Steinen war deutlich zu erkennen, dass diese beim Laserscanning (Abbildung 6.8) sehr detailreich aufgenommen wurden. In PhotoScan erstellte Punktwolken (Abbildung 6.9) wiesen ebenfalls eine Abdeckung sehr grosser Lücken auf, jedoch mit deutlichem Detailverlust. Die Daten aus Bundler konnten hier, aufgrund der oben beschriebenen Schwierigkeiten, nur bedingt in den Vergleich hineingezogen werden.



Abb. 6.7: Lücken Bundler

Abb. 6.8: Lücken Scanner

Abb. 6.9: Lücken Photoscan

6.1.3 Anzahl der Punkte

Bereich	Bundler	Scanner
kleiner Bereich	264653	262635
großer Bereich	8589461	11566572

Tabelle 6.1: Punktvergleich zwischen Bundler und Scanner

	Photoscan	Scanner
kleiner Bereich	41108	96831
großer Bereich	2967479	7946683

Tabelle 6.2: Punktvergleich zwischen PhotoScan und Scanner

Der Vergleich über die Anzahl der Punkte wurde in zwei verschiedene Ebenen unterteilt. Die erste Ebene war ein kleiner, möglichst ebener Bereich eines Steines. In den Abbildungen 6.10 und 6.11 ist dieser Bereich von ca. 20 x 20 cm abgebildet. Hier konnte die Punktdichte für das jeweilige Verfahren in CloudCompare ermittelt werden. Die Punktdichte aus Bundler und des Laserscanning unterschieden sich in diesem Bereich nur um ca. 1% (Tabelle 6.1). Wobei nicht endgültig ausgeschlossen werden konnte, aus wievielen übereinanderliegenden Punktwolken die Bundler Punktwolke letztendlich besteht.

Der Unterschied zwischen der Punktwolke aus PhotoScan und dem Laserscanning wies unterdessen einen Unterschied der Punktdichte und -anzahl auf. PhotoScan erreichte 42.45% der Punkanzahl (Tabelle 6.2) der Punktwolke des Laserscannings.

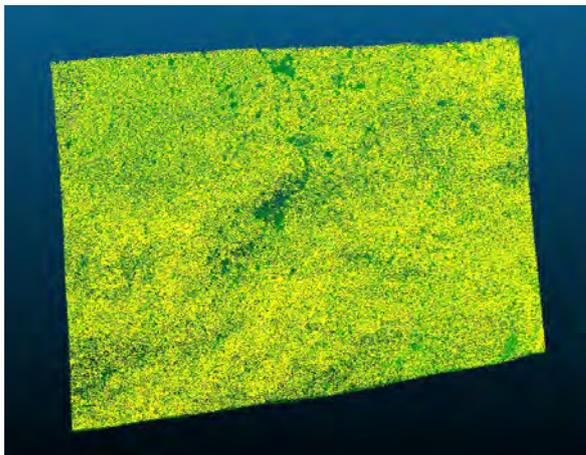


Abb. 6.10: Bundler und Scanner

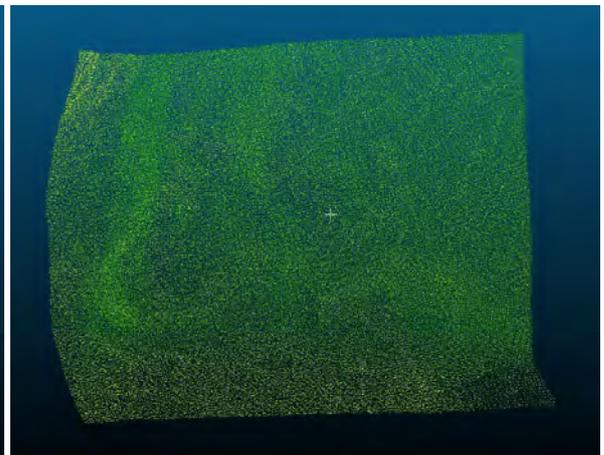


Abb. 6.11: Photoscan und Scanner

Um zu sehen, wie sich die Verfahren bei großen Gebieten verhielten, wurde anschließend ein Querschnitt mit der Breite ca. 1 m aus Bundler und Laserscanning ausgeschnitten und ein ca. 0,5 m Querschnitt beim Vergleich aus Photoscan und Laserscanning gewählt.

