

Bernburg
Dessau
Köthen



Hochschule Anhalt (FH)
Anhalt University of Applied Sciences

Institut für Geoinformation und Vermessung

Terrestrisches Laserscanning

Abschlussbericht

Konstantin Heinrich

Matrikel-Nr.: 4058029

Sven Röder

Matrikel-Nr.: 4058318

Matthias Rüster

Matrikel-Nr.: 4057874

Paul Schröter

Matrikel-Nr.: 4057873

30.10.2015

Vorwort

Das Modul "Terrestrisches Laserscanning", unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. H. Runne, dient dem Erlangen von anwendungsbereiten Kenntnissen über die Verfahrensgrundzüge des Terrestrischen Laserscanning (TLS) und ist laut Studienordnung als Wahlpflichtmodul zum Bachelor-Studium „Vermessung und Geoinformatik“ vorgesehen.

Darin werden die Fähigkeiten zur sachgerechten Planung von TLS-Messkampagnen, TLS-Messungen, Herstellung eines einheitlichen Raumbezuges bzw. der Registrierung von Punktwolken vermittelt.

Für den Erhalt der zu erstrebenden 5 Credit-Points ist am Ende des Moduls eine schriftliche Abschlussarbeit zu erbringen. Die nachfolgende Arbeit wurde nach bestem Wissen und Gewissen von uns persönlich erstellt.

Dessau, den 30.10.2015

Konstantin Heinrich

Sven Röder

Matthias Rüster

Paul Schröter

Inhaltverzeichnis

GRUNDLAGEN.....	1
MESSPRINZIP	1
Laser	2
Distanzmessung.....	3
Ablenksystem/Winkelmesssystem.....	3
Objekteigenschaften.....	3
INSTRUMENTARIEN	4
Leica ScanStation 2	4
Zoller & Fröhlich Imager 5010	5
TLS-PRÜFUNG IM FELDVERFAHREN.....	7
ÜBERPRÜFUNG DER SCANSTATION 2 VON LEICA	9
ÜBERPRÜFUNG DES IMAGER 5010 VON ZOLLER & FRÖHLICH	9
BEREINIGUNG DER PUNKTWOLKEN.....	10
REGISTRIERUNG DER PUNKTWOLKEN	11
REGISTRIERUNG ÜBER TARGETS	12
REGISTRIERUNG ÜBER VERTEXE	13
REGISTRIERUNG ÜBER EBENEN.....	14
REGISTRIERUNG ÜBER ICP	15
VERGLEICH DER ERGEBNISSE DER VERSCHIEDENEN VARIANTEN	16
PROJEKT VORORT-HAUS	19
VORÜBERLEGUNGEN	20
UMSETZUNG.....	22
Panoramaerzeugung	24
Füllen der Punktwolke mit RGB-Informationen	25
BEURTEILUNG DER ERGEBNISSE	26
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	I
TABELLENVERZEICHNIS	I
LITERATURVERZEICHNIS	II
FACHLITERATUR	II
INTERNETVERWEISE	II

Anlagenverzeichnis

1. Protokoll zur Instrumentenprüfung Leica ScanStation 2
2. Protokoll zur Instrumentenprüfung Z+F Imager 5010
3. Auswerteprotokolle der verschiedenen Registrierverfahren
 - a. Registrierung über Targets
 - b. Registrierung über Vertexe
 - c. Registrierung über Ebenen
 - d. Registrierung über ICP
4. Koordinatenunterschiede identischer Punkte nach den verschiedenen Registrierarten
5. Vergleich der Transformationsparameter

Grundlagen

Laserscanning bezeichnet das zeilen- oder rasterartige Überstreichen von Oberflächen oder Körpern mit einem Laserstrahl, um diese zu vermessen. Beim Terrestrischen Laserscanning (TLS) wird die Oberflächengeometrie von Gegenständen mittels Pulslaufzeit oder Phasenvergleichsverfahren digital erfasst. Dabei entsteht eine diskrete Menge von Abtastpunkten, die als Punktwolke bezeichnet wird. Die Koordinaten der gemessenen Punkte werden aus den Winkeln und der Entfernung in Bezug zum Ursprung (Gerätestandort) ermittelt.

Das Terrestrische Laserscanning hat sich in den letzten Jahren als ein vielseitiges, innovatives Messverfahren etabliert. TLS besitzt ein enormes technologisches Potential und kann für den Berufsstand der Geodäten vielfältige neue Anwendungs- und Geschäftsfelder erschließen.¹

Messprinzip

Das terrestrische Laserscanning ist ein stationäres, aktives, bildgebendes 3D-Verfahren, das laserbasierte Streckenmessungen in einer automatisierten Abfolge von quasi gleichabständigen Abtastschritten in vertikaler und horizontaler Richtung erfasst und daraus geometrische Informationen über das Objekt gewinnt. Die Funktionsweise eines Laserscanners unterscheidet sich von anderen Messverfahren insofern, als dass mit dem Laserscanner über ein regelmäßiges Raster eine flächenhafte Objekterfassung erfolgt, und nicht wie sonst üblich eine Objektdiskretisierung durch repräsentative Punkte.

Die Rohdaten, die durch einen Laserscanner erzeugt werden, sind Messwerttripel, bestehend aus einer gemessenen Schrägdistanz sowie je einem Wert für die Horizontal- und Vertikalablenkung. Für die Distanzmessung kommen je nach Hersteller unterschiedliche Verfahren zur Anwendung. Man unterscheidet das Impulslaufzeitverfahren, das Phasendifferenzverfahren und das Triangulationsverfahren. Auch die Abtastung, d. h. die Ermittlung der Vertikal- bzw. Horizontalwerte kann auf verschiedene Arten erfolgen. Neben einer Abtastung durch Servomotoren, die den Laser bewegen, können durch Servomotoren rotierende Planspiegel oder ein kontinuierlich rotierender Spiegelpolygon eingesetzt werden. Die Hersteller nutzen häufig eine Kombination aus verschiedenen Abtastarten.

¹ DVW Arbeitsgruppe TLS: <http://www.dvw.de/dvw-ak3/859/arbeitsgruppe-terrestrisches-laserscanning-und-bildgebende-verfahren-tls>

Über einfache trigonometrische Beziehungen werden die erfassten Polarkoordinaten in kartesische Koordinaten umgewandelt. Dieses Zwischenergebnis stellt eine Punktwolke dar, welche anschließend am Computer weiterverarbeitet werden kann, um beispielsweise 3D-Modelle zu erzeugen. Auch bei der Modellbildung gibt es grundsätzliche Unterschiede gegenüber den konventionellen Methoden, da kein zuvor definierter diskreter Objektpunkt gemessen wird, sondern eine Vielzahl zufällig auf dem Messobjekt verteilte Punkte. Daher müssen die geometrischen Repräsentanzpunkte in der Nachbearbeitung durch geometrische Algorithmen bestimmt werden.²

Im Folgenden wird kurz auf die Grundlagen der Messtechnik für das Laserscanning eingegangen.

Laser

Zunächst benötigt man ein Lasermedium in dem das Licht durch stimulierte Emission verstärkt wird diese kann man in drei Verschiedene Lasermedien unterscheiden Gas-, Festkörper- und Farbstoffmedien. Im Lasermedium müssen genügend viele angeregte Teilchen erzeugen werden. Daher wird eine Pumpquelle benötigt, die die Teilchen im Lasermedium in angeregte Zustände überführt. Dies kann

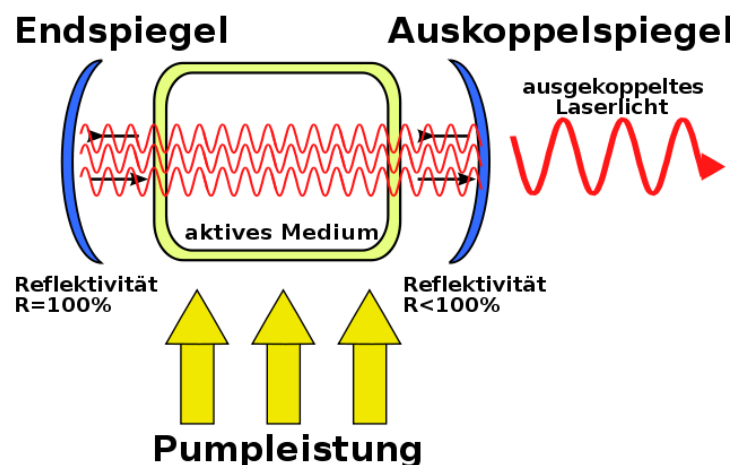


Abbildung 1: Laserprinzip

beispielsweise durch eine Blitzlampe, Zusammenstöße mit schnellen Atomen in der Gasphase oder auch durch andere Laser geschehen, die das Lasermedium durch Zufuhr von elektromagnetischer oder chemischer Energie geschehen. Um den Prozess der Verstärkung optimal zu nutzen, benötigt man noch rückkoppelnde Elemente, zum Beispiel Spiegel (siehe Abbildung 1), die den Laserstrahl mehrmals durch das Lasermedium schicken. Diese Vorrichtung nennt man Resonator, auch dieses Element gibt es in den verschiedensten Ausführungen, die jeweils an das verwendete Lasermedium und die Pumpquelle angepasst sind.

² https://de.wikipedia.org/wiki/Terrestrisches_Laserscanning

Distanzmessung

Zu jedem einzelnen Auftreffpunkt des Laserstrahles im Objektraum wird eine Distanzmessung durchgeführt. Dies erfolgt nach den bekannten Verfahren der elektrooptischen Distanzmessung: Impuls-Laufzeit-Verfahren oder Phasenvergleichsverfahren. Dabei hängen die Messgeschwindigkeit und die Reichweite stark von dem gewählten Verfahren ab. So zeichnet sich das Impulsverfahren durch eine gute Bündelung der Intensität und eine gute Signalerkennung aus, sodass hohe Reichweiten bis zu 1 km erzielt werden können. Mit dem Phasenvergleichsverfahren ist hingegen mit einer Reichweite von ca. 100 m zu rechnen, jedoch erzielt es eine deutlich höhere Messgeschwindigkeit von bis zu 500 kHz gegenüber ca. 10 kHz des Impulsverfahrens.

Die Genauigkeit der reflektorlosen Distanzmessung hängt stark von der reflektierten Signalintensität ab. Je höher diese ist desto präziser ist die Distanz. Einflussfaktoren dieser Intensität sind dabei die Distanz selbst, Auftreffwinkel des Laserstrahles auf das Objekt und die Reflexionseigenschaft der Oberfläche, die sich durch Farbe, Rauigkeit, Benetzung usw. stark ändern kann.

Ablenksystem/Winkelmeßsystem

Durch Spiegelsysteme die sich in zwei zueinander senkrechten Richtungen bewegen lassen wird der Laserstrahl abgelenkt. Die Systeme führen entweder eine Kippbewegung (oszillierendes System) oder eine Drehbewegung (rotierendes System) aus. Nach verwendeten Ablenksystem und Sichtbereich der Aufnahme unterscheidet man zwischen einem „Kamera“-Scanner oder „Panorama“-Scanner.

Objekteigenschaften

Das aufzunehmende Objekt sollte gewisse Oberflächeneigenschaften besitzen. Besteht das Objekt z.B. aus einer metallischen Oberfläche, Reflektoren oder andere spiegelnde Oberflächen kommt es zu einem sogenannten systematischen Effekt, der dazu führt, dass das Distanzmeßsystem übersteuert und keine plausiblen Distanzen ermittelt. Parameter für die Objekteigenschaften sind aber nicht nur die Oberflächenbeschaffenheit und Farbe, sondern auch die Feuchtigkeit. So können aufgrund der Intensität auch trockene und feuchte Flächen unterschieden werden. Materialien wie Styropor oder Marmor lassen den Laserstrahl bis zu einigen Millimetern eindringen und führen so ebenfalls zu systematischen Effekten.

