



DIPLOMARBEIT

Terrestrischer Laserscanner im Einsatz bei der Grenzvermessung

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingnieur

im Rahmen des Studiums

Geodäsie und Geoinformation

eingereicht von

DI Sandra Zaloznik BSc

Matrikelnummer 01240769

ausgeführt am Department für Geodäsie und Geoinformation
der Fakultät für Mathematik und Geoinformation
der Technischen Universität Wien

9
į

Betreuer: Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Navratil

Wien, am 10. Mai 2022		
	(Unterschrift VerfasserIn)	(Unterschrift BetreuerIn



Motivation und Danksagung

Durch meine Arbeit in der Vermessungskanzlei Guggenberger in Berndorf bekam ich in den letzten Monaten die Möglichkeit in das Arbeiten mittels terrestrischen Laserscanners sowie der zugehörigen Software integriert zu werden. Durch die Komplexität des Themas wurde mir schnell klar, dass ich mich auch im Rahmen meiner Masterarbeit mit dem Thema TLS befassen möchte.

An dieser Stelle möchte ich ein großes Dankeschön an meinen Betreuer Dr. Gerhard Navratil aussprechen. Seinem Einsatz von der Themenfindung an über die gesamte Zeit bis hin zum Korrigieren ist das Gelingen dieser Arbeit maßgeblich zu verdanken.

Danke an DI Rainer Feucht und DI Andreas Kuprian vom Bundesamt für Eichund Vermessungswesen für die kompetenten Auskünfte rund um die rechtlichen Themen sowie die netten Gespräche am Vermessungsamt Baden.

Weiters gilt mein besonderer Dank an Ing. Andreas Schitton, MA der mir als Chef genug Freiheit und Zeit gegeben hat, mit meiner Masterarbeit voranzukommen. Als Mentor und Berater stets ein offenes Ohr für meine Probleme hatte, sowie als Fachmann aus seiner langjährigen Vermessungserfahrung viele Lösungsansätze parat hatte.

Danke an Manfred, er steht für mich wie kein anderer für Innovation, Entwicklung und Fortschritt. Mit seiner Firma Holzbau Zaloznik und der Idee einen Laserscanner anzuschaffen hat er zugleich den Grundstein für dieses Projekt gelegt.

Kurzfassung

Durch die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten hat das terrestrische Laserscanning längst in Architektur, Denkmalschutz, Bau, bei der Fabrikplanung und im Anlagenbau, sowie bei Bestandsaufnahmen im Zuge von Modernisierungen Einzug gefunden. Der Vorteil dieser Technologie liegt auf der Hand – die Umgebung, Gegenstände und Gebäude als 3-dimensionale Abbildung zu erstellen. In wenigen Arbeitsstunden werden Objekte vor Ort als 3D-Punktwolke erfasst um anschließend am Computer mittels geeigneter Software alle erforderlichen Informationen aus der erfassten Datenmenge, ableiten zu können.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wird der Einsatz eines Laserscanners, am Beispiel des RTC360 von Leica, für die Erstellung von Plänen nach der Vermessungsverordnung erprobt. Zur Beurteilung wurde ein Fallbeispiel klassisch, mittels Tachymeter aufgenommen und direkt im Anschluss mittels Leica RTC360 Laserscanner in einer Punktwolke erfasst. Beide Aufnahmen wurden anschließend ausgewertet, und anhand der Ergebnisse einer Gegenüberstellung Aussagen über die Eignung des Laserscanners in der Katastervermessung hinsichtlich Genauigkeit, Wirtschaftlichkeit sowie Rechtlichkeit gemacht.

Bei einem direkten Vergleich der Ergebnisse aus den beiden Aufnahmearten hat sich gezeigt, dass die erreichte Genauigkeit eines Laserscans im Wesentlichen von der Sorgfalt mit der während der Auswertung gearbeitet wird abhängt. Größere Abweichungen gibt es dann, wenn Geometrien falsch interpretiert werden. Aus wirtschaftlicher Sicht kommt es zu einer Reduzierung der Arbeitszeiten im Innen- und Außendienst um 14 %. Die Arbeit wird ganz allgemein vom Feld ins Büro verlagert, denn die Arbeitszeit im Außendienst wird um 68% reduziert. Dies führt zu einer Verringerung von Diäten und die Zeit der Störung am Grundstück wird kürzer. Rechtmäßig ist die Verwendung eines terrestrischen Laserscanners durch die Vermessungsverordnung gedeckt. Als großen Vorteil der Technik kann die Aufnahme der gesamten Umgebung und damit Dokumentation, Beweissicherung und Mehrwert für Planer und Architekten genannt werden.

Abstract

Due to the wide range of possible applications, terrestrial laser scanning has long found its way into architecture, monument protection, construction, factory planning and plant construction, as well as inventory taking in the course of modernization. The advantage of this technology is obvious - to create the environment, objects and buildings as a 3-dimensional image. In just a few working hours, objects are recorded on site as a 3D point cloud in order to then be able to derive all the necessary information from the recorded data volume on the computer using suitable software.

As part of this master's thesis, the use of a laser scanner, using the example of the RTC360 from Leica, is tested for the creation of plans according to the surveying ordinance. For assessment, a classic case study was recorded using a tachymeter and immediately afterwards recorded in a point cloud using a Leica RTC360 laser scanner. Both recordings were then evaluated and, based on the results of a comparison, statements were made about the suitability of the laser scanner in cadastral surveying in terms of accuracy, cost-effectiveness and legality.