Die Punktzahl aus Bundler war im großen Gebiet nicht mehr so hoch wie die beim Laserscanning. Der Bundler erreichte nur 75 % der Punkte des Laserscannings (Tabelle 6.1).

Die Punktzahl aus PhotoScan und Laserscanning waren relativ konstant. PhotoScan erreichte beim großen Bereich 37 % der Punktmenge vom Laserscanning und blieb damit in der Größendimension des kleinen Bereiches, wo PhotoScan 42.45 % abdeckte (Tabelle 6.2). Der kleine Unterschied von 5.45 % ist sicherlich durch die unterschiedliche Aufnahme der Lücken geschuldet.

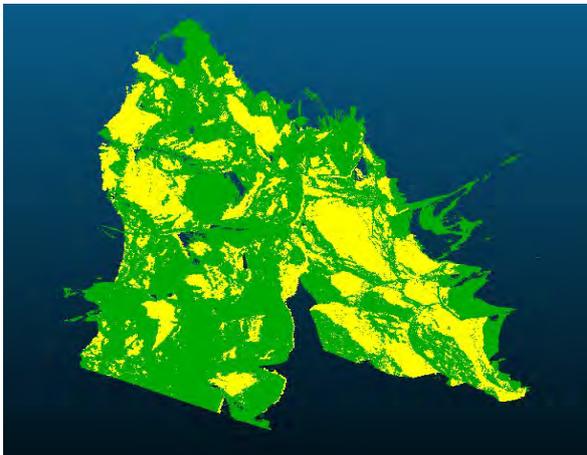


Abb. 6.12: Bundler und Scanner(2)

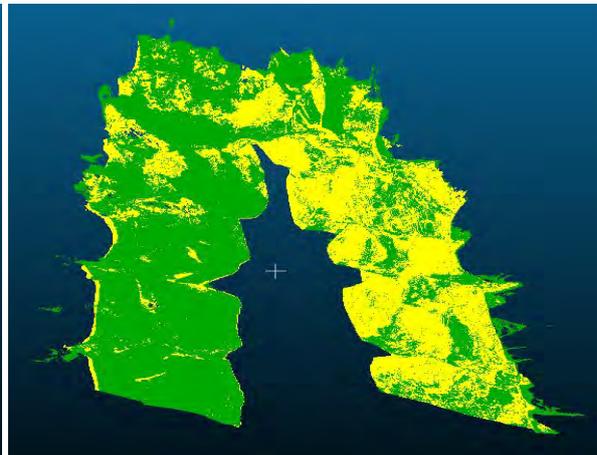


Abb. 6.13: Photoscan und Scannner(2)

6.2 Kombination der Verfahren

Ein Teil dieser Bachelorarbeit sollte die Kombination bzw. die Ergänzung der Laserscannpunktewolke mit der Punktwolke aus PhotoScan sein. Die Strukturunterschiede, die in Kapitel 6.1.1 weiter erläutert wurden, hielten von diesem Schritt ab, da die detaillierte Struktur sonst verloren gegangen wäre. In den folgenden Abbildungen sieht man einige Ausschnitte der registrierten Laserscannwolke (Abbildungen 6.14, 6.16 und 6.15) und einige Ausschnitte der PhotoScanwolke (Abbildungen 6.17, 6.18 und 6.19) zum visuellen Vergleich.