Instrumentarien

Um eine umfangreiche Klassifizierung der 3-D Laserscanner durchführen zu können, muss zunächst zwischen statisch eingesetzten und mobilen Geräten unterschieden werden. Für unsere Aufgabe verwendeten wir ausschließlich statische Systeme. Diese waren die ScanStation2 der Firma Leica und der Zoller + Fröhlich Imager 5010. Des Weiteren können Scanner nach dem Verfahren der Streckenmessung differenziert werden. Hier unterteilen wir nach dem bereits beschriebenen Impulslaufzeit- bzw. dem Phasenvergleichsverfahren.

Leica ScanStation 2

Die ScanStation 2 führt das High-Definition-Surveying (HDS) in Kombination mit den vier fundamentalen Eigenschaften eines Tachymeters auf ein hohes Niveau bei der topographischen Aufnahme. Mit einer Scanrate von bis zu 50.000 Punkte pro Sekunde, vollem Sichtfeld, Zweiachs-Kompensator und einer hervorragenden Messgenauigkeit mit außergewöhnlich hoher Reichweite setzt die ScanStation 2 einen hohen Standard in der Vielseitigkeit, Produktivität und einfachen Bedienung der 3D-Laserscanner.³ Da die ScanStation 2 mittlerweile jedoch zu den älteren Modellen zählt, kann es in puncto Datenmenge pro Sekunde und Geschwindigkeit des Scanvorganges mit neueren Modellen wie dem Z&F nicht konkurrieren. Durch das Impulslaufzeitverfahren misst die ScanStation 2 in einem vollen horizontalen und vertikalen Sichtfeld von 360 x 270 Grad, bei einer max. Entfernung von 300 m.



Abbildung 2: Leica ScanStation 2

Die Winkelauflösung beträgt im Horizontalen und im Vertikalen 0,0069 Grad. Mit einem Zweiachs-Kompensator wird die Restneigung beim Horizontieren des Gerätes korrigiert. Mit der firmeneigenen Software Cyclone kann mit Hilfe eines angeschlossenen Computers die ScanStation 2 gesteuert werden. Und mit dem integrierten hochauflösenden Digitalkamerasystem können Bilder vom Messobjekt aufgenommen werden und später in die Punktwolke integriert werden.

³http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/ScanStation/brochures-datasheet/Leica_ScanStation%202_datasheet_de.pdf

Zoller & Fröhlich Imager 5010

Durch eine hohe Scanrate von bis zu 1.016.027 Pixel/Sek. und einer maximalen Rotationsgeschwindigkeit von 3.000 U/min ist der Imager 5010 einer der schnellsten 3D-Scanner.⁴ Aufgrund der Wellenlänge von 1,5 μm erreicht das Gerät eine maximale Reichweite von 187 Meter. Das Sichtfeld erstreckt sich dabei von 360 x 320 Grad. Die Bedienung und jegliche Einstellungen können über ein hochauflösendes Bedienfeld mit integriertem Touchscreen, welches sich an der Seite des Gerätes befindet, vorgenommen werden. Über einen speziellen 32GB USB-Stick können aufgenommene Daten exportiert und weitergegeben werden. Mit dem integrierten Zweiachskompensator verbessert sich die Registrierung und unterstützt damit geodätische Messverfahren, z.B. freie Stationierung. Ebenso wird dieser als elektronische Libelle zur horizontalen Ausrichtung verwendet. Die Winkelauflösung beträgt in der Vertikalen 0,0004° und in der Horizontalen 0,0002°. Durch sieben verschiedene Auflösungsstufen ist es möglich z.B. ein weit entferntes Objekt mit einer sehr hohen Auflösungsstufe aufzunehmen, um dies detailliert erfassen zu können. Die niedrigste Auflösungsstufe („Preview“) ist dafür gedacht sich für einen bevorstehenden Feinscan im Raum zu orientieren, um so den Feinscan richtig am Touchscreen platzieren zu können. Allerdings reicht es nicht aus einen Scan mit der „preview“ Stufe durchzuführen, da dabei die Targets nicht mit hoher Genauigkeit erkannt werden und so nicht zur Registrierung verwendet werden können.



Abbildung 3: Zoller & Fröhlich Imager 5010

Tabelle 1: Scanvarianten des Imager 5010 und deren Genauigkeiten

Ablenkeinheit	IMAGER	IMAGER und PROFILER				PROFILER
		Scandauer:				
Winkelauflösung	Pixel/360° horizontal & vertikal	less quality ⁶	normal quality ⁶	high quality ⁶	premium quality ⁶	Pixel/360° vertikal
„preview“ ⁴	1.250	---	0:26 min	---	---	1.280
„low“	2.500	0:26 min	0:52 min	1:44 min	---	2.560
„middle“	5.000	0:52 min	1:44 min	3:22 min	6:44 min	5.120
„high“	10.000	1:44 min	3:22 min	6:44 min	13:28 min	10.240
„super high“	20.000	3:28 min	6:44 min	13:28 min	26:56 min	20.480
„ultra high“ ⁵	40.000	---	13:28 min	26:56 min	53:20 min	40.960
„extremely high“ ⁵	100.000	---	81:00 min	162:00 min	---	---

⁴ http://www.zf-laser.com/fileadmin/editor/Broschueren/Broschure_IMAGER_5010_de_comp.pdf

Tabelle 2: Vergleich der Herstellerangaben beider Scanner

Hersteller/Modell		Leica ScanStation2	Z+F Imager 5010
Scan-Verfahren		Impulslaufzeit	Phasenvergleich
Sichtfeld [°]		360 x 270	360 x 320
Scan Entfernung [m]		300	187,3
max. Scan-Rate [Pkt/S]		50.000	1.016.000
Winkel-auflösung [°]	Vertikal	0,0069	0,0004
	Horizontal	0,0069	0,0002
Strahldivergenz/ Durchmesser beim Austritt		- / 4 mm	< 0,3 mrad / 3,5 mm
Genauigkeit der Distanzmessung bei 30 m		4 mm	k.A.
Neigungskorrektur		Zweiachs-Komp. 1"	Zweiachs-Komp. 1"
Scanner Steuerung		Notebook	Interner PC
Kamera		Integriert, hochauflösend	integriert, hochauflösend

TLS-Prüfung im Feldverfahren

Ziel der Feldüberprüfung eines Laserscanners ist es, eine Aussage über die Tauglichkeit des Scanners für den vorgesehenen Einsatz treffen zu können. Die Prüfung erfolgte über das „Verfahren zur standardisierten Überprüfung von terrestrischen Laserscannern (TLS)“ von dem deutschen Verein für Vermessungswesen (DVW)⁵. Der DVW veröffentlichte dazu ein Merkblatt, das eine empfohlene Messkonfiguration beschreibt, womit TLS-Systeme in Hinblick ihrer Genauigkeit überprüft werden können⁶. Fällt das Prüfergebnis positiv aus, so erfüllt der geprüfte Scanner die vorgegebenen Anforderungen. Gleichmaßen können auf gleiche Weise die Genauigkeitsparameter des Herstellers überprüft werden.

Für die Prüfung eines Scanners würden sich außerdem noch folgende Verfahren eignen: Einzeldistanz-Prozedur, Gekreuzte-Doppeldistanz-Prozedur (CDP), Dreiecksprozedur (TP), TLS-Überprüfung nach Heister⁷. Laut Aufgabenstellung sollte die einfache Testprozedur nach dem DVW-Merkblatt durchgeführt werden, welches viele Ähnlichkeiten zum Prüfverfahren nach Heister besitzt. Folgende Messanordnung wird für dieses Prüfverfahren benötigt:

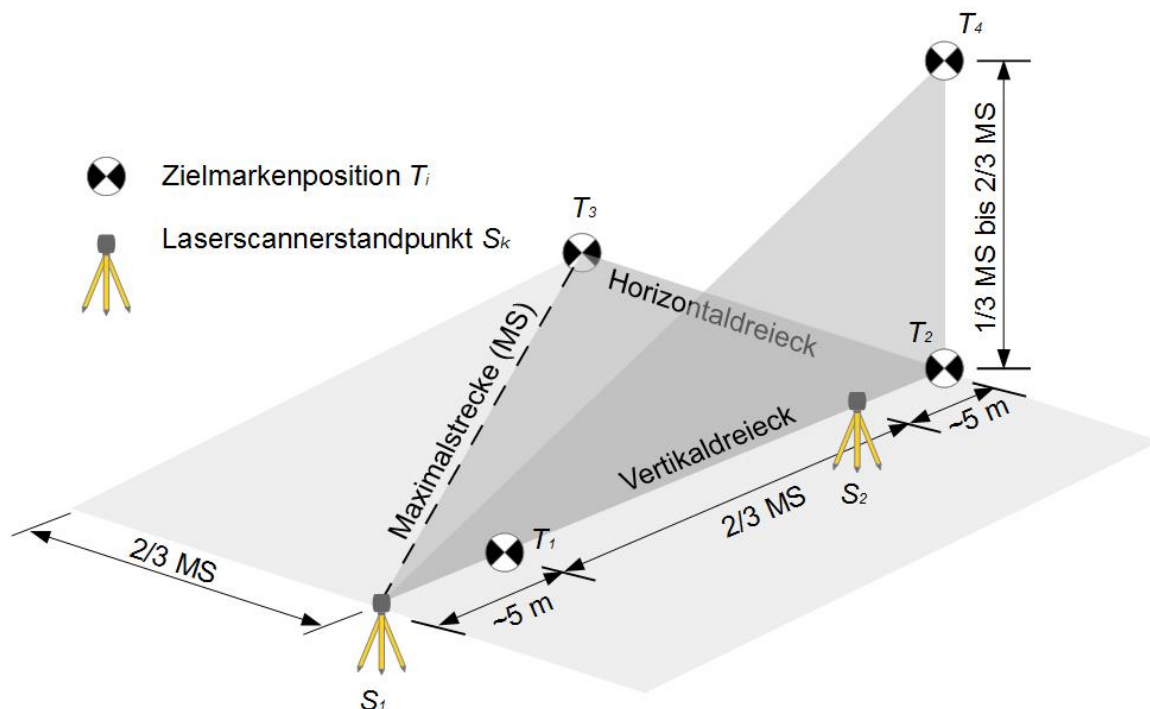


Abbildung 4: Messaufbau zum Prüfverfahren von Laserscannern

⁵ <http://www.dvw.de/>

⁶ http://www.dvw.de/sites/default/files/merkblatt/daten/2015/07_DVW-Merkblatt_TLS_Ueberpr%C3%BCfung.zip

⁷ Prof. Dr.-Ing. Heinz Runne, Hochschule Anhalt, Modul: TLS, Sommersemester 2015

Diese Form der Prüfung nutzt die lokalen Koordinaten der einzelnen Standpunkte aus. Somit ist im Grunde keine Horizontierung des Scanners notwendig. Berechnet werden dann die Abstände der Targets und die Winkel der Strecken zueinander. Daraus lassen sich Horizontalrichtungs- und Vertikalwinkelfehler ableiten. Die Streckendifferenzen können dann mit der Messunsicherheit der Zielmarkenzentren verglichen werden. Diese geben Auskunft darüber, ob die Messergebnisse innerhalb des vorgegebenen Genauigkeitsbereichs liegen.