A direct comparison of the results from the two types of recording has shown that the accuracy achieved by a laser scan essentially depends on the care taken during the evaluation. There are larger deviations when geometries are misinterpreted. From an economic point of view, there is a 14% reduction in working hours in the office and in the field. Work is generally shifted from the field to the office, with field work time reduced by 68%. This leads to a reduction in diets and the time of disruption at the property becomes shorter. The use of a terrestrial laser scanner is legally covered by the Surveying Ordinance. A major advantage of the technology is the recording of the entire environment and thus documentation, preservation of evidence and added value for planners and architects.

Inhaltsverzeichnis

Motivat	ion und Danksagung	i
Kurzfas	ssung	ii
Abstrac	zt	iii
Inhalts	verzeichnis	iv
1. Eir	nleitung	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Forschungsfrage	2
1.3	Ziel der Masterarbeit	2
1.4	Hintergrundinformation	3
2. Ka	tastergrundlagen	5
2.1	Grundlagen des österreichischen Katasterwesens	5
2.2	Schaffung von Grenzkatastergrundstücken	6
2.3	Vermessungsverordnung	6
3. Me	esstechnische Grundlagen	10
3.1	Tachymetrische Aufnahme	10
3.2	Satellitengestützte Messverfahren – GNSS Messungen	12
3.3	Terrestrisches Laserscanning	13
3.4	Aktuelle Stellung in der Vermessung	17
4. Be	griffserklärungen - Auswertung	19
4.1	Genauigkeit der terrestrischen Laserscanaufnahme	19
4.2	Registrierung	22
4.3	Hybride Vermessung	23
4.4	Punktwolke	24
4.5	Die 7D-Punktwolke	26
4.6	Georeferenzierung (Anschluss an das Festpunktfeld)	27
5. Wi	rtschaftliche Überlegungen	31
5.1	Überlegungen zur Datenmenge	32

6.	Testaus	sstattung	34
6	6.1 Ha	rdware	35
	6.1.1	Leica RTC360	35
	6.1.2	Zubehör	37
	6.1.3	Leica Viva TS15	41
6	6.2 Sof	ftware	43
	6.2.1	Leica Cyclone FIELD 360	44
	6.2.2	Leica Cyclone REGISTER 360	46
	6.2.3	Verwendete Datenformate	47
	6.2.4	rmDATA 3DWorx	49
	6.2.5	rmDATA GeoMapper	53
7.	Auswał	hl und Aufnahme des Fallbeispiels	55
	7.1.1	Auswahl eines geeigneten Grundstückes	56
	7.1.2	Vermessung mittels Tachymeter	57
	7.1.3	terrestrische Laserscanaufnahme	60
8.	Ergebn	isse und Diskussion	63
8	3.1 Au:	swertung hinsichtlich Genauigkeit	63
8	3.2 Au:	swertung hinsichtlich Wirtschaftlichkeit	70
8	3.3 Au	swertung hinsichtlich Rechtmäßigkeit	74
8	3.4 Pos	sitiver Nebeneffekt / Mehrwert	75
9.	Interpre	etation und Schlussfolgerung	77
10.	Zusar	mmenfassung und Ausblick	79
Lite	eratur		80
Ab	bildungsv	verzeichnis	83
11.	. Anhai	ng	87

1. **Einleitung**

Ausgangslage

Die Prof. DI Walter Guggenberger ZT-GmbH ist ein Zivilingenieurbüro für Vermessungswesen, das auf klassische Katastervermessungen wie die Erstellung von Urkunden und Vermessungen für Bestandspläne, die zumeist als Grundlage für Nutzwertgutachten oder Projektplanungen dienen, ausgerichtet. Dadurch ist die grundsätzliche Hardware-Ausstattung des Büros GNSS und Tachymeter. Für die Erstellung von Bestandplänen von Gebäuden ist im Frühling 2021 ein terrestrischer Laserscanner (TLS) Leica RTC360 angeschafft worden. Im Zuge dieser Anschaffung stellt sich die Frage, ob dieses Gerät zudem für Aufträge im Bereich der Katastervermessung, eingesetzt werden kann. Mit einem Laserscanner wird eine dreidimensionale Punktwolke des Aufnahmebereiches erzeugt. Die Informationen müssen anschließend mittels geeigneter Software im Büro weiterverarbeitet und ausgewertet werden.

Die Überprüfung dieser Fragestellung erfolgt mittels Fallstudie. Die Beantwortung dieser Frage erfordert eine Beurteilung der Methode hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit, Genauigkeit und Legalität. Bei der Legalität soll geklärt werden ob ein TLS von der VermV gedeckt ist. Die Frage wird hinsichtlich Ökonomie und Genauigkeit mittels Gegenüberstellung von Aufnahmen desselben Gebiets mit TLS und Tachymeter geklärt. Die Ergebnisse dieser Arbeit entstehen aus der Gegenüberstellung der Aufnahme mittels terrestrischen Laserscanner und der Aufnahme mittels Tachymeter von demselben Aufnahmegebiet. Neben der grundsätzlichen Fragestellung, ob mit einem Laserscanner Aufnahmen gemacht werden können, welche für die Erstellung von Urkunden Verwendung finden sollen auch der Vorgang des Scannens, Aufnahmestrategien sowie Grenzzeichenerkennungen beschrieben und behandelt werden.

1.2 Forschungsfrage

Ist es möglich den terrestrischen Laserscanner Leica RTC360 in der klassischen Katastervermessung, bei der Aufnahme von Grenzen unter Einhaltung der amtlichen Fehlergrenze der VermV 2016 wirtschaftlich einzusetzen? Gleichzeitig soll aufgezeigt werden, welcher Mehrwert durch den Einsatz dieser Technologie generiert werden kann und wie dieser Mehrwert beurteilt wird. Ausgang der Beurteilung stellt hierbei immer der Vergleich mit der klassischen Aufnahme durch ein Tachymeter dar.