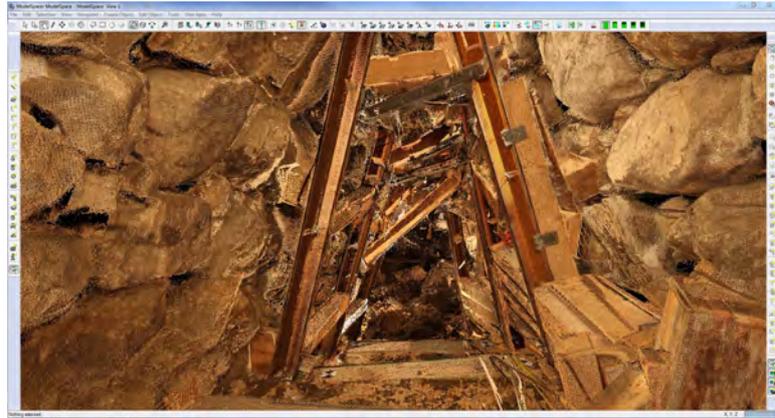


Abb. 6.14: Einbauten zur Sicherung des Tunnels



Abb. 6.15: Tunnel von der Obenansicht

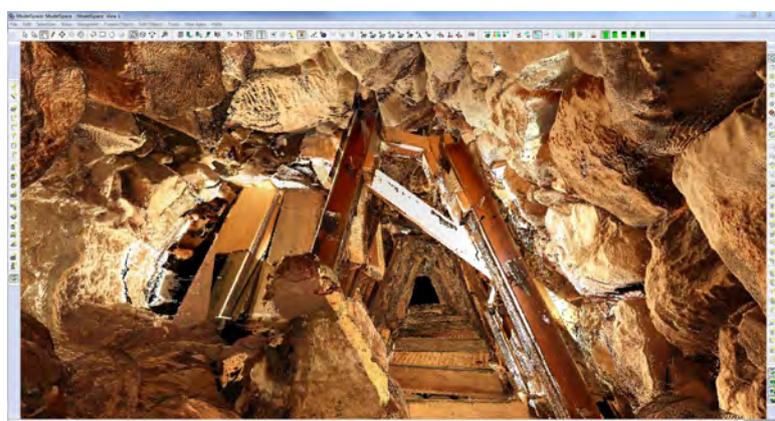


Abb. 6.16: Einsturzgefährdete Stelle



Abb. 6.17: PhotoScan Punktwolke

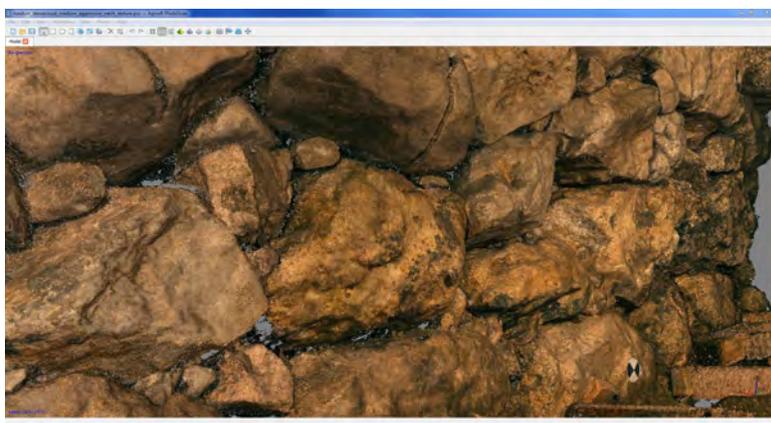


Abb. 6.18: PhotoScan Punktwolke

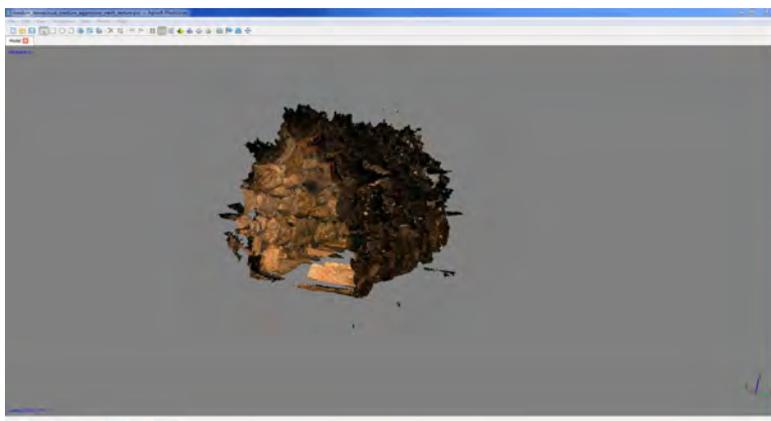


Abb. 6.19: PhotoScan Seitenansicht

6.3 Visualisierung der Punktwolken

Zwei Präsentationsarten konnten direkt in Leica Cyclone realisiert werden. So kann man einen virtuellen Flug durch die texturierte Punktwolke des Messgebietes erstellen. Zum anderen kann man mit Leica TruView eine Art Homepage veröffentlichen, auf der man sich virtuell im Messgebiet umschauen und bedingt sogar Messungen in einer reduzierten Punktwolke ausführen kann.