Der DVW bietet eine Excel-Tabelle zum Eintragen der gemessenen Werte und zum Berechnen der Streckendifferenzen an. Die Auswertung erfolgt dann nach einem „Ampelsystem“: Man erhält eine Meldung darüber, ob das Gerät für die Anforderungen tauglich ist oder nicht. Die beiden verfügbaren Scanner (Zoller & Fröhlich Imager 5010 und Leica ScanStation 2) wurden von uns nach diesem Verfahren überprüft.

Die Durchführung erfolgte im Foyer des Gebäudes 04 mit den dort angebrachten Targets. Bei jeder Messung wurden dabei von beiden Standorten die jeweiligen Zielmarken aufgemessen. Es fanden Wiederholungsmessungen an den beiden Standpunkten statt. Wir entschieden uns für die Mindestanzahl von drei Wiederholungsmessungen pro Standpunkt. Für unseren Messaufbau ergaben sich folgende Eckdaten: die Strecke T_1T_2 betrug 14,7 m, T_1T_3 : 15,5 m, T_1T_4 : 15,2 m, T_2T_3 : 5,3 m, T_2T_4 : 3,9 m, für die Maximalstrecke (MS) ergibt sich somit ca. 20,4 m. Für den Abstand des zweiten Standpunktes S_2 zur Zielmarke T_2 waren wegen Sichtbehinderungen 6,5 m erforderlich statt den empfohlenen 5 m.



Abbildung 5: Messaufbau im Foyer Gebäude 04

Im Folgenden werden die Ergebnisse der beiden Überprüfungen diskutiert.

Überprüfung der ScanStation 2 von Leica

Das Aufnehmen von Messungen mit der ScanStation 2 kann nur über das angeschlossene Netzkabel, einem Laptop und der Software Cyclone⁸ erfolgen. Unter diesen Umständen und wegen der Aufnahmerate von nur ca. 50.000 Punkten pro Sekunde dauerten die Messungen länger als mit dem Zoller und Fröhlich.

Bei jedem Standpunkt führten wir zur Orientierung zunächst eine RGB-Bilderfassung durch. Danach konnten Messbereiche in der Software bestimmt und dadurch die Zielmarken mittels Laser und durch eine hohe Punktdichte (1 mm x 1 mm) erfasst werden.

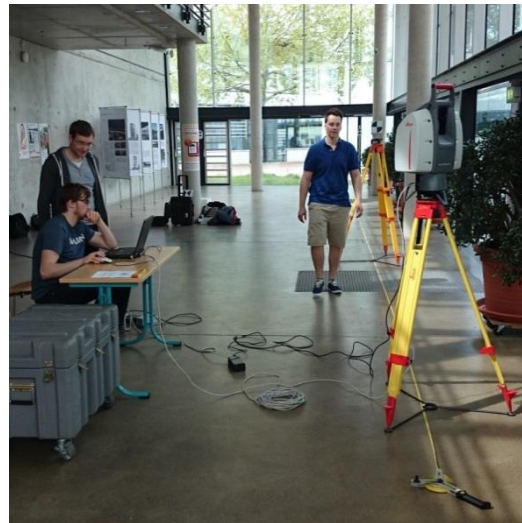


Abbildung 6: Aufbau der ScanStation 2 bei der Überprüfung

Für die Scanstation 2 ermittelten wir eine Messunsicherheit der Zielmarkenzentren von 2 mm (Anhang 1). Für die Innenaufnahme des VorOrt-Hauses wäre dies vollkommen ausreichend.

Überprüfung des Imager 5010 von Zoller & Fröhlich

Der Imager 5010 ist in seiner Handhabbarkeit wesentlich angenehmer als die ScanStation 2. Die Aufnahme erfordert kein weiteres Zubehör als den Laserscanner selbst. Durch das eingebaute Touch-Display ist eine Bedienung direkt am Gerät möglich. Bei jedem Standpunkt wurde zunächst ein Rundum-Scan in der Qualitätsstufe „preview“ durchgeführt. Danach konnten die Zielmarken in der Qualität „high“ abgescannt werden. Das „Aufziehen“ der Messbereiche erfolgte dabei auch über das Display.

Der Imager 5010 würde nach unserer Überprüfung für Anforderungen von 1 mm in der Messunsicherheit der Zielmarkenzentren eingesetzt werden können. Aufgrund der höheren Genauigkeit, sowie der flexibleren und schnelleren Arbeitsweise, bot es sich an, den Imager 5010 von Zoller und Fröhlich für die Innenaufnahme des VorOrt-Hauses zu verwenden.

⁸ http://www.leica-geosystems.de/de/Leica-Cyclone_6515.htm

Bereinigung der Punktwolken

Da es bei den Messungen häufig zu überschüssigen Punkten kommt, können diese aus der Betrachtung ausgeschlossen und damit entfernt werden. Die Ursache dieser überschüssigen Punkte hängt vorrangig damit zusammen, dass eine vom Zielstrahl erfasste reflektierende Fläche die Laufzeit des Lasers durch Spiegelung manipuliert und dadurch Punkte entstehen, die inmitten des Raumes erscheinen, obwohl sich dort keine Objekte befinden. Diese werden als "Phantom-Punkte" bezeichnet.

Es ist häufig nicht von Interesse, was für Objekte sich außerhalb des Raumes oder hinter Fenstern befinden. Auch Punkte, die an anderer Stelle bereits erfasst wurden, können bereinigt werden, um die redundante Verwendung gleicher Punkte zu vermeiden. Der Zweck der Bereinigung liegt darin, die Punktwolke soweit wie möglich auszudünnen, ohne wichtige Informationen, wie beispielsweise die Lage von Targets, zu löschen und die allgemeine Einhaltung einer geeigneten Punktdichte für die spätere Modellierung zu unterschreiten.

Durch die Bereinigung werden Ladezeiten verringert und anschließende Arbeiten begünstigt. In der linken Abbildung ist gut zu erkennen, dass die Punktwolke noch nicht bereinigt wurde. Viele Punkte außerhalb des Raumes erhöhen die Punktmenge, obwohl diese nicht relevant sind. Das Ergebnis der Bereinigung ist hier gut erkennbar, da deutlich weniger Punkte in der Darstellung enthalten sind. Vorab definierte Targets bleiben weiterhin vorhanden.

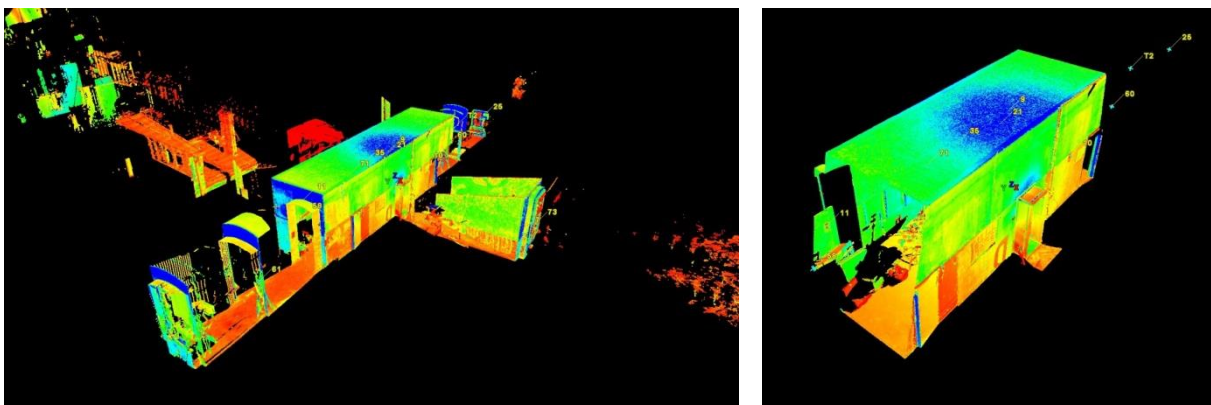


Abbildung 7: unbereinigte und bereinigte Punktwolke

Registrierung der Punktwolken

Da sich größere Objekte meistens nicht von einem Standpunkt aus komplett aufnehmen lassen, müssen Messungen von verschiedenen Standpunkten durchgeführt werden. Die Registrierung hat den Zweck die lokalen Koordinatensysteme eines jeden Standpunktes in ein einheitliches, dreidimensionales Bezugssystem zu überführen und diese im Nachgang zu georeferenzieren. Um dies zu ermöglichen, müssen vorher gemeinsame Verknüpfungspunkte in den Scans erstellt werden.

Um sich ebenfalls mit den anderen Registrierungsverfahren vertraut zu machen und diese bezüglich ihrer Genauigkeit zu vergleichen, wurde in den Übungen die Registrierung mittels Targets, Vertexe, Ebenen und ICP durchgeführt.

Registrierung über Targets

Die Registrierung erfolgt über Targets, die am jeweiligen Objekt angebracht wurden. Dabei wird darauf geachtet, dass von jedem Standpunkt aus mindestens drei oder vorzugsweise mehr Targets erkennbar waren. Auch der Einfallswinkel des Messlasers auf die Targets sollte möglichst spitz sein, da diese sonst möglicherweise nicht erkannt werden. Durch diese durchdachte Anordnung, sowie die Nummerierung der Targets ist die anschließende Registrierung innerhalb von Cyclone vereinfacht. Der Unterschied zwischen den Black-and-White und den HDS-Targets liegt im Wesentlichen in der äußeren Erscheinung. Diese sind in den Abbildung 8 und Abbildung 9 erkennbar und gut zu unterscheiden. Die HDS Targets besitzen ein kleines Kreuz in ihrem Mittelpunkt, wohingegen die Black-and-White-Targets aus weißen und schwarzen Flächen besteht, aus denen mit Hilfe der unterschiedlichen Reflexion beider Farben der Mittelpunkt berechnet werden kann.



Abbildung 8: HDS



Abbildung 9: Black
and White

Innerhalb des „Target-Modus“ des entsprechenden Targettyps in Cyclone reicht ein Klick in der Nähe des Targets, um diesen softwareintern genau zuzuordnen. Durch die Registrierung mit Targets kann mit einer hohen Genauigkeit gerechnet werden. Vom Nachteil ist hier die Vorarbeit, also das Anbringen der Zielmarken am Objekt, was sich an manchen Objekten als problematisch herausstellen kann. Das manuelle „Picken“ von jedem Target ist außerdem mit einem erhöhtem Zeitaufwand und einer potentiellen falschen Zuordnung verbunden.