Ziel der Masterarbeit 1.3

Ziel der Masterarbeit ist die Untersuchung und Beurteilung des Einsatzes eines Leica RTC360 Scanners in der klassischen Katastervermessung nach rechtlichen, wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten. Die Erkennung der Grenzzeichen in der Natur für die Aufnahme soll durch den Einsatz von Hilfsmittel gelingen. Eine Auswahl an Hilfsmittel sollen im Rahmen dieser Masterarbeit im praktischen Feldversuch getestet und bewertet werden. Im Bereich der Auswertesoftware wird derzeit weltweit viel Forschungsarbeit betrieben. Firmen entwickeln laufend neue beziehungsweise ergänzende Programme für die Auswertung und Bearbeitung von 3D Punktwolken. Im Rahmen dieser Masterarbeit wird die Registrierung und Bereinigung der Punktwolke mit der Software Cyclone Register 360 von der Leica Geosystems AG durchgeführt. Die Bearbeitung der exportierten Punktwolke, die Erstellung von 3D Geländemodellen und die Planerstellung selbst werden im Zuge eines Fallbeispiels mit den Programmen 3DWorx und GeoMapper der RMData GmbH durchgeführt und beschrieben.

Grundsätzlich sollen die Ergebnisse der praktischen Umsetzungen in die drei Kategorien Wirtschaftlichkeit, Genauigkeit sowie Rechtliche Rahmenbedingungen eingeteilt und dementsprechend beurteilt werden.

- Wirtschaftlichkeit: Aufstellung der Arbeitszeiten
- Genauigkeit: Vergleich der Lage der aufgenommenen Punkte und Linien von Kontrollmessungen mittels Tachymeter und GNSS.

Rechtmäßigkeit: Interview Vermessungsamt

Hintergrundinformation

In sämtlicher Literatur zum Thema terrestrisches Laserscanning findet man eine Beschreibung ähnlich der folgenden aus Burghof (2018) "Das terrestrische Laserscanning (TLS) ist bereits seit einigen Jahren als eine etablierte Erfassungstechnologie im Vermessungswesen anerkannt. Anwendungsfelder reichen von Bestandsdokumentationen von beispielsweise Gebäuden oder Industrieanlagen zur Schaffung von Planungsgrundlagen bis hin zu Deformationsanalysen von Bauwerken oder technischen Anlagen. Auch die Vorteile einer flächenhaften Erfassung gegenüber punktuellen Verfahren (z. B. Tachymetrie) sind im Vermessungswesen bekannt. Der technische Fortschritt in den Bereichen Hardware und Software der letzten Jahre verändert den Stellenwert des TLS jedoch enorm." Auch Pfeifer et al. (2007) schreiben "In der Zwischenzeit sind Laserscanner Standardwerkzeuge der Geodäsie und Geomatik. Die polare Erfassung, einerseits, ordnet das Laserscanning den Methoden der Ingenieurgeodäsie, speziell der Tachymetrie, zu. Die systematische, flächendeckende Erfassung von Objekten, die nicht auf einzelne markante Punkte abzielt, andererseits, stellt einen starken Bezug zur Photogrammetrie im Sinne der Bildmessung her." (Pfeifer et al., 2007) Das Ergebnis eines terrestrischen Laserscans ist eine 3D Punktwolke welche mittels geeigneter Software bearbeitet werden kann und so detaillierte Informationen zu Form und Lage zum gescannten Objekt zur Verfügung stellt.

Eine wichtige Definition die eingangs erwähnt werden musst beschreibt Schulz et al. (2007) wie folgt "Es gibt terrestrisches Laserscanning, bei dem ein Messgerät Kontakt zur Erdoberfläche hat. Und es gibt flugzeug-basiertes Laserscanning, bei dem die Sensoren in einem Flugzeug oder Hubschrauber (und Satelliten) installiert werden." Im Zuge dieser Masterarbeit wird ausschließlich das terrestrischen Laserscanning im Einsatz für Grenzvermessungen bearbeitet.

Die Methode der Punktwolkenaufnahme stellt vor allem die Auswertung vor neue Aufgaben. Nach einer Scanaufnahme befinden sich Millionen Punkte in einem Programm und es stellt sich die Frage, wie Informationen welche rele-

vant für die Erstellung eines Teilungsplanes sind, aus der Punktwolke entnommen werden und in weiterer Folge entsprechend dargestellt werden können. Zweifelsohne wurden entsprechende Punkte in der Wolke erfasst.

Für die Auswertung wird eine Kombination folgender Möglichkeiten gewählt:

- Das händische Nachzeichnen der Geometrie
- Teilautomatisierte Auswertung mittels geeigneter Software.

Bei Vermessungen mittels Tachymeter im Rahmen einer Grenzvermessung wird so vorgegangen, dass der Aufnahmeleiter vor Ort den Grenzverlauf im Sinne der Wirtschaftlichkeit durch möglichst wenige, diskrete Einzelpunkten aufnimmt. Im Gegensatz dazu werden bei der TLS-Aufnahme in der 3D Punktwolke zusätzliche Daten mit ins Büro genommen, die einen Mehrwert liefern können. In den folgenden Kapiteln 2 bis 5 werden Grundlagen und Begriffe des Katasterwesens und der Vermessung mittels Tachymeter und terrestrischen Laserscanner erläutert. Anschließend befindet sich im Kapitel 6 eine ausführliche Beschreibung der Testausstattung für das Fallbeispiel. Kapitel 7 widmet sich der Auswahl und Aufnahme des Fallbeispiels und die wichtigsten Ergebnisse des Fallbeispiels werden in Kapitel 8 dargelegt und diskutiert. Anschließend werden die Ergebnisse im Kapitel 9 interpretiert und eine Schlussfolgerung formuliert. In der anschließenden Zusammenfassung wird auch ein Ausblick auf weitere Forschungsziele und mögliche Entwicklungsrichtungen für die Aufnahme mittels TLS aufgezeigt.