6.3.1 Flug durch den Tunnel

In Cyclone wurde dafür ein Layer erstellt, in dem dann die Sichtrichtungen und Kamerapositionen bestimmt und anschließend der Flugweg zwischen den jeweiligen Kamerapositionen definiert wurde. Danach wurden die Hauptframes in interessante Positionen im Objekt gesetzt. Zum Schluss wurden alle Symbole in der Punktwolke ausgeblendet und die Anzahl der Bildfolge im Video bestimmt. Die Bildfolge legte fest, wieviele Bilder zwischen den einzelnen Kamerapositionen entstehen und regelte somit die Länge und Geschwindigkeit des Fluges. Das so generierte Video kann als AVI-Datei exportiert werden und auf beliebigen Endgeräten abgespielt werden.

6.3.2 TruView

Leica TruView ist ein Freeware Plugin für den Internet Explorer, mit dem die Scandaten zur öffentlichen Verfügung gestellt werden können. TruView enthält einen reduzierten Teil der Punktwolke, weswegen die Möglichkeit verloren geht sich im Raum zu bewegen. Es kann aus der Sicht der Scanstandpunkte das jeweilige Panorama betrachtet werden und bei Bedarf Messungen in der Punktwolke getätigt werden. Die Hinzufügung von mehreren Standpunkten erlaubt es einen kompletten Überblick auf das Messgebiet zu erlangen. Beim Export aus Cyclone wurden alle nötigen Dateien und die Ordnerstruktur bereits automatisch angelegt.