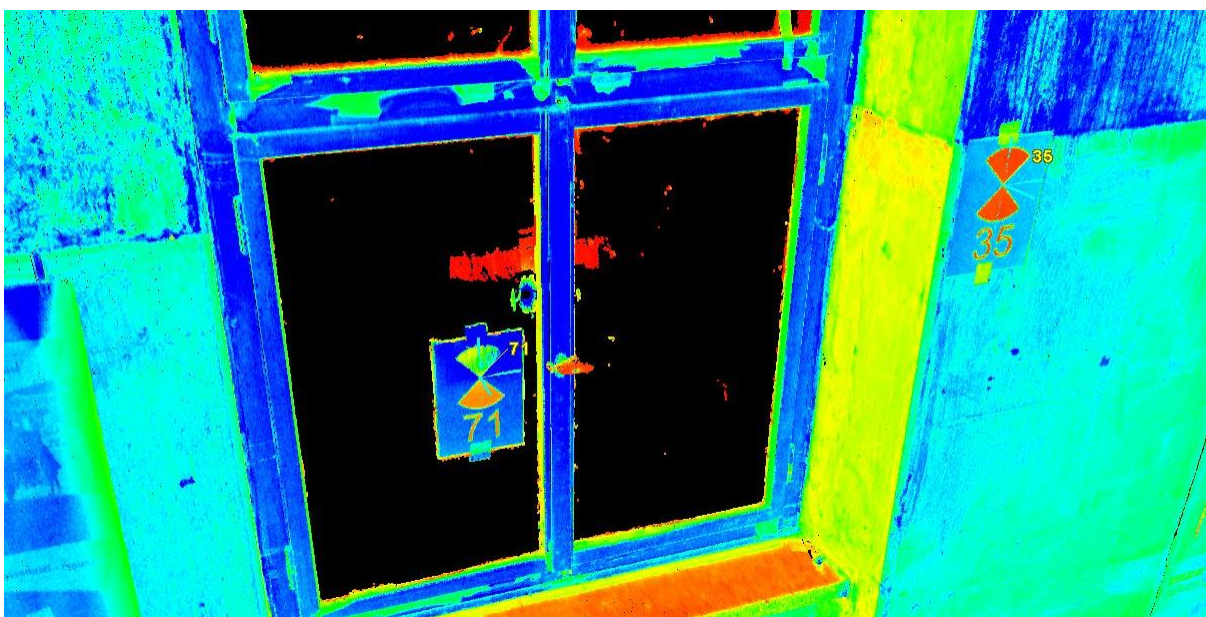


Abbildung 10: Registrierung mit Black-and-White-Target

Registrierung über Vertexe

Da es bei der oben angesprochenen automatischen Registrierung teils Probleme mit der automatischen Erkennung der Targets gab, musste auf Vertexe zurückgegriffen werden. Diese ermöglichen die manuelle Registrierung eindeutiger und natürlicher Passpunkte, wie beispielsweise das Zentrum oder den Rand eines Targets, das vorher nicht erkannt wurde (Abbildung 11). Auch andere Punkte können als Vertexe dienen, falls die geforderte Mindestzahl an Verknüpfungspunkten nicht eingehalten wurde oder nicht eingehalten werden konnte. Von Nachteil ist die schlechtere Genauigkeit, die beim manuellen „Picken“ zwangsläufig erzielt wird.

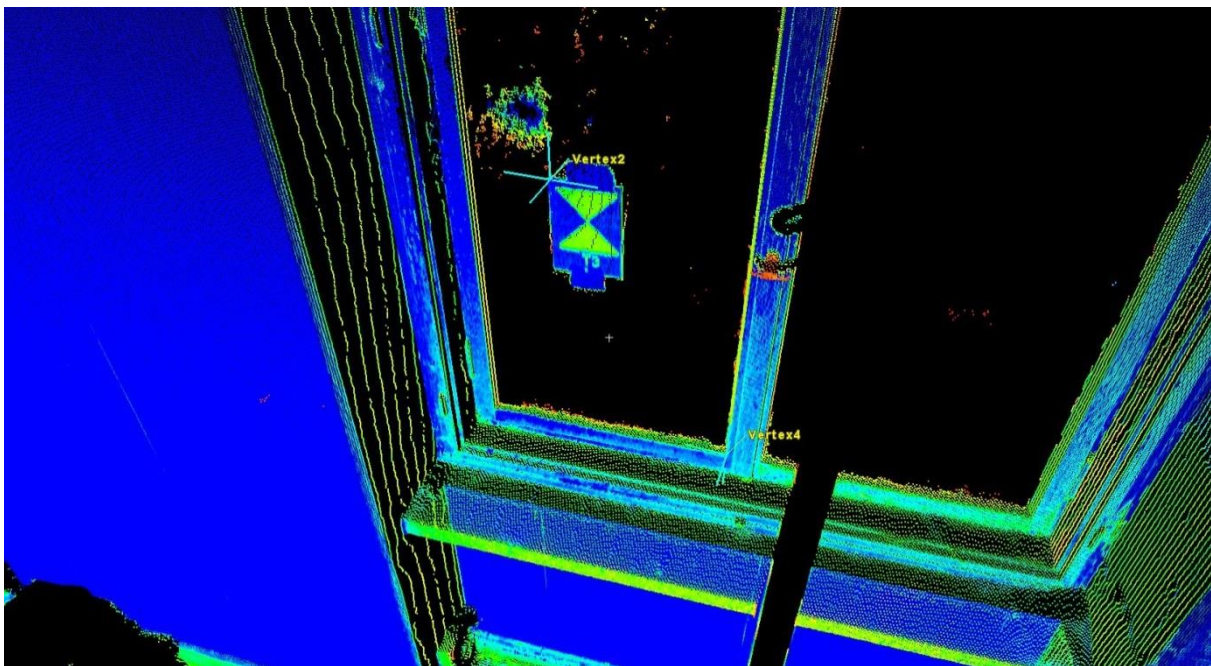


Abbildung 11: Vertex am Zielmarkenrand und am Fensterrahmen

Registrierung über Ebenen

Bei dieser merkmalsbasierten Registrierung werden markante und eindeutige Ebenen, beispielsweise eine Wand oder die Zimmerdecke, als Mittel der Verknüpfung verwendet. Dabei ist es bei diesem Verfahren von Wichtigkeit, dass die Ebenen von mehreren Standpunkten aus erkennbar sind. Durch die Entstehung von korrespondierenden Ebenen von verschiedenen Standpunkten ist die Registrierung nun möglich. In Abbildung 12 wird dargestellt, wie von zwei Standpunkten aus die Ebenen (blau-gefärbt) erzeugt wurden. Im folgenden Schritt werden diese benutzt, um die Punktwolken miteinander zu verknüpfen. Vorteil dieser Methode ist der geringe Zeitaufwand bei der Messung, da keine Marken oder ähnliches angebracht werden müssen. Dennoch muss beachtet werden, dass diese Methode nicht von höchster Genauigkeit sein kann.

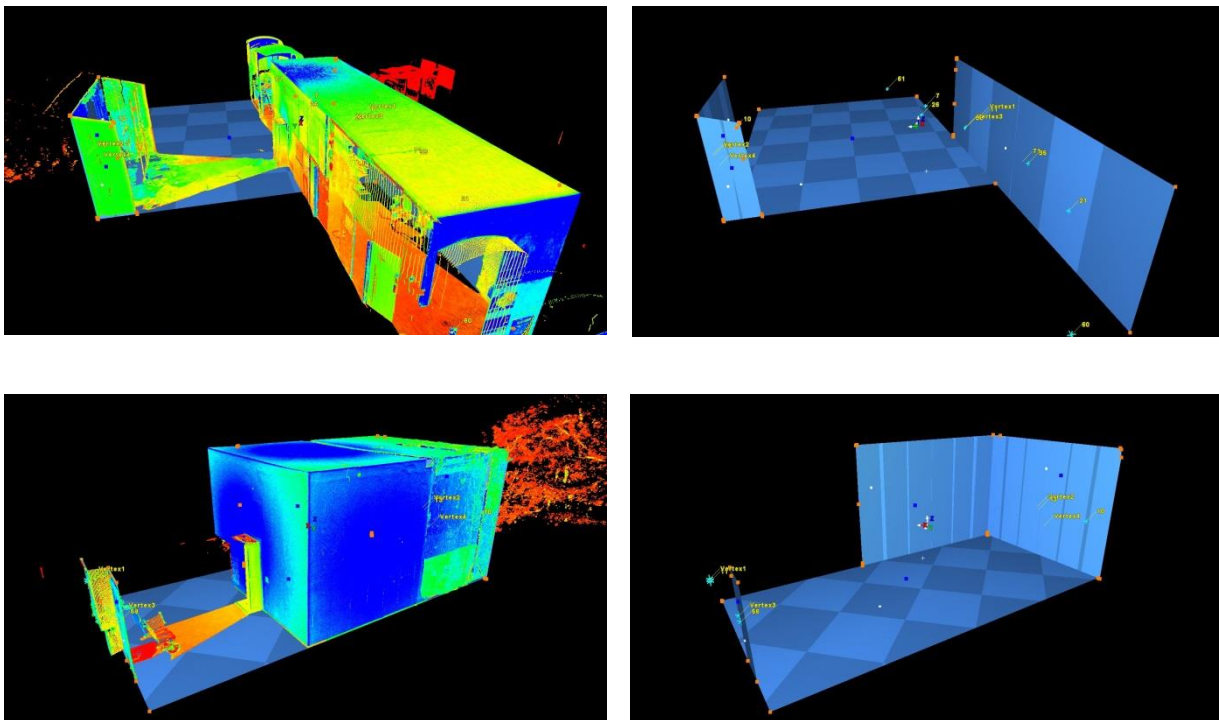


Abbildung 12: Registrierung über Ebenen

Registrierung über ICP

Iterative Closest Point (ICP) ist eine Methode der Feinregistrierung, bei der ein Algorithmus durchgeführt wird, der es ermöglicht Punktwolken miteinander, ohne die Verwendung von Targets und Ebenen zu verknüpfen. Mit Hilfe einer Koordinatentransformation soll zunächst erreicht werden, dass die Abstände zwischen den Punktwolken minimiert werden. Jeder Punkt aus der Punktwolke wird unter ständiger Anpassung der Transformationsparameter so berechnet, dass er sich dem Punkt aus der anderen Punktwolke stetig annähert. Dieses Prinzip ist gut aus der Abbildung 13 entnehmbar. Vereinfacht wird hier die stetige Annäherung der magenta-farbenden Punktwolke zur dunkelblauen Punktwolke dargestellt. Bei der Registrierung mit dem ICP-Algorithmus können hohe Genauigkeiten erzielt werden. Jedoch können Ausreißer in den Punktwolken (z.B. bewegte Objekte) auch die Genauigkeit verringern. Mit den heutigen Rechenleistungen lassen sich ICP-Verfahren schnell berechnen und gewinnen beim Laserscanning immer mehr an Bedeutung.

Es existieren bereits Konzepte von Laserscanning-Systemen, die eine integrierte und automatische Registrierung der Punktwolken über ICP möglich machen sollen, sodass eine händische Registrierung am Computer nicht mehr nötig sei.⁹

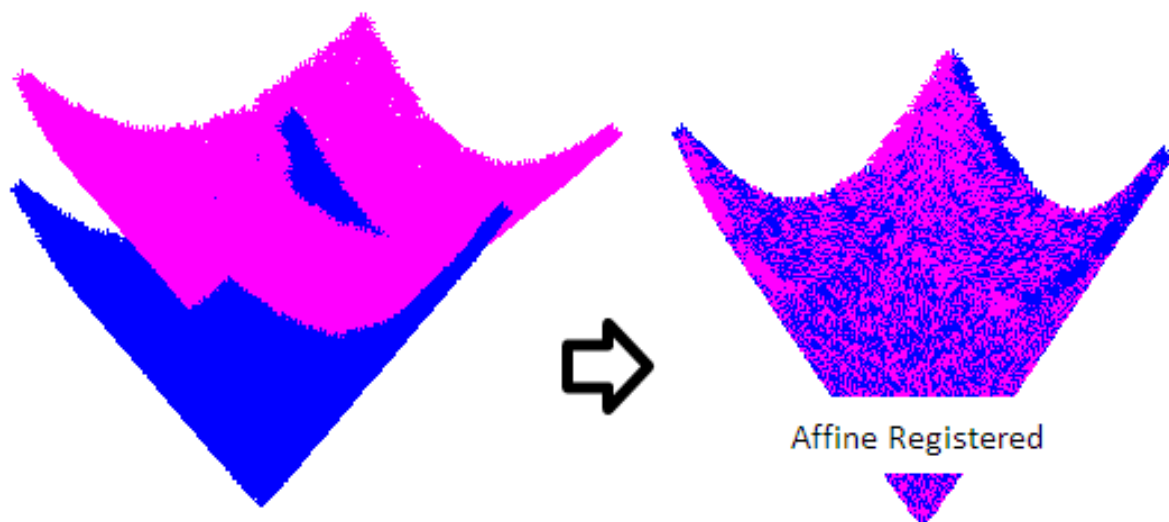


Abbildung 13: Prinzip von ICP

⁹ Institute of Geodesy and Photogrammetry Zürich, Devrim Akca
<http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:26938/eth-26938-01.pdf>

Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Varianten

Zur Beurteilung der verschiedenen Registrierverfahren wählten wir uns die Punktwolken zweier Standpunkte, welche auf den unterschiedlichen Weisen miteinander verknüpft wurden. Als Vergleichskriterium dienen die Koordinatenunterschiede, die bei der kombinierten Scan World nach der Registrierung (im Vergleich zur unregistrierten Punktwolke) auftreten. Die Koordinaten der gemeinsamen Targets der beiden Scan Worlds wurden aus der Home Scan World (dem Transformationsziel) koordinatenmäßig herausgegriffen und dann mit den Koordinaten verglichen, die die Targets nach der Registrierung erhalten haben.