2. Katastergrundlagen

Grundlagen des österreichischen Katasterwesens

Der österreichische Kataster wird durch das Vermessungsgesetz (VermG) geregelt. Dies ist ein Bundesgesetz vom 3. Juli 1968 in der derzeitigen Fassung von 2016 über die Landesvermessung und den Grenzkataster. Der nach Katastralgemeinden angelegte Grenzkataster dient in Österreich zum verbindlichen Nachweis der Grenzen der Grundstücke, deren Benützungsarten und der Flächenausmaße dieser Grundstücke. (§8 VermG). Nach einer "allgemeine Neuanlegung des Grenzkatasters" durch das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (§1, VermG) haben die dem Bundesamt nachgeordneten Vermessungsämter folgende, ebenfalls in §1 VermG dargelegten Aufgaben zu besorgen:

- "2. die teilweise Neuanlegung des Grenzkatasters;
- 4. die Übernahme der Ergebnisse eines Verfahrens der Agrarbehörden in den Angelegenheiten der Bodenreform in den Grenzkataster;
- 5. die Führung des Grenzkatasters;
- 6. die Amtshandlungen im Zusammenhang mit dem Grenzkataster."

§36 (3) und §37 (3) verweisen für Durchführungsbestimmungen auf eine vom zuständigen Bundesminister zu erlassende Verordnung die Vermessungsverordnung, kurz VermV. Darin enthalten sind nähere Vorschriften über die Vermessungen sowie Fehlergrenzen zulässige Formate und technische Anforderungen für die Einbringung von Plänen, technische Umsetzung des Geschäftsregisters und der Trennstücktabelle sowie Inhalte des Protokolls über die Grenzfestlegung.

Im Zuge dieser Masterarbeit soll überprüft werden, ob die Vermessung eines Grundstückes für die Umwandlung in den Grenzkataster nach §17 VermG (Umwandlung eines Grundstückes in den Grenzkataster) ein weiteres Anwendungsgebiet für einen terrestrischen Laserscanner ist. Daher sind sämtliche Vorgaben für die Aufnahme sowie dessen Ergebnis aus den entsprechenden Verordnungen und Gesetzen zu beachten.

2.2 Schaffung von Grenzkatastergrundstücken

Zu den Aufgaben der Landesvermessung in Österreich zählen nach §1 (2) (VermG) die "teilweise Neuanlegung des Grenzkatasters". Die Grundstücksweise "Umwandlung des Grundsteuerkatasters in einen Grenzkataster" erfolgt nach §17 (VermG) Absatz 2 "auf Grund einer zu diesem Zwecke vorgenommenen Grenzvermessung". Sämtliche Vermessungen, welche zum Zwecke der Einverleibung in den Grenzkataster durchgeführt werden, sollen nach § 36 Abs. 1 VermG wie folgt vorgenommen werden: "Die Vermessungen sind unter Anschluss an das Festpunktfeld derart vorzunehmen, dass die Lage der Grenzpunkte durch Zahlenangaben gesichert und der Grenzverlauf in der Katastralmappe darstellbar ist".

2.3 Vermessungsverordnung

In der Vermessungsverordnung 2016 (VermV) sind die technischen Richtlinien zur Umsetzung des Vermessungsgesetztes enthalten. Im Folgenden werden für die Masterarbeit wichtige, grundlegende Paragraphen der VermV 2016 zitiert und kommentiert. Die Auswahl der behandelten Textstellen wurde im Hinblick auf die Nutzung von TLS im Zuge von Grenzvermessungen getroffen.

Kennzeichnung der Grundstücksgrenzen

Grenzen sollen nach §2, Abschnitt 1 (VermV) "geradlinig oder in Kreisbögen verlaufen", wobei die Grenzpunkte dauerhaft und deutlich gekennzeichnete Punkte wie "Grenzsteine, Metallrohre, Kunststoff- oder Metallmarken, Grenzbolzen und Grenznägel oder Kreuze und Lochmarken im Fels oder Mauerwerk" sein können. Neben diesen können die Grenzpunkte nach §2, Abs. 3 auch indi-

rekt gekennzeichnet werden. "Fällt der Grenzpunkt auf eine Hausecke, Mauerecke, Bordsteinkante oder eine Zaunsäule so kann die Kennzeichnung wie oben beschrieben entfallen und es genügt eine Farbmarke als Kennzeichnung" (VermV §2, Abs. 4).

Überprüfung und Vermessung der Grenzpunkte

Bereits gekennzeichnete Grenzpunkte sind "auf ihre unveränderte Lage zu überprüfen" (VermV §5, Abs. 1). Weiters wird in Absatz 2 beschrieben, dass ein Grenzpunkt als unverändert gilt, wenn die Differenz zu den bisherigen Maßen nicht größer als 5 cm ist. Im Absatz 5 des §4 heißt es weiter "Die Koordinaten der Grenzpunkte sind bezogen auf die nächstgelegenen Fest- oder Messpunkte kontrolliert zu bestimmen, wobei die Einhaltung der Genauigkeitsanforderungen des § 6 Abs. 2 zu gewährleisten ist."