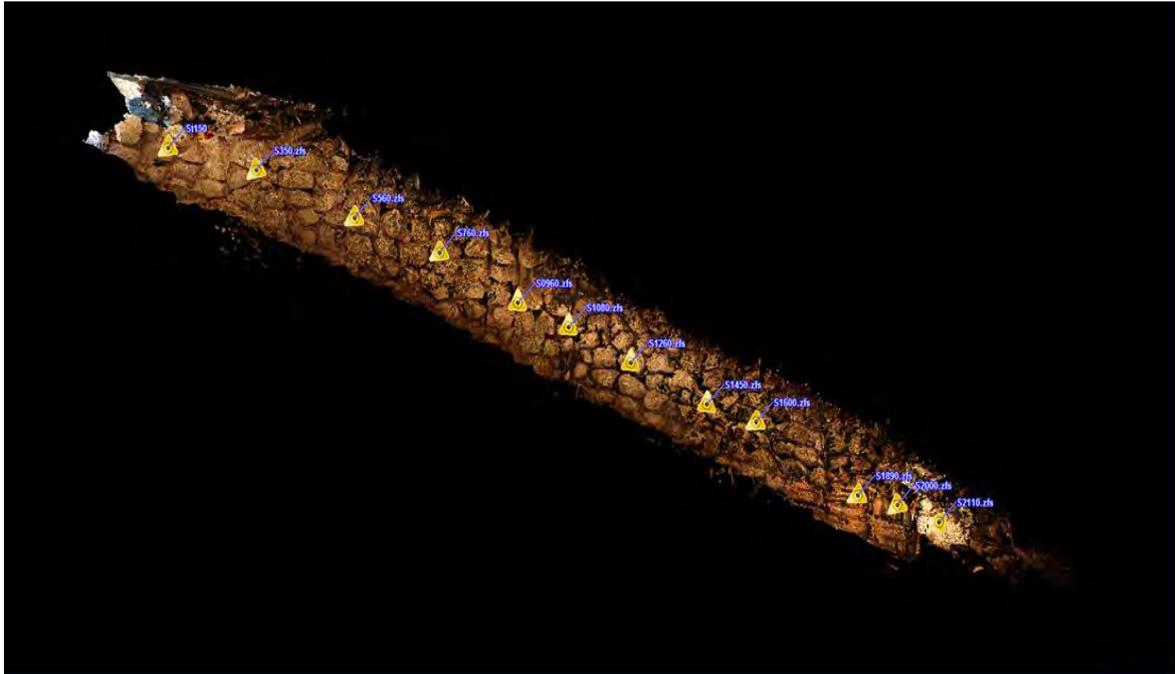


Abb. 6.20: Übersicht TruView

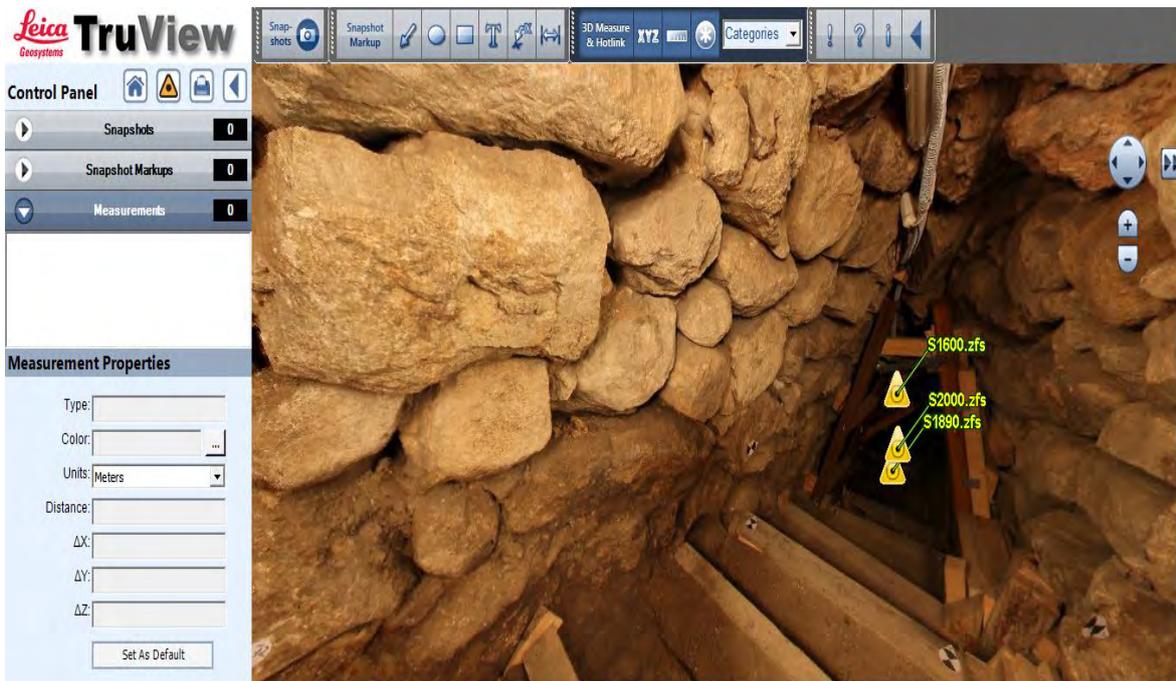


Abb. 6.21: Sicht von einem Standpunkt in TruView

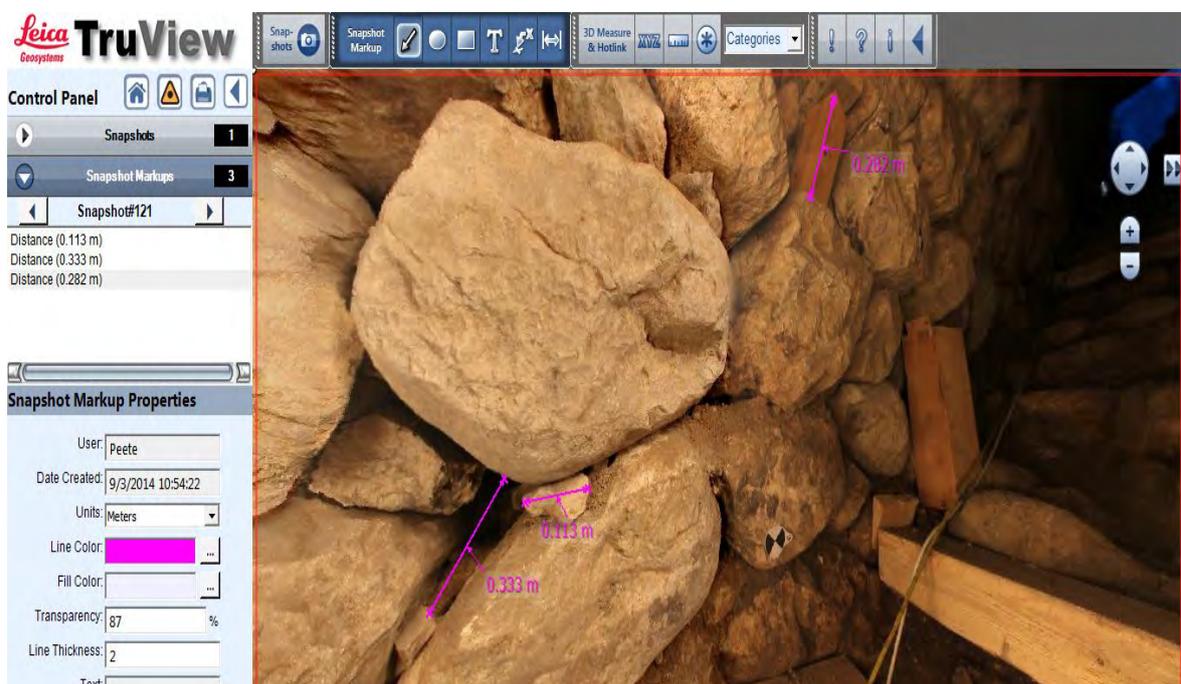


Abb. 6.22: Messtool in TruView

7 Zusammenfassung

Bei der Ausarbeitung der beiden Verfahren hat sich kein Verfahren als das Bessere herausgestellt. Beide Verfahren haben sich gut für die Aufnahme des Messgebietes geeignet. Jede Methode hat ihre eigenen Vor- und Nachteile.

7.1 Laserscanning

Die Vorteile des Laserscannings sind unter anderem die detaillierte Aufnahme und die Aufnahmemöglichkeit bei diffusen Licht oder Dunkelheit. Die Anzahl der Punkte kann je nach Entfernung zum Objekt durch Scaneinstellungen variiert werden. Die dadurch hohe Punktdichte führt zu einer homogenen Aufnahme. Das Ergebnis des Scans kann sofort als Punktwolke angezeigt und betrachtet werden. Die Aufnahmen in den Lücken (Fahnenefekte) ist ein weiterer Vorteil.

Die Nachteile sind vor allem die Kosten des Laserscanners und die nachträgliche Bearbeitung der Scans. Die komplizierte Texturierung der Scans nimmt zusätzlich Zeit in Anspruch.

7.2 Mehrbildphotogrammetrie

Die Vorteile der Mehrbildphotogrammetrie liegen in der einfachen Anwendung und in dem relativ günstigen Equipment gegenüber dem Laserscanner. Die Möglichkeit bei der Auswertung Punktwolken in verschiedenen Qualitäts und Quantitätsstufen herzustellen, ermöglicht eine beliebige Anpassung an die geforderte Aufgabenstellung.

Die Nachteile der Mehrbildphotogrammetrie liegen in den weniger detailreichen Punktwolken des Messgebietes. Zum Beispiel gehen bei Lücken harte Kanten, durch Verwaschungseffekte bei der Bearbeitung verloren. Zudem ist die Punktdichte nicht so hoch wie beim Laserscanning. Desweiteren stellen die möglichst gleichen Lichtverhältnisse, mit denen die Photos aufgenommen werden sollten, einen erhöhten Aufwand dar. Die

Photos müssen die richtige Belichtung und Tiefenschärfe haben, zudem können sie eventuell hardwarebedingte Verzerrungen haben.