Die Unterschiede fielen bei der Registrierung über Targets am geringsten aus. Es gab dabei eine maximale Abweichung von 0,3 mm in einer Koordinate.

Gleichermaßen war die Registrierung über eigene Vertexe vergleichsweise gut, jedoch spielten dort auch die Digitalisierungsungenauigkeiten der Vertexe mit herein. Hierbei trat eine maximale Abweichung von 1,6 mm auf.

Wesentlich ungenauer fielen die Registrierungen über Ebenen und dem ICP-Verfahren aus. Bei der Registrierung über Ebenen gab es eine maximale Abweichung von 3,3 mm, bei ICP 3,5 mm. Bei diesen beiden Registrierungen kommen Methoden der Ausgleichsrechnung zum Tragen, weshalb Ebenen gemittelt durch die Punktwolke gelegt werden und ICP Ausreißer die Annäherung verfälschen.

Die Verfahren sind für viele Anwendungen gleichermaßen gut geeignet. Je nach den geforderten Genauigkeiten der Messung sind auch verschiedene Registrierverfahren kombiniert anwendbar. Die Registrierung über Targets sollte für hohe Genauigkeiten bevorzugt werden. Die anderen Verfahren können natürlich je nach Situation auch ihre Vorteile haben. Sollte die Anbringung von Targets beispielsweise nicht möglich sein, so können auch die anderen Verfahren eingesetzt werden.

Für einen kompletten Vergleich seien hier nun alle Koordinatenunterschiede aufgelistet:

Tabelle 3: Koordinatenunterschiede zwischen den Registrierformen

Targets: Koordinatenunterschiede zum Standpunkt 1 (in mm):

	Δx	Δy	Δz	Δs
T3	-0,150	0,076	0,073	0,183
10	0,104	-0,302	-0,078	0,329
11	-0,045	0,289	-0,164	0,335
58	0,091	-0,064	0,168	0,201

Vertexe: Koordinatenunterschiede zum Standpunkt 1 (in mm):

	Δx	Δy	Δz	Δs
T3	-0,253	-0,037	1,624	1,644
10	0,060	-0,491	0,573	0,757
11	-0,349	0,126	-0,252	0,449
58	-0,454	-0,175	-0,191	0,523

Ebenen: Koordinatenunterschiede zum Standpunkt 1 (in mm):

	Δx	Δy	Δz	Δs
T3	2,527	1,937	0,963	3,326
10	2,809	0,780	-0,691	2,996
11	-0,831	1,746	-2,158	2,898
58	-0,980	1,254	-2,272	2,774

ICP: Koordinatenunterschiede zum Standpunkt 1 (in mm):

	Δx	Δy	Δz	Δs
T3	-0,262	-0,061	-2,587	2,601
10	-0,046	-0,716	-2,634	2,730
11	-1,478	0,013	-3,147	3,477
58	-1,261	-0,416	-2,76	3,063

Das Vergleichen der Transformationsparameter der einzelnen Registrierungen kann ein weiteres Kriterium für die Genauigkeit der Registriermethoden sein. Um die Punktwolke vom Standpunkt 2 an die Punktwolke von Standpunkt 1 anzufügen, waren folgende Transformationsparameter bei der Registrierung über Targets notwendig:

Translationsvektor: (-0,755 ; 3,184 ; 0,031) [m]

Rotation: (0,0000 ; 0,0001 ; -1,0000) [m] entspricht 133,485°

Wobei die „Nullrichtung“ vom Standpunkt 1 von Cyclone auf den Vektor $(0 ; 1 ; 0)$ festgesetzt wurde. Bei der Registrierung über Vertexe weicht der Translationsvektor um 2,2 mm, bei Ebenen 3,7 mm und ICP 6,4 mm davon ab. In der Richtung weicht die Registrierung über Vertexe um $0,003^\circ$, bei Ebenen $0,037^\circ$ und ICP $0,013^\circ$ von der Rotation von der Registrierung über Targets ab. Die detaillierten Berechnungen zu den genannten Abweichungen sind im Anhang zu finden.

Projekt VorOrt-Haus

Das VorOrt-Projekt ist eine studentische Initiative der gestaltenden Fachbereiche der Hochschule Anhalt am Standort Dessau.¹⁰ Für eine breite Nutzung des Gebäudes wurde es im vergangenen Jahr von der Hochschule gekauft, um somit allen Fachbereichen potenzielle Projekte zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang sollte im Rahmen des Moduls TLS eine detaillierte Innenraum-Bestandsaufnahme durchgeführt werden.



Abbildung 14: VorOrt-Haus

Um die TLS-Punktwolken später in das übergeordnete Koordinatensystem LS150 zu transformieren, war vorab die Herstellung und Ausgleichung eines Festpunktfeldes notwendig, welches ebenfalls durch die Studenten im Rahmen des Moduls Ingenieurvermessung realisiert wurde. Hierzu erfolgte die Erkundung des Gebietes vorab durch den Übungsleiter. Anschließend wurden die Höhen der neu angelegten Festpunkte nivelliert und für die Lagebestimmung eine Netzmessung durchgeführt. Die Studenten wurden für die TLS-Messungen in zwei Gruppen eingeteilt, wobei jede Gruppe eine komplette Etage selbständig scannen und auswerten sollte. Um die einzelnen Punktwolken sachgerecht zu registrieren, bedurfte es demzufolge auch Festpunkten innerhalb des Gebäudes. Im ersten Obergeschoss stellte sich die Aufnahme der Punkte, aufgrund der mangelnden Sicht zu den außenliegenden Festpunkten, als schwierig dar. Um dennoch Näherungskordinaten innerhalb des Gebäudes bestimmen zu können, wurden die Koordinaten der zwei benötigten Festpunkte mittels Bogenschnitt berechnet. Anschließend erfolgte die Auswertung der Messergebnisse bzw. die Ausgleichung des Netzes mittels der Software Panda¹¹. Im Ergebnis wurde das Netz mit einer maximalen Unsicherheit bei der Richtungsmessung von 0,77 mgon, bei der Zenitwinkel-messung von 0,71 mgon und in der Streckenmessung von 0,58 mm ausgeglichen.

¹⁰ Mehr Informationen unter: <http://vorort.design.hs-anhalt.de/>

¹¹ Mehr Informationen unter: <http://www.geotec-gmbh.de/panda/>

Vorüberlegungen

TLS-Projekte laufen grundsätzlich nach dem gleichen schematischen Muster (vgl. Abbildung 15), jedoch sind entsprechend den Anforderungen des Auftraggebers sowie den örtlichen Gegebenheiten Messungen und Auswertungen individuell zu planen. Die einzelnen Arbeitsschritte sind dabei stark miteinander korreliert und miteinander abzustimmen.¹²

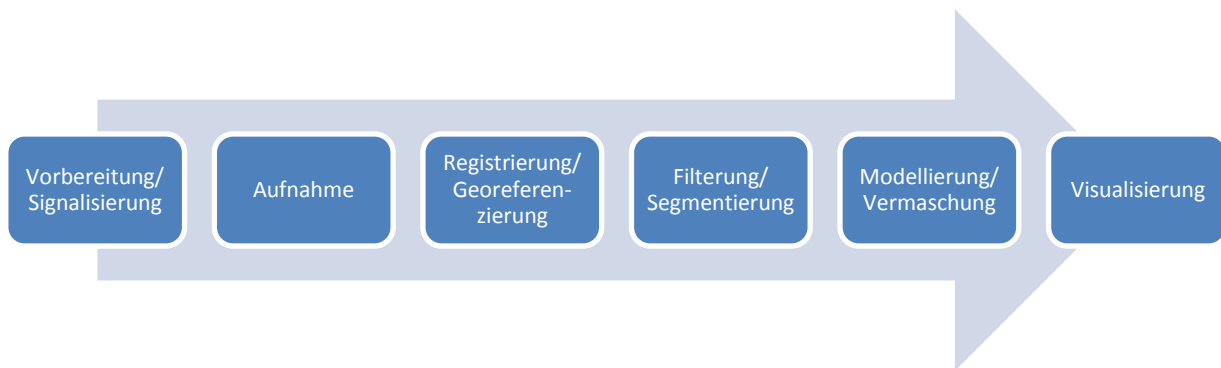


Abbildung 15: Schematischer Ablauf von TLS-Projekten

Die TLS-Messung im VorOrt-Haus sollte mit dem Imager 5010 von Zoller und Fröhlich durchgeführt werden, da dieser im direkten Vergleich zur ScanStation 2 von Leica hochauflösendere Messergebnisse in deutlich kürzerer Zeit aufweist. Laserscanner bieten i.d.R. verschiedene Auflösungsstufen. Grundsätzlich sollte man dabei beachten, dass mit zunehmender Auflösung (Verkleinerung des Messrasters) die zu speichernde Datenmenge exponentiell anwächst. Um das Gebäude später detailliert modellieren zu können, sollte während der Messung die Messauflösung "High" verwendet werden.

Im Vergleich zur ScanStation 2 wurde für den Imager 5010 über das TLS-Prüfverfahren eine höhere Standardgenauigkeit nachgewiesen, was ebenfalls für dessen Verwendung sprach.

Da die zu erwartenden Zielweiten innerhalb des Scanobjektes eher klein waren (übliche Innenraummaße), sollte die Auflösung "High" den Messanforderungen vollständig genügen. In dieser Auflösungsstufe scannt der Imager 5010 in Winkelschrittweiten von $0,036^\circ$, was beispielsweise bei 10 m Zielweite einer Rasterweite von ca. 3 mm entspricht.¹³

¹² Runne, H.: vgl. Vorlesungsskript "Planung und Durchführung von TLS-Messungen", S. 3

¹³ Runne, H.: vgl. Vorlesungsskript "Planung und Durchführung von TLS-Messungen", S. 26

Nach dem Kennenlernen der einzelnen Registrierformen für TLS-Punktwolken wurde sich außerdem darauf geeinigt, die Punktwolken des VorOrt-Hauses mittels Black-and-White-Targets zu registrieren.