Genauigkeit der Messungen

Aus §6 VermV, Abs. 1 geht hervor "Die Bestimmung der Messpunkte ist so vorzunehmen, dass bei Anwendung von satellitengestützten Messverfahren die Restklaffungen in den Festpunkten aus einer ebenen Helmert-Transformation in der Gauß-Krüger Projektion (...) den Wert von 5 cm in der Lage nicht übersteigen dürfen. Die satellitengestützte Messung selbst ist so durchzuführen, dass bei der Punktbestimmung die einfache mittlere Punktlagegenauigkeit von 2 cm gesichert ist". Die mittlere Punktlagegenauigkeit ist dem zweidimensionalen mittleren Helmert'schen Punklagefehler gleichzusetzen welcher wie folgt berechnet werden kann

$$s_H^2 = s_x^2 + s_y^2$$

Im Zuge der Arbeiten mit einem terrestrischen Laserscanner erfolgt die Georeferenzierung der Messungen über Messpunkte welche mittels satellitengestützten Messverfahren (GNSS) bestimmt werden. Die oben beschriebene Genauigkeit für satellitengestützten Messverfahren findet daher Anwendung bei der Georeferenzierung. Der Ablauf der Georeferenzierung selbst wird in Kapitel 4.6

näher beschrieben. In Tabelle 1 befindet sich die Übersicht sowie eine Definition der verwendeten Begriffe für Punkte.

Tabelle 1: Definition der verwendeten Bezeichnungen für Punkte getrennt in Tachymeter und Laserscanner, Quelle: eigene Tabelle

	Bedeutung Tachymeter	Bedeutung Laserscanner	
Festpunkte	auf Dauer stabilisierte Punkte, deren Lage und zum Teil auch Höhe im geodätischen Bezugssystem bestimmt sind. Es sind dies die Triangulierungs- und Einschaltpunkte. VermV §1 (8)		
Messpunkte	Standpunkte des Tachymeters von denen aus Messungen vorgenommen werden		
Standpunkte	Nicht stabilisiert Punkt an dem der TLS für die Dauer eines Scanvorgangs steht	Stabilisier mittels Nägel oder Eisenrohr = Messpunkt	
Detailpunkte	Aufgenommene Punkte		
Grenzpunkt	Zur Festlegung von Grundstücksgrenzen bestimmte Punkte		

Im §6 VermV Abs. 2 heißt es weiter "Die Bestimmung der Messpunkte ist so vorzunehmen, dass bei Anwendung terrestrischer Messverfahren eine einfache mittlere Punktlagegenauigkeit der einzelnen Messpunkte unter Annahme fehlerfreier Festpunkte von 4 cm nicht überschritten wird. (2) Die Bestimmung der Grenzpunkte ist so vorzunehmen, dass bei Kontrollmessungen eine maximale

Abweichung von 5 cm nicht überschritten wird." Als terrestrisches Messverfahren sind sowohl die Vermessung mittels Tachymeter wie auch mittels TLS anzusehen. Die in §6 VermV beschriebene erforderliche Genauigkeit für die Ableitung der Mess- und Grenzpunkte ist daher anzuwenden. Die einzuhaltende Genauigkeit für die Grenzpunkte beträgt 5 cm und es muss gewährleistet sein, dass diese kontrollierbar ist. Dies soll im Rahmen des Fallbeispiels überprüft und beschrieben werden.

Kontrollmessung

Die Begriffsbestimmungen im §1 VermV beschreiben "Die Bestimmung der Grenzpunkte hat gemäß § 5 Abs. 4 kontrolliert zu erfolgen. Das wird durch eine unabhängige Mehrfachaufnahme der Grenzpunkte gewährleistet. Dabei darf das Ergebnis der Kontrollmessung nach § 6 Abs. 2 um nicht mehr als 5 cm in der Lage von der Erstmessung des Grenzpunktes abweichen." Nach Grillmayer et al. (2020) kann die Verwendung von den zwei Messsystemen GNSS-Messung und tachymetrische Aufnahme, als "kontrolliert und physisch unabhängig vom Festpunkt" verstanden werden.

Anschluss an das Festpunktfeld

Blauensteiner (2014) hat aus § 3(1,5) und § 6 VermV zusammengefasst wie die Koordinaten der Messpunkte zu bestimmen sind:

- "durchgreifend kontrolliert
- überbestimmt
- durch Anschluss an nächstgelegene Festpunkte
- mit Methoden, die dem Stand der Wissenschaft und Technik entsprechen
- mittlere Punktlagegenauigkeit kleiner als 4 cm, bei Annahme fehlerfreier Festpunkte
- Stabilisierungen der als Standpunkte verwendeten Festpunkte sind auf unveränderte Lage zu überprüfen."

3. Messtechnische Grundlagen

Tachymetrische Aufnahme

Die Aufnahme mittels Tachymeter wird als Standardverfahren für die Vermessung eines Grundstückes zum Zwecke der Erstellung eines Planes gemäß VermV herangezogen. Aus diesem Grund sollen in diesem Kapitel die wichtigsten Eckpunkte der tachymetrischen Aufnahme beschrieben und erklärt werden. In Kern (2003) wird die Vorgehensweise wie folgt beschrieben:

- "1. Ein markanter, diskreter Objektpunkt wird koordinatenmäßig bestimmt; das Strukturelement PUNKT entsteht.
- 2. Aus mehreren Strukturelementen PUNKT werden andere linienhafte Strukturen gebildet: Strukturelemente LINIE und/oder FLÄCHEN.
- 3. Die Strukturelemente werden mit Attributen versehen, aus denen sich die Zuordnung zu einer Objektklasse ergibt (Objektbildung). (...)
- 4. Die Strukturelemente werden unter Anwendung einer Zeichenvorschrift graphisch ausgestaltet." (Kern, 2003)