7.3 Fazit

Abschließend kann man sagen, dass sich beide Methoden zur Aufnahme eignen, sich in den Endprodukten aber unterscheiden. Wenn die Aufgabenstellung eine Punktwolke mit detaillierten Darstellungen sowie eine sehr hohe Punktdichte fordert, ist das Laserscanning die bessere Variante. Wenn jedoch eine Punktwolke ohne hochdetaillierte Struktur gefragt ist, würde die kostengünstigere Variante der Mehrbildphotogrammetrie den Vorzug erhalten.

Literaturverzeichnis

- [1] ECKSTEIN, G.: Empfehlungen für Baudokumentationen, Konrad Theiss Verlag, Stuttgart 1999 S.11-34
- [2] HEHL, K. und BECKER, M.: Geodäsie, WBG, Darmstadt 2011 S.114
- [3] HEHL K.: Einführung in die Ausgleichsrechnung, Manuskript zur Vorlesung, Beuth Hochschule für Technik, Berlin 2012
- [4] HELMERT, F.R.: Die Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate mit Anwendungen auf die Geodäsie und die Theorie der Messinstrumente, Teubner Verlag, Leipzig 1872 S.1
- [5] KERN, F.: Automatisierte Modellierung von Bauwerksgeometrien aus 3D-Laserscanner-Daten, Technische Universität, Braunschweig 2003
- [6] KERN, F.: Terrestrisches Laserscanning kurz und bündig, Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik, Fachhochschule Mainz 2007
- [7] KLINGER, J.,: Die Hethiter, 2. Auflage, C.H.Beck Verlag, München 2012 S.7
- [8] KLINGER, J.,: Die Hethiter, 2. Auflage, C.H.Beck Verlag, München 2012 S.8-12
- [9] KLINGER, J.,: Die Hethiter, 2. Auflage, C.H.Beck Verlag, München 2012 S.20f
- [10] KORTH, W.: Elektrooptische Streckenmessung, Instrumentenkunde 2 Manuskript zur Vorlesung, Beuth Hochschule für Technik, Berlin 2011
- [11] KORTH, W.: Instrumentenkunde II, Manuskript zur Vorlesung, Beuth Hochschule für Technik, Berlin 2012
- [12] LUHMANN, T.: Nahbereichsphotogrammetrie Grundlagen, Methoden und Anwendungen, 3. völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Wichmann Verlag, Heidelberg 2010 S.2, 143ff, 237ff, 299ff