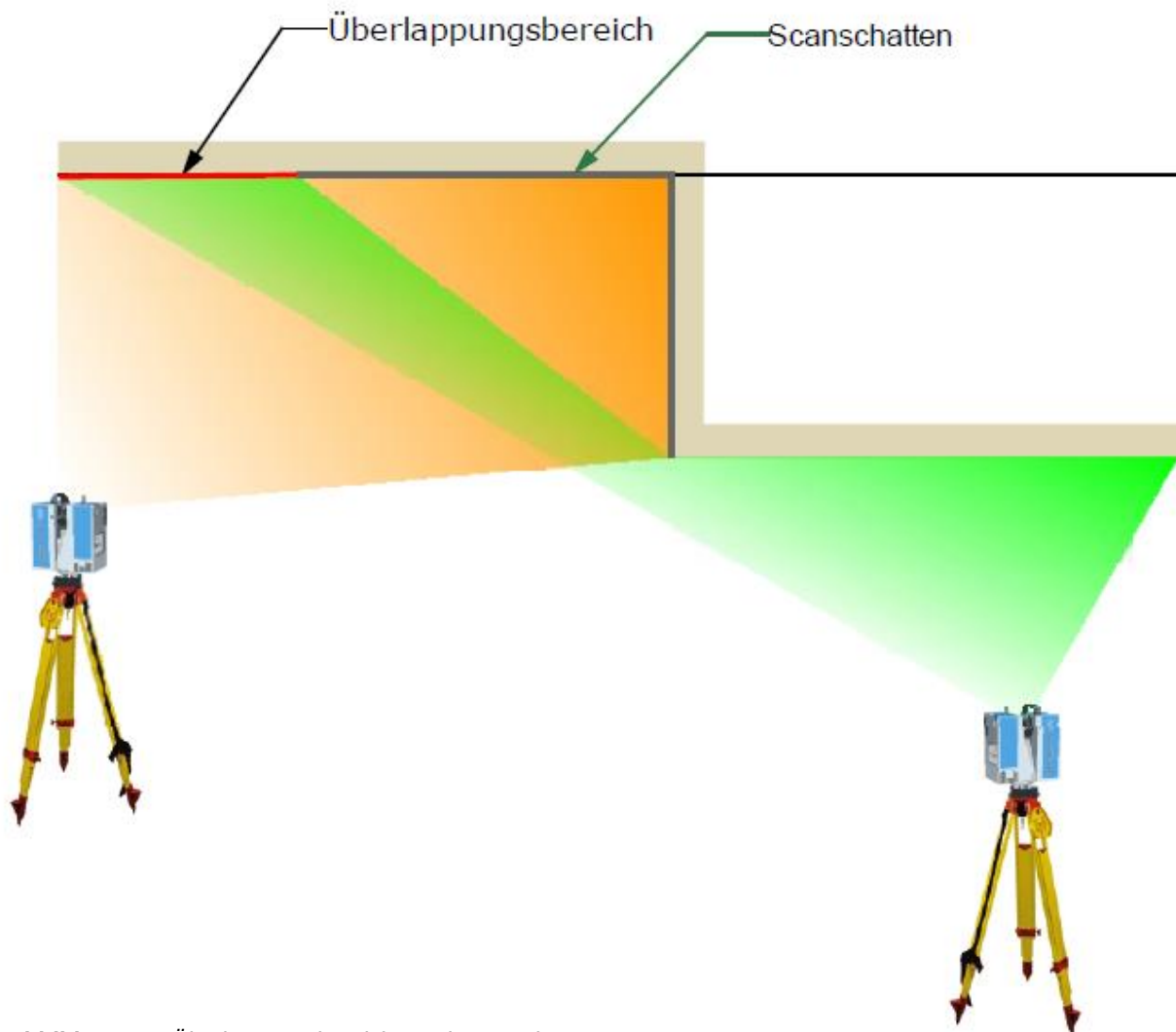


Abbildung 16: Überlappungsbereiche und Scanschatten

Prinzipiell ist bei der Planung der Scanner-Standpunkte zu berücksichtigen, dass lediglich vom Laserscanner sichtbare Bereiche erfasst werden können. Demzufolge müssen die Standpunkte so zueinander angeordnet werden, dass sich die Punktwolken überlappen und dadurch keine Löcher in den Punktwolken entstehen.¹⁴

¹⁴ Runne, H.: vgl. Vorlesungsskript "Planung und Durchführung von TLS-Messungen", S. 34

Umsetzung

Für die vollständige Bestandsaufnahme des ersten Obergeschosses waren insgesamt 15 Standpunkte notwendig. Daraus resultierten demzufolge 15 Punktwolken, die nach der TLS-Messung registriert werden mussten. Für die Registrierung wurden vorab in den Räumlichkeiten des zu scannenden Objekts Targets angebracht. Insbesondere wurde darauf geachtet, dass für jeden Standpunkt, also für jede spätere Punktwolke, genügend Targets mit guter Raumverteilung vorhanden waren. Konkret bedeutete dies, dass sie in mindestens zwei Punktwolken identifizierbar sein mussten, um die Registrierung durchzuführen.

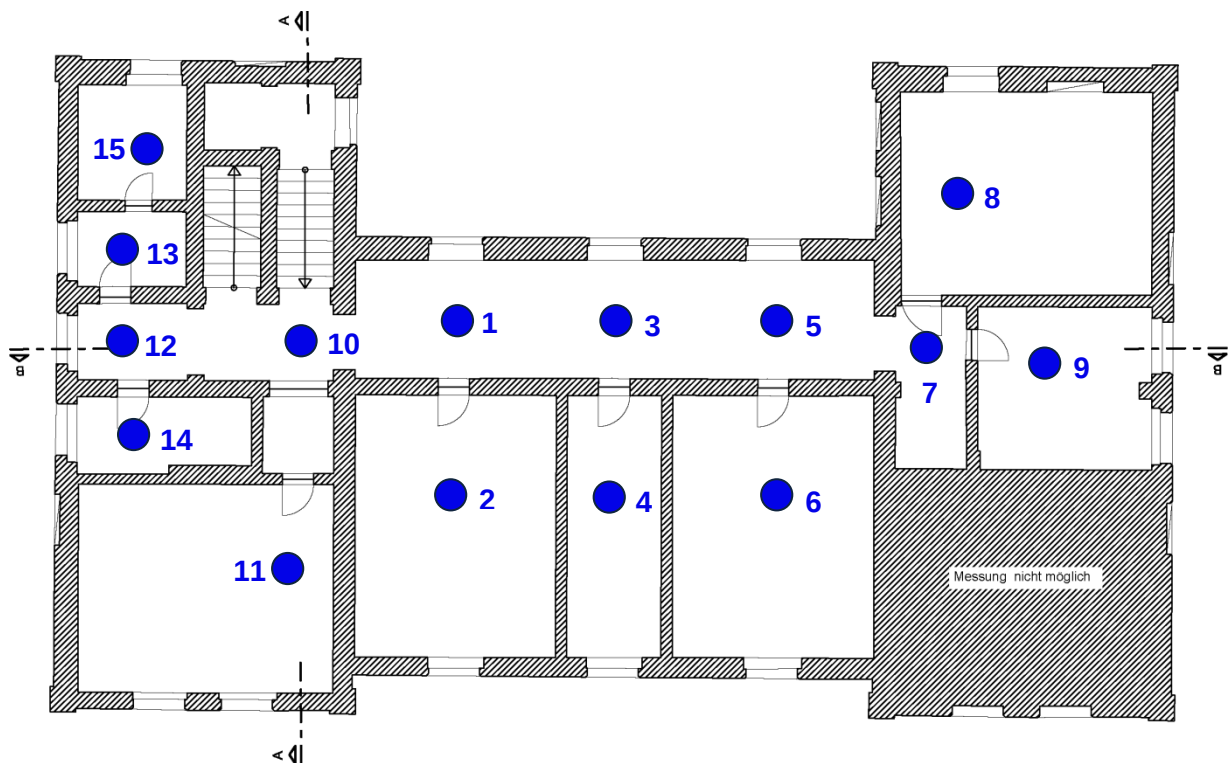


Abbildung 17: Scan-Standpunkte im Gebäude

Um die zusammengeführten Punktwolken in das übergeordnete Koordinatensystem zu transformieren, wurden einzelne Targets zudem mittels Tachymeter reflektorlos aufgemessen. Der dafür benötigte Anschluss an das neu angelegte Festpunktfeld war über die beiden Netzpunkte im Flur der Etage gegeben.

Beim Scannen ist aufgefallen, dass bei manchen Targets, die beispielsweise in einer erhöhten Entfernung zum Scanner liegen oder durch Spiegelung beeinflusst wurden, diese unerkennbar werden und in der anschließenden Registrierung nicht auswertbar wären



Abbildung 18: Mangelhafte Erkennung des Targets

(Abbildung 18). Daraufhin wird auf dem Display des Imager 5010, auf dem der vorab durchgeführten Scan dargestellt wird, die Stelle markiert in dem sich das unerkennbare Target befindet. Ein Scan mit einer höheren Auflösung und der dadurch verbundenen erhöhten Punktdichte soll das Target nun für die anschließende Auswertung verwendbar machen. Falls das Target dennoch nicht erkennbar oder die Mindestanzahl an Verknüpfungspunkten nicht ausreichend ist, können auch Vertexe verwendet werden.



Abbildung 19: Verwendung unterschiedlicher Scan-Auflösungen ("High" / "Super-High")

Panoramaerzeugung

Um die entstehenden Punktwolken auch koloriert darstellen zu können, werden zusätzlich vom jedem Standpunkt sechzehn Farbbilder angefertigt. Verwendet hierfür wird die Canon EOS 500D mit einem Fish-Eye Objektiv, welches einen größeren Blickwinkel bietet. Um zu gewährleisten, dass sich das Objektivzentrum der Kamera im Achsenschnittpunkt der Kipp- und Stehachse des Laserscanners befindet, wird ein Nodalpunktadapter verwendet. Bei der Aufnahme rastete die Kamera alle 45° um die Stehachse herum ein. Dabei wurde jeweils ein Bild in positiver und negativer Kippachsrichtung von 30° aufgenommen. Dadurch entstanden sechzehn Farbbilder, welche für die folgenden Arbeiten verwendet wurden.



Abbildung 20: Nodalpunktadapter

Bei der Bearbeitung am Computer wird aus den Farbbildern zunächst ein Panorama mit Hilfe des Programms PTGui erzeugt (Abbildung 21).



Abbildung 21: Panoramaaufnahme

Füllen der Punktwolke mit RGB-Informationen

Weitergehend wird eine Würfelansicht des Standpunktes erzeugt, die man benötigt, um damit in Cyclone zu arbeiten und die Punktwolke mit RGB-Informationen füllen. In den Einzelabbildungen ist zu erkennen, dass das Panorama in sechs Bildern (front, right, back, left, up und down) für jede Fläche des Würfels (Cube) zerteilt wird.



Abbildung 22: Cube-Ansichten (v.l.n.r.: front, right, back, left, up, down)

In Cyclone werden im Nachgang jedem Punkt die RGB-Daten aus den Cube-Bildern zugeordnet (Abbildung 23). Dabei war es nicht von Wichtigkeit, die gesamte Etage mit den RGB-Informationen auszustatten, da dies mit einem erhöhten zeitlichen Aufwand verbunden wäre. Lediglich eine Punktwolke wurde bearbeitet.



Abbildung 23: Punktwolke mit RGB-Informationen

Beurteilung der Ergebnisse

Durch die vorüberlegte Planung und konsequente Durchführung der Messungen kam es nur zu wenigen Problemen, die entsprechend schnell behoben werden konnten. Ein unvermeidbares Problem bestand in der Aufnahme des Prismas auf dem Festpunkt 24, bedingt durch die Verdeckung des Fensters. Alternativ wählten wir den Festpunkt 26. Der Standpunkt musste sich jedoch in der Nähe des Fensters befinden, um den Sichtkontakt aufbauen zu können. Dadurch gestaltete sich die Anvisierung der nahegelegenen Targets als schwierig.