Abbildung 1: Prinzip der tachymetrischen Aufnahme, Quelle: Kern (2003)

Bei diesem Verfahren wird zwischen Aufnahme mit Reflektor und ohne Reflektor (Laser) unterschieden. Holst (2019) erklärt, dass der Reflektor zufällige und systematische Messabweichungen minimieren soll. "Messen wir den Reflektor mit automatischer Zielerkennung an, entfallen ferner die zufälligen und systematischen Messabweichungen durch die manuelle, nutzerabhängige Anzielung. Der Reflektor stellt somit die ideale, reproduzierbar anzielbare Messoberfläche dar. Falls die Oberfläche mit dem Tachymeter hingegen reflektorlos angemessen wird, gelten die gleichen Aussagen wie bei der reflektorlosen Laserscannermessung." (Holst, 2019)

Bei der Aufnahme mittels Tachymeter werden, wie in Abbildung 1 dargestellt Richtungen und Strecken zu, vom Aufnahmeleiter ausgesuchten, markanten und diskreten Punkten gemessen. Grillmayer et al. (2020) beschreiben "die Koordinatenrechnung ist, abgesehen von etwaigen meteorologischen Reduktionen, bekannt und nahezu trivial, man erhält aber lediglich lokale Koordinaten am Standort." Sie beschreiben weiters, dass die Schwierigkeit darin liegt, an bestehende Planwerke, welche sich koordinativ im österreichischen Landeskoordinatensystem MGI befinden, anzuschließen. Heute gebräuchlich ist die getrennte Berechnung nach Lage und Höhe. "Wegen der Konformität der Abbildung muss lediglich die Strecke entsprechend den bekannten Formeln reduziert werden. Für das Beispiel einer freien Stationierung, (...), gibt es im Wesentlichen zwei Möglichkeiten der Standpunkts- und Orientierungsberechnung unter Einbeziehung von Punkten mit bereits bekannten Koordinaten: eine vermittelnde Ausgleichung der Beobachtungen oder eine Helmert-Transformation." (Grillmayer et al., 2020)

Satellitengestützte Messverfahren – GNSS Messungen

Wie Grillmayer et al. (2020) beschreiben, hat sich die gemeinsame Nutzung von Tachymetern und GNSS (RTK) Systemen in den letzten Jahren in der vermessungstechnischen Praxis durchgesetzt. "Bei RTK GNSS Messungen entstehen bereits im Rahmen des Messprozesses, der eigentlich auch die Auswertung der Messdaten beinhaltet Koordinaten in einem bekannten Koordinatenrahmen (Koordinaten in ETRS 89/ Realisierung ETRF2000 zur Epoche 2002.56)". (Grillmayer et al., 2020) Wie in Abbildung 2 ersichtlich, können mittels GNSS-System auch Messpunkt in Gebieten bestimmt werden, in denen wenige beziehungsweise keine Festpunkte vorhanden sind. "Bei der Anwendung von satellitengestützten Messverfahren wird die durchgreifende Kontrolle durch die Verwendung von zumindest vier nächstgelegenen Festpunkten gewährleistet, die das Vermessungsgebiet umschließen." (VermV, §1) Grillmayer et al. (2017) kommen zu dem Schluss, dass sich der Referenzrahmen MGI in seiner österreichweiten Realisierung im Unterschied zum ETRF2000 als sehr inhomogen darstellt. "Zur Verbindung der beiden Realisierungen bietet sich ein Zweistufenmodel an."

> Abbildung 2: Leica GPS1200+ im Einsatz bei einer Aufnahme in einem Waldgebiet, Quelle: eigene Aufnahme

"Die Überführung der mittels RTK GNSS bestimmten Koordinaten erfolgt üblicherweise in zwei Schritten. Zuerst erfolgt mittels einer 7-Parameter-Transformation der Übergang zwischen den beiden Koordinatenrahmen... Anschließend erfolgt die Abbildung der räumlichen Koordinaten mit den bekannten Formeln nach Gauß-Krüger in das Meridianstreifensystem der österreichischen Landesvermessung." (Grillmayer et al. 2020) Im Zuge des Fallbeispiels wird die GNSS-Messungen für die Bestimmung der Messpunkte verwendet und die Überführung der Koordinaten wird in der von Grillmayer et al. (2020) beschriebenen Form vorgenommen.

Terrestrisches Laserscanning

"Terrestrisches Laserscanning (TLS) beschreibt ein bodengebundenes, aktives, berührungsloses Messverfahren, welches einen abgelenkten Laser zur Durchführung von Distanzmessungen nutzt. Die zugehörigen Messgeräte werden als terrestrische Laserscanner oder weitläufig auch als (3D-) Laserscanner bezeichnet". (Thiel et al. 2020) Wie eingangs erwähnt wird im Zuge dieser Masterarbeit der Arbeitsablauf, die Fallstudie und die Bewertungen mit dem Leica RTC360 (Abbildung 3) durchgeführt.