- [13] Neitzel, F. und Klonowski, J.: Mobile 3D mapping with a low-cost UAV system, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci 2011 S.1-6
- [14] MEWES, T. und WICHERT, S. , Bachelorarbeit ,Photogrammetrische Vermessung eines Tunnels auf der archäologischen Ausgrabung in Oymaagac, Türkei S.43 und 46 ,Berlin 2012
- [15] PETRAHN, G.: Grundlagen der Vermessungstechnik, 5.Auflage, Cornelsen Verlag, Berlin 2010 S.179f
- [16] RESNIK, B. und BILL, R.: Vermessungskunde für den Bau-, Planungs- und Umweltbereich, Wichmann Verlag, Heidelberg 2000 S.162
- [17] WANGERIN, G.: Bauaufnahme – Grundlagen, Methoden, Darstellung, 2. Auflage, Vieweg, Braunschweig 1992 S.11

Internetquellen

- [18] <http://www.adobe.com/de/products/photoshop/features.html>, Zugriff 16.09.2014
- [19] <http://aspect3d.arctron.de/de/>
- [20] http://www.cpentw.de/CP_ger_2014.pdf, Zugriff 16.09.2014
- [21] www.nerik.de, Zugriff 07.08.2014
- [22] www.nerik.de/projekt/historische_Fragestellung.php, Zugriff 20.08.2014
- [23] db.nerik.de/artikel/3001.php?artikelid=109, Zugriff 10.08.14
- [24] <http://nerik.de/ausgrabung/loci/>, Zugriff 10.08.2014
- [25] http://www.leica-geosystems.de/de/Leica-Cyclone_6515.htm, Zugriff 16.09.2014
- [26] http://www.leica-geosystems.de/de/Leica-TruView-Cyclone-PUBLISHER_64524.htm, Zugriff 16.09.2014
- [27] <http://www.ptgui.com/>, Zugriff 16.09.2014

[28] http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-333934/022543-256I-DEU_TrimBusCenter_TN_0614_A4_LR.pdf, Zugriff 16.09.2014

andere Quellen

[29] [Datenblatt Canon EOS 550D.pdf]

[30] [Datenblatt HDS7000.pdf]

[31] Koch, M. :Kurzanleitung Scannen mit dem Leica HDS7000, Weiterverarbeitung der Scans , Kamera Workflow [HDS7000 Gesamt.pdf] Beuth-Hochschule für Technik, Berlin 2013

[32] Lehmann, M.: [Kurzanleitung Photoscan Oymaflug ml.pdf] , Beuth-Hochschule für Technik, Berlin 2013

[33] [Datenblatt Olympus EM5.pdf]

[34] [Datenblatt Trimble S6.pdf]

Abbildungsverzeichnis

1.1	Stier-Gefäße aus Boğazköy, BARTELS, KiBiDaNO: Kieler Bilddatenbank Naher Osten, 2003	2
1.2	Kraggewölbe im Tunnel [23]	5
2.1	Impulslaufzeit, DEUMLICH/STAIGER, 2002	8
2.2	Phasenvergleich, PETRAHN, 2010	9
2.3	Innere Orientierung, LUHMANN, 2010	12
2.4	Äußere Orientierung, LUHMANN, 2010	13
2.5	Relative und Absolute Orientierung, nach KRAUS, 2004	14
2.6	Orientierung der Bündelblockausgleichung	15
4.1	Übersicht des Lagenetzes http://nerik.de/ausgrabung/loci/ , Zugriff 10.08.2014	21
4.2	Scannereinstellungen	23
4.3	Nodalarm	23
5.1	Z-File	25
5.2	Ausgleichungsparameter der Festpunkte	26
5.3	Ausgleichungsnetz der Festpunkte	26
5.4	Originalbild	27
5.5	bearbeitetes Bild	27
5.6	Beschneiden der Bildränder (crop)	28
5.7	Control Points	29
5.8	Panorama	29
5.9	oben =*_u	30
5.10	links =*_l	30
5.11	vorne =*_f	30
5.12	rechts =*_r	30
5.13	hinten =*_b	30