Von Standpunkt 14 ergab sich ein weiteres Problem, dass durch Tücher, die sich knapp unterhalb der Decke befanden, entstand. Diese versperrten die Sicht zur Raumdecke, wodurch die spätere Modellierung der Decke erschwert wird. Am gleichen Standpunkt war die Räumlichkeit nur spärlich ausgeleuchtet. So waren die Farbbilder teilweise unterbelichtet.

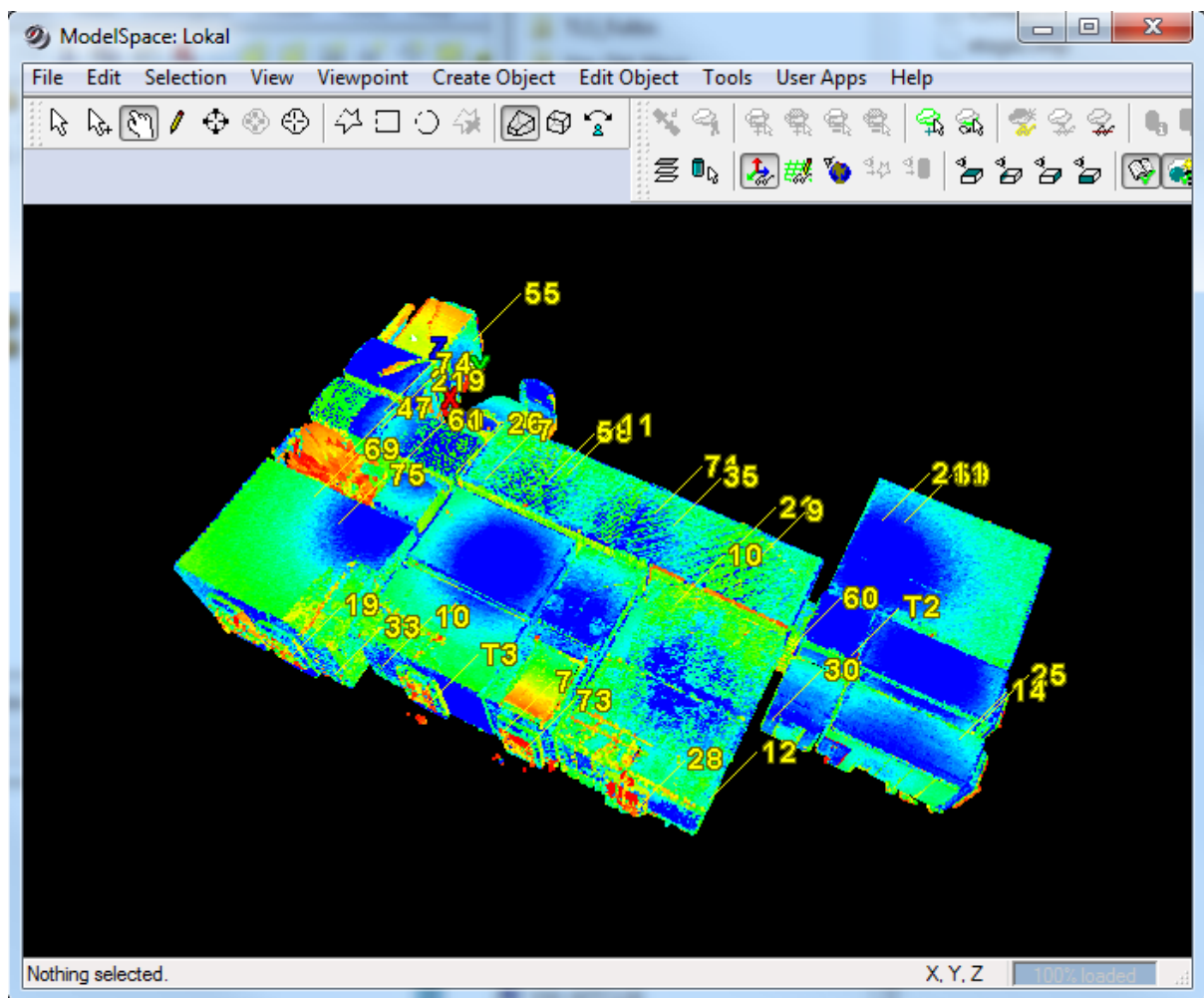


Abbildung 24: vollständig registrierte Punktwolke der Etage mit Targets

Da bei der Aufnahme der Punktwolke hauptsächlich auf Targets zurückgegriffen wurde, erreichten wir eine hohe Genauigkeit bei der anschließenden Auswertung. In Abbildung 24 ist die vollständig zusammengeführte Punktwolke der zweiten Etage mit entsprechender Targetnummerierung zu sehen.

Die Modellierung des VorOrt-Hauses aus der Punktwolke erfolgt nun anschließend im 5. Semester im Rahmen des Moduls 3D-Modellierung.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: <i>Laserprinzip</i>	2
Abbildung 2: <i>Leica ScanStation 2</i>	4
Abbildung 3: <i>Zoller & Fröhlich Imager 5010</i>	5
Abbildung 4: <i>Messaufbau zum Prüfverfahren von Laserscannern</i>	7
Abbildung 5: <i>Messaufbau im Foyer Gebäude 04</i>	8
Abbildung 6: <i>Aufbau der ScanStation 2 bei der Überprüfung</i>	9
Abbildung 7: <i>unbereinigte und bereinigte Punktwolke</i>	10
Abbildung 8: <i>HDS</i>	12
Abbildung 9: <i>Black and White</i>	12
Abbildung 10: <i>Registrierung mit Black-and-White-Target</i>	12
Abbildung 11: <i>Vertex am Zielmarkenrand und am Fensterrahmen</i>	13
Abbildung 12: <i>Registrierung über Ebenen</i>	14
Abbildung 13: <i>Prinzip von ICP</i>	15
Abbildung 14: <i>VorOrt-Haus</i>	19
Abbildung 15: <i>Schematischer Ablauf von TLS-Projekten</i>	20
Abbildung 16: <i>Überlappungsbereiche und Scanschatten</i>	21
Abbildung 17: <i>Scan-Standpunkte im Gebäude</i>	22
Abbildung 18: <i>Mangelhafte Erkennung des Targets</i>	22
Abbildung 19: <i>Verwendung unterschiedlicher Scan-Auflösungen ("High" / "Super-High")</i>	23
Abbildung 20: <i>Nodalpunktadapter</i>	24
Abbildung 21: <i>Panoramaaufnahme</i>	24
Abbildung 22: <i>Cube-Ansichten (v.l.n.r.: front, right, back, left, up, down)</i>	25
Abbildung 23: <i>Punktwolke mit RGB-Informationen</i>	25
Abbildung 24: <i>vollständig registrierte Punktwolke der Etage mit Targets</i>	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: <i>Scanvarianten des Imager 5010 und deren Genauigkeiten</i>	5
Tabelle 2: <i>Vergleich der Herstellerangaben beider Scanner</i>	6
Tabelle 3: <i>Koordinatenunterschiede zwischen den Registrierformen</i>	17

Literaturverzeichnis

Fachliteratur

RUNNE, H. (2015): Vorlesungsskripte zum Modul Terrestrisches Laserscanning

Internetverweise

DVW (2015):

<http://www.dvw.de/dvw-ak3/859/arbeitsgruppe-terrestrisches-laserscanning-und-bildgebende-verfahren-tls>

LEICA GEOSYSTEMS (2015):

offizielle Produkt-Seite ScanStation 2;

http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-2_62189.htm

Datenblatt ScanStation 2:

http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/ScanStation/brochures-datasheet/Leica_ScanStation%202_datasheet_de.pdf

ZOLLER & FRÖHLICH (2015):

offizielle Produkt-Seite Imager 5010;

http://www.zf-laser.com/Z-F-IMAGER-R-5010.3d_laserscanner0.0.html

Datenblatt Imager 5010;

http://www.zf-laser.com/fileadmin/editor/Datenblaetter/Z_F_IMAGER_5010_Datenblatt_D.pdf

GEOMATIK HAMBURG (2015):

http://www.geomatik-hamburg.de/tls/tls2007/vortraege/03_tls2007_dold.pdf

WIKIPEDIA (2015):

Laserscanning: <https://de.wikipedia.org/wiki/Laserscanning>

Terrestrisches Laserscanning: https://de.wikipedia.org/wiki/Terrestrisches_Laserscanning



DVW - Gesellschaft für
Geodäsie,
Geoinformation und
Landmanagement e. V.

Berechnungsformular zum DVW-Merkblatt "Verfahren zur standardisierten Überprüfung von terrestrischen Laserscannern"

Datum der Messung: 11.05.2015
Bemerkungen: Messung im Foyer Gebäude 04

Beobachter: Gruppe 2
Instrument: Leica Scan Station 2
Zielzeichen-Typ: Black and White Targets
Auswertesoftware: Cyclone

I. Definition der Testgröße

Messunsicherheit der Zielmarkenzentren (z.B. aus Herstellerangaben):

u_T : 2,0 mm

→ Vergleichsgröße U_A : 8,0 mm

II. Koordinaten der Zielzeichenmittelpunkte

Standpunkt S_1	Zielmarke T_1			Zielmarke T_2			Zielmarke T_3			Zielmarke T_4		
	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]
	-5,010291	-0,085214	0,02555	-19,67292	0,119664	0,038375	-19,62281	-5,150774	0,046774	-19,75359	-0,196937	3,910916
	-5,01016	-0,085719	0,025406	-19,68132	0,12251	0,038637	-19,62288	-5,150751	0,046739	-19,75338	-0,196636	3,910712
	-5,010542	-0,085673	0,025437	-19,69289	0,124988	0,038869	-19,6228	-5,150796	0,046599	-19,75383	-0,196628	3,910733
gemittelte Koordinaten:	-5,0103	-0,0855	0,0255	-19,6824	0,1224	0,0386	-19,6228	-5,1508	0,0467	-19,7536	-0,1967	3,9108

Standpunkt S_2	Zielmarke T_1			Zielmarke T_2			Zielmarke T_3			Zielmarke T_4		
	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]
	5,335257	-6,615922	-0,012402	-3,647264	4,996553	0,001518	-7,733644	1,658884	0,010154	-3,939362	4,847739	3,876927
	5,335453	-6,615404	-0,012764	-3,64707	4,996141	0,001816	-7,733557	1,658793	0,01011	-3,939978	4,848778	3,875786
	5,335483	-6,615556	-0,012709	-3,647249	4,996515	0,001758	-7,733624	1,658755	0,01037	-3,940026	4,848703	3,875652
gemittelte Koordinaten:	5,3354	-6,6156	-0,0126	-3,6472	4,9964	0,0017	-7,7336	1,6588	0,0102	-3,9398	4,8484	3,8761

III. Strecken zwischen den Zielmarken

Standpunkt S_1	Strecke von... nach... [m]	Zielmarke T_1	Zielmarke T_2	Zielmarke T_3
	Zielmarke T_2	14,6735		
	Zielmarke T_3	15,4655	5,2735	
	Zielmarke T_4	15,2470	3,8859	6,2842

Standpunkt S_2	Strecke von... nach... [m]	Zielmarke T_1	Zielmarke T_2	Zielmarke T_3
	Zielmarke T_2	14,6808		
	Zielmarke T_3	15,4682	5,2762	
	Zielmarke T_4	15,2504	3,8883	6,2858

IV. Streckendifferenzen

Streckendifferenz Δ_{ij} [mm]	Zielmarke T_1	Zielmarke T_2	Zielmarke T_3
Zielmarke T_2	-7,3		
Zielmarke T_3	-2,7	-2,7	
Zielmarke T_4	-3,4	-2,3	-1,7

V. Ergebnis



Konstante, systemat. Distanzmessabw.: -3,6 mm

Messergebnisse innerhalb des vorgegebenen Genauigkeitsbereichs.