Abbildung 3: Laserscanner Leica RTC360 während der Aufnahme im Feld, Quelle: eigene Aufnahme

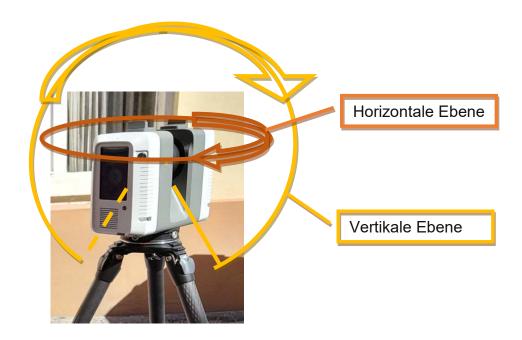


Abbildung 4: Visualisierung der beiden Raumachsen in die sich der Laserscanner bewegt. Quelle: eigene Darstellung

Für den Scanvorgang wird der TLS auf eine statische Position mittels Stativ aufgestellt. "Der Laserscanner tastet seine Umgebung mithilfe eines Laserstrahls in regelmäßigen Winkelsegmenten ab. Die dafür notwendige Bewegung besteht aus Drehungen um zwei Raumachsen. Um die vertikale Drehachse lenkt ein rotierender Spiegel den Laserstrahl ab, die horizontale Drehung wird durch das Rotieren des Laserscanners selbst beziehungsweise dessen Gehäuses umgesetzt. Folglich deckt der erreichbare Messbereich in der horizontalen Ebene volle 360 Grad ab, in der vertikalen Ebene ist der Messbereich nach unten durch das Gehäuse des Laserscanners beschränkt." (Thiel et al. 2020) In Abbildung 4 ist der Messbereich des Leica RTC360 Laserscanners in den beiden Ebenen dargestellt.

"Die Auflösung eines Scans legt fest, in welchem Winkelabstand (horizontal und vertikal) zwei über- oder nebeneinanderliegende Messungen erfolgen. Damit beeinflusst die Auflösung, wie dicht das Punkteraster ist, mit welchem die Objekte beziehungsweise Oberflächen in der Umgebung des Laserscanners abgetastet werden. Je größer die Auflösung, desto mehr Details werden erfasst.

Gleichzeitig spielt der Abstand des Laserscanners zum Objekt eine entscheidende Rolle. Bei festem Winkelabstand ist das Raster umso engmaschiger, je dichter sich die abgetastete Oberfläche befindet. Zu beachten ist auch eine mit der Entfernung zunehmende Aufweitung des Laserstrahls. In der Praxis ist die einzustellende Auflösung abhängig von den zu erfassenden Details sowie von den vorherrschenden Abständen. Eine hohe Auflösung ist insbesondere dann von Vorteil, wenn auch in großer Entfernung noch detaillierte Daten erhoben werden sollen. Mit der Anzahl der Messpunkte steigen jedoch auch der Zeitund Speicherbedarf für eine Messung." (Thiel et al. 2020) Die Messzeiten des Leica RTC 360 sind in Tabelle 2 ersichtlich und verhalten sich wie in Thiel et al. (2020) erklärt wird.

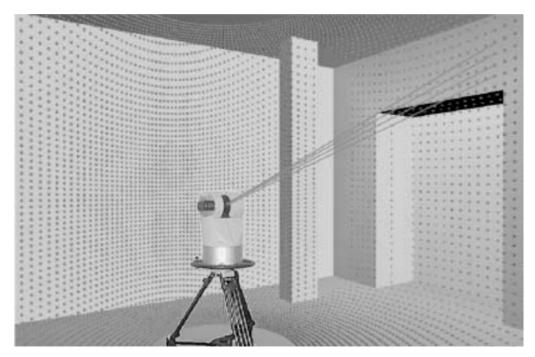


Abbildung 5: 3D Laserscanning-Vorgang samt visualisierte Punktwolke, Quelle: Kern (2003)

In Abbildung 5 kann man erkennen, dass im Nahbereich des Laserscanners der Raster der Punkte wesentlich engmaschiger ist als in weiter entfernten Bereichen, diese wird in Thiel et al. 2020 als "zunehmende Aufweitung des Laserstrahls" beschrieben. "Der Vorteil dieses Verfahrens ist darin zu sehen, dass sehr schnell ein detailliertes Oberflächenmodell mit einer Genauigkeit von wenigen Millimetern erzeugt werden kann. Es eignet sich für die Vermessung sehr

komplexer Objektgeometrien. Der Messvorgang läuft vollautomatisch ab, sodass nicht gezielt diskrete Objektpunkte angemessen werden, sondern in eher zufälliger Weise die Messpunkte ausgewählt werden. Die für die Modellierung wichtigen Eckpunkte werden so in der Regel nicht aufgemessen. Es ist daher eine umfangreiche und zeitintensive Auswertung der Punktwolke vorzunehmen, wenn es gilt Eckpunkte und Kanten des Objekts zu bestimmen." (Kern, 2003)

Tabelle 2: Zusammenstellung der Scan-Dauer des Leica RTC360 mit verschiedenen Einstellungen, Quelle: eigene Zusammenstellung

Auflösung	Scandauer mit Bild	Doppel-Scan mit Bild	Scandauer ohne Bild	Doppel-Scan ohne Bild
Gering	01:26	01:51	00:26	00:51
Mittel	01:51	02:41	01:26	01:41
Hoch	02:42	04:21	01:42	03:21

Holst (2019) beschreibt als einen Unterschied zwischen TLS und Tachymeter die Messdauer der Systeme. "Dem terrestrischen Laserscanner steht für jede 3D-Punktbestimmung nur ein Bruchteil der Messzeit zur Verfügung. Aktuell sind es beim am schnellsten scannenden TLS 1/2.000.000 Sekunden (Leica RTC 360, Leica Geosystems 2018) bei einer Messfrequenz von 2 MHz (...). "(Holst, 2019) Wie in Tabelle 2 ersichtlich, gibt es verschiedene Einstellungen für einen Scanvorgang, wobei eine einfache Aufnahme mit der geringsten Auflösung ohne Bilder weniger als eine halbe Minute dauert. Die Doppel-Scan (Double Scan) Funktion von Leica Geosystems wurde entwickelt um das Scanergebnis in Bereich mit viel ungewollter Bewegung von Vegetation, Fahrzeugen und Fußgänger zu verbessern. Der Scanvorgang läuft zweimal hintereinander, also doppelt, ab wobei von die Software nur jene Punkte verwendet werden, die weiter entfernt sind.