5.14 unten =*_d	30
5.15 Aufbau von Cyclone	31
5.16 Texturierung	32
5.17 Registrierung	33
5.18 Align And Estimate Images Quality	34
5.19 Dreiecksvermaschung	35
5.20 Passpunktgenauigkeit in PhotoScan	35
5.21 Übersicht Passpunkte	37
5.22 Struktur der Punktwolken in CloudCompare	38
5.23 Mehrere Punktwolken in CloudCompare	38
6.1 Doppelte Punktwolke	40
6.2 Struktur Bundler	41
6.3 Struktur Scanner	41
6.4 Struktur Photoscan	41
6.5 Struktur Scanner(2)	41
6.6 Texturierte Struktur PhotoScan	42
6.7 Lücken Bundler	42
6.8 Lücken Scanner	42
6.9 Lücken Photoscan	42
6.10 Bundler und Scanner	43
6.11 Photoscan und Scannner	43
6.12 Bundler und Scanner(2)	44
6.13 Photoscan und Scannner(2)	44
6.14 Einbauten zur Sicherung des Tunnels	45
6.15 Tunnel von der Obenansicht	45
6.16 Einsturzgefährdete Stelle	45
6.17 PhotoScan Punktwolke	46
6.18 PhotoScan Punktwolke	46
6.19 PhotoScan Seitenansicht	46
6.20 Übersicht TruView	48
6.21 Sicht von einem Standpunkt in TruView	48
6.22 Messtool in TruView	49

Tabellenverzeichnis

6.1	Punktvergleich zwischen Bundler und Scanner	43
6.2	Punktvergleich zwischen PhotoScan und Scanner	43

Abkürzungsverzeichnis

GNSS Global Navigation Satellite Systems

GPS Global Positioning System

ppm parts per million

TBC Trimble Business Center

PTGui Graphical User Interface for Panorama Tools

Anhang

Die verwendeten anderen Quellen, sowie die Projektdaten befinden sich auf dem Server der Beuth-Hochschule für Technik Berlin.

`\photo2\Bachelor_SS14\BA_Oymaagac\Abgabe\...`

Anleitungen

Die verwendeten Anleitungen von M. Koch und M. Lehmann befinden sich im Ordner

Anleitungen.

Datenblätter

Die verwendeten Datenblätter der verwendeten Instrumente befinden sich im Ordner

Datenblätter.

Cyclone-Projektdaten

Die Datenbankdatei mit den bearbeiteten Cyclone Daten befindet sich im Ordner

Cyclone-Projekt.

PhotoScan-Projektdaten

Die PhotoScandatei mit der bearbeiteten Punktwolke befindet sich im Ordner

PhotoScan-Projekt, und die dazu gehörigen Bilder in **PhotoScan-Projekt\bearbeitete Bilder.**

Caplan-Projekt

Die Caplan-Projektdateien, sowie der Ausgleichungsbericht und die verwendeten Passpunktkoordinaten befinden sich im Ordner

Caplan-Projekt.

Flug durchs Messobjekt

Die AVI-Datei des Fluges befindet sich im Ordner

Animation.

Leica TruView

Die Daten für Leica TruView befinden sich in dem Ordner

Leica TruView.

Originaldaten

Die Originaldaten befinden sich im Ordner

Originaldaten.

Verwendete Hard- und Software

Alle Berechnungen wurden im Photogrammetrie Labor an einem Desktop PC Dell Precision T5500 mit Intel Xenon CPU X5660 2.8 GHz (8 Kerne) und 24 Gb RAM durchgeführt.

Folgende Software Versionen waren im Einsatz:

- aSPECT 3D Version 13.2 revision 6320
- Caplan Version 3.91
- CloudCompare Version 2.5.4.1
- Cyclone Version 8.1.1 build 3973

- Microsoft Windows 7 Professional 64Bit
- PhotoScan Version 1.0.4 build 1847
- PhotoShop CS5 Version 12.1
- PTGui Version 9.1.3
- Trimble Business Center Version 3.11
- TruView Version 3.1