DVW - Gesellschaft für
Geodäsie,
Geoinformation und
Landmanagement e. V.

Berechnungsformular zum DVW-Merkblatt "Verfahren zur standardisierten Überprüfung von terrestrischen Laserscannern"

Datum der Messung: 11.05.2015
Bemerkungen: Messung im Foyer Gebäude 04

Beobachter: Gruppe 2
Instrument: Z&F Imager 5010
Zielzeichen-Typ: Black and White Targets
Auswertesoftware: CycloneAbs

I. Definition der Testgröße

Messunsicherheit der Zielmarkenzentren (z.B. aus Herstellerangaben):

u_T : 1,0 mm

→ Vergleichsgröße u_A : 4,0 mm

II. Koordinaten der Zielzeichenmittelpunkte

Standpunkt S_1	Zielmarke T_1			Zielmarke T_2			Zielmarke T_3			Zielmarke T_4		
	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]
	4,630099	-1,867568	-0,007413	18,06769	-7,781773	0,001851	20,06498	-2,895655	0,014332	18,25515	-7,511344	3,877343
	4,630108	-1,867617	-0,007622	18,06782	-7,781777	0,002541	20,06509	-2,895225	0,014035	18,25533	-7,510954	3,877198
	4,630248	-1,867387	-0,007705	18,06801	-7,781489	0,002812	20,06543	-2,894605	0,013648	18,25543	-7,510187	3,879004
gemittelte Koordinaten:	4,6302	-1,8675	-0,0076	18,0678	-7,7817	0,0024	20,0652	-2,8952	0,0140	18,2553	-7,5108	3,8778

Standpunkt S_2	Zielmarke T_1			Zielmarke T_2			Zielmarke T_3			Zielmarke T_4		
	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]
	-8,437055	1,03197	-0,009354	6,083944	-1,143036	0,005046	6,726658	4,093761	0,014085	6,190963	-0,833144	3,879112
	-8,437061	1,032021	-0,009458	6,083952	-1,142877	0,005049	6,726694	4,093896	0,014386	6,190987	-0,833289	3,879064
	-8,437092	1,031659	-0,009296	6,083988	-1,142622	0,005354	6,726907	4,093893	0,014139	6,191108	-0,832722	3,879325
gemittelte Koordinaten:	-8,4371	1,0319	-0,0094	6,0840	-1,1428	0,0051	6,7268	4,0939	0,0142	6,1910	-0,8331	3,8792

III. Strecken zwischen den Zielmarken

Standpunkt S_1	Strecke von... nach... [m]	Zielmarke T_1	Zielmarke T_2	Zielmarke T_3
	Zielmarke T_2	14,6816		
	Zielmarke T_3	15,4692	5,2790	
	Zielmarke T_4	15,2508	3,8894	6,2856

Standpunkt S_2	Strecke von... nach... [m]	Zielmarke T_1	Zielmarke T_2	Zielmarke T_3
	Zielmarke T_2	14,6830		
	Zielmarke T_3	15,4699	5,2760	
	Zielmarke T_4	15,2506	3,8879	6,2848

IV. Streckendifferenzen

Streckendifferenz Δ_{ij} [mm]	Zielmarke T_1	Zielmarke T_2	Zielmarke T_3
Zielmarke T_2	-1,4		
Zielmarke T_3	-0,7	3,0	
Zielmarke T_4	0,3	1,6	0,8

V. Ergebnis



Konstante, systemat. Distanzmessabw.: -0,7 mm

Messergebnisse innerhalb des vorgegebenen Genauigkeitsbereichs.

Registrierung über Targets

Status: VALID Registration

Mean Absolute Error:

for Enabled Constraints = 0.001 m

for Disabled Constraints = 0.000 m

Date: 2015.10.20 10:11:52

Database name : etage2

ScanWorlds

1

2

Constraints

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Horz	Vert
58	1	2	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	0.000 m	0.000 m
11	1	2	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m	0.001 m	0.000 m
10	1	2	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.001, 0.000) m	0.001 m	0.000 m
T3	1	2	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	0.000 m	0.000 m

ScanWorld Transformations

1

translation: (0.000, 0.000, 0.000) m

rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg

2

translation: (-0.755, 3.184, 0.031) m

rotation: (0.0000, 0.0001, -1.0000):133.485 deg

Registrierung über Vertexe

Status: VALID Registration

Mean Absolute Error:

for Enabled Constraints = 0.003 m

for Disabled Constraints = 0.000 m

Date: 2015.10.20 11:10:22

Database name : etage2

ScanWorlds

1
2

Constraints

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Horz	Vert
Vertex1	1	2	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.001, 0.000, 0.001) m	0.001 m	0.001 m
Vertex3	1	2	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, 0.000, -0.001) m	0.001 m	-0.001 m
Vertex4	1	2	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.002, 0.000, -0.003) m	0.002 m	-0.003 m
Vertex2	1	2	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.002, 0.000, 0.003) m	0.002 m	0.003 m

ScanWorld Transformations

1

translation: (0.000, 0.000, 0.000) m

rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg

2

translation: (-0.755, 3.185, 0.029) m

rotation: (0.0003, -0.0002, -1.0000):133.482 deg

Registrierung über Ebenen

Status: VALID Registration

Mean Absolute Error:

for Enabled Constraints = 0.020 m

for Disabled Constraints = 0.000 m

Date: 2015.10.20 13:05:04

Database name : etage2

ScanWorlds

1

2

Constraints

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error
unlabeled	1	2	Coplanar: Patch - Patch	On	1.0000	0.001 m/0.003 deg
unlabeled	1	2	Coplanar: Patch - Patch	On	1.0000	0.020 m/0.118 deg
unlabeled	1	2	Coplanar: Patch - Patch	On	1.0000	0.008 m/0.034 deg
unlabeled	1	2	Coplanar: Patch - Patch	On	1.0000	0.050 m/0.490 deg

ScanWorld Transformations

1

translation: (0.000, 0.000, 0.000) m

rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg

2

translation: (-0.757, 3.181, 0.032) m

rotation: (0.0005, -0.0004, -1.0000):133.448 deg

Registrierung über ICP

Status: VALID Registration

Mean Absolute Error:

for Enabled Constraints = 0.000 m

for Disabled Constraints = 0.000 m

Date: 2015.10.23 12:42:38

Database name : etage2

ScanWorlds

1

2

Constraints

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	HorzVert
Cloud/Mesh 1	1	2	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.010 m]	

Cloud/Mesh 1 [1 : 2]

Objective Function Value: 5.0242e-005 sq m

Iterations: 30

Overlap Point Count: 28500

Overlap Error Statistics

RMS: 0.0101802 m

AVG: 0.00645937 m

MIN: 2.2196e-006 m

MAX: 0.0609807 m

Overlap Center: (-0.366, 7.304, 0.092) m

Error after global registration: 3.76338e-030 sq m

Translation: (-0.753, 3.185, 0.037) m

Rotation: (0.0001, -0.0001, 1.0000):-133.472 deg

ScanWorld Transformations

1

translation: (0.000, 0.000, 0.000) m

rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg

2

translation: (-0.753, 3.185, 0.037) m

rotation: (-0.0001, 0.0001, -1.0000):133.472 deg

Koordinaten der Targets im Standpunkt 1:

	x	y	z
T3	-0,955308	8,256068	-0,196036
10	1,367147	8,001189	-0,022409
11	0,172867	-2,937424	0,006607
58	1,014482	-2,522652	-0,661337

Koordinaten nach der Registrierung über Targets:

	x	y	z
T3	-0,955158	8,255992	-0,196109
10	1,367043	8,001491	-0,022331
11	0,172912	-2,937713	0,006771
58	1,014391	-2,522588	-0,661505

Koordinaten nach der Registrierung über eigene Vertexe:

	x	y	z
T3	-0,955055	8,256105	-0,197660
10	1,367087	8,001680	-0,022982
11	0,173216	-2,937550	0,006859
58	1,014936	-2,522477	-0,661146

Koordinaten nach der Registrierung über Ebenen:

	x	y	z
T3	-0,957835	8,254131	-0,196999
10	1,364338	8,000409	-0,021718
11	0,173698	-2,939170	0,008765
58	1,015462	-2,523906	-0,659065

Koordinaten nach der Registrierung mit ICP:

	x	y	z
T3	-0,955046	8,256129	-0,193449
10	1,367193	8,001905	-0,019775
11	0,174345	-2,937437	0,009754
58	1,015743	-2,522236	-0,658577

Targets: Koordinatenunterschiede zum Standpunkt 1 (in mm):

	Δx	Δy	Δz	Δs
T3	-0,150	0,076	0,073	0,183
10	0,104	-0,302	-0,078	0,329
11	-0,045	0,289	-0,164	0,335
58	0,091	-0,064	0,168	0,201

Vertexe: Koordinatenunterschiede zum Standpunkt 1 (in mm):

	Δx	Δy	Δz	Δs
T3	-0,253	-0,037	1,624	1,644
10	0,060	-0,491	0,573	0,757
11	-0,349	0,126	-0,252	0,449
58	-0,454	-0,175	-0,191	0,523

Ebenen: Koordinatenunterschiede zum Standpunkt 1 (in mm):

	Δx	Δy	Δz	Δs
T3	2,527	1,937	0,963	3,326
10	2,809	0,780	-0,691	2,996
11	-0,831	1,746	-2,158	2,898
58	-0,980	1,254	-2,272	2,774

ICP: Koordinatenunterschiede zum Standpunkt 1 (in mm):

	Δx	Δy	Δz	Δs
T3	-0,262	-0,061	-2,587	2,601
10	-0,046	-0,716	-2,634	2,730
11	-1,478	0,013	-3,147	3,477
58	-1,261	-0,416	-2,76	3,063

Benötigte Transformationen bei der Registrierung über Targets:

	x	y	z	
Translation:	-0,755	3,184	0,031	
Rotation:	0,0000	0,0001	-1,0000	133,485 °

Benötigte Transformationen bei der Registrierung über Vertexe:

	x	y	z	
Translation:	-0,755	3,185	0,029	
Rotation:	0,0003	-0,0002	-1,0000	133,482 °

Benötigte Transformationen bei der Registrierung über Ebenen:

	x	y	z	
Translation:	-0,757	3,181	0,032	
Rotation:	0,0005	-0,0004	-1,0000	133,448 °

Benötigte Transformationen bei der Registrierung über ICP:

	x	y	z	
Translation:	-0,753	3,185	0,037	
Rotation:	-0,0001	0,0001	-1,0000	133,472 °

Vertexe: Unterschied zur Registrierung über Targets:

Δx	Δy	Δz	Δs bzw. $\Delta \epsilon$	
0,0	-1,0	2,0	2,24	[mm]
-0,3	0,3	0,0	0,003	[mm bzw. °]

Ebenen: Unterschied zur Registrierung über Targets:

Δx	Δy	Δz	Δs bzw. $\Delta \epsilon$	
2,0	3,0	-1,0	3,74	[mm]
-0,5	0,5	0,0	0,037	[mm bzw. °]

ICP: Unterschied zur Registrierung über Targets:

Δx	Δy	Δz	Δs bzw. $\Delta \epsilon$	
-2,0	-1,0	-6,0	6,40	[mm]
0,1	0,0	0,0	0,013	[mm bzw. °]