Die in Tabelle 2 aufgezählten Einstellungen wie Auflösung, Doppel-Scan und Bildaufnahme kann vor jeden einzelnen Standpunkt während der Aufnahme im Feld am TLS verändert werden. Grundsätzlich sollte die Entscheidung ob eine Aufnahme mit Bildern gemacht wird oder ohne vorher geklärt sein weil dies Auswirkungen auf die Darstellung der Punktewolke hat. Eine Aufnahme ohne Bilder ergibt eine Schwarz-Weiße Punktwolke, wird mit Bildern gescannt ist das Ergebnis eine färbige Punktwolke. Die Auswirkungen dieser Entscheidung sind in Kapitel 4.5 näher erläutert.

3.4 Aktuelle Stellung in der Vermessung

"Der Einsatz von terrestrischen Laserscannern hat sich seit Jahren in den Alltag der Geodäten etabliert. Die Aktuellen Geräte gehören mittlerweile der vierten Generation an und sind hinsichtlich ihrer Genauigkeit kaum mehr entscheidend weiterzuentwickeln." (Kersten, et al., 2020) In sämtlicher Literatur zum Thema kann man lesen, dass terrestrisches Laserscanning mittlerweile zu einem Standartgerät der Geodäten gehört. "Die räumlich und zeitlich hochfrequente Erfassung der Umgebung mit einem TLS ist messtechnisch nur erreichbar, indem die Messgenauigkeit der geometrischen Redundanz weicht. Das bedeutet, dass der einzelne Messpunkt nur eine sehr geringe Bedeutung hat. Dieser Umstand stellt Neulinge im Bereich des terrestrischen Laserscannings im Wesentlichen vor zwei Herausforderungen: (1) Die gesuchte geometrische Information kann nur aus einer flächenhaften Betrachtung gewonnen werden; (2) Die Messunsicherheit kann weniger gut quantifiziert werden." (Holst, 2019)

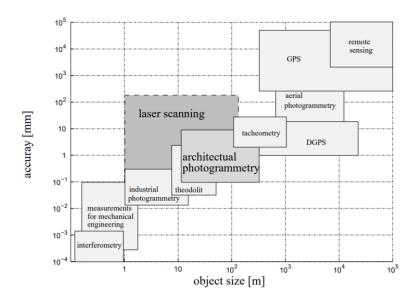


Abbildung 6: terrestrisches Laserscanning im Vergleich mit anderen geodätischen Messverfahren zur Geometriebestimmung, Quelle: Kern (2003)

In Abbildung 6 wird ersichtlich, dass terrestrischen Laserscanning im Vergleich zu anderen geodätischen Messverfahren einen relativ großen Einsatzbereich hat. Kern (2003) beschreibt weiters, dass sich das Anwendungsgebiet teilweise mit jenen der Photogrammmetrie sowie der Theodolit- und Tachymeter-Aufnahmen deckt.

Begriffserklärungen - Auswertung 4.

Genauigkeit der terrestrischen Laserscanaufnahme

Beim Laserscanner Leica RTC360 kommt "eine Kombination aus Phasendifferenz- und Impulslaufzeitverfahren zum Einsatz" (Kersten et al. 2020). Das Gerät hat eine Distanzmessgenauigkeit von 1 mm + 10 ppm sowie eine ähnliche Winkelmessgenauigkeit. Kersten et al. (2020) haben den Leica RTC360 sowie einen weiteren terrestrischen Laserscanner in der HafenCity Universität Hamburg sowohl unter Laborbedingungen wie auch im sogenannten Feldprüfverfahren auf geometrische Genauigkeit überprüft. Zum Feldprüfverfahren gehören die Streckenmessgenauigkeit zu Zieltafeln und Kugeln, der Vergleich von Raumstrecken im 3D-Testfeld sowie die Untersuchung der Ebenheitsabweichungen auf eine ebene Steinplatte. "Die Ergebnisse der geometrischen Genauigkeitsuntersuchung zeigen sehr geringe Abweichungen im Bereich von 1-2 Millimetern, was den Herstellerangaben entspricht." (Kersten et al., 2020) In Tabelle 3 sind die wichtigsten Genauigkeitsparameter des Leica RTC360 Laserscanners aufgelistet. Daraus ist ersichtlich, dass mit steigender Distanz die Genauigkeit der Einzelmessung abnimmt. Sind auf eine Distanz von 10 m 1,9 mm Abweichung in der 3D Position eines Punktes möglich, sind es bei 40 m bereits über einen halben cm.

Tabelle 3: Genauigkeit der Einzelmessung, Quelle: Leica Geosystems AG (2018)

Genauigkeit einer Einzelmessung		
3D Position	1.9 mm@10 m	
	2.9 mm@20 m	
	5.3 mm@40 m	
Distanz:	1.0mm + 10ppm	
Winkel (horizontal/vertikal)	18"/18"	

Rechnet man die Winkelmessgenauigkeit von 18 Bogensekunden auf Abweichungen bei Distanzen von 10, 20 und 40 m um, so bekommt man folgende Werte:

- 0.87 mm bei 10 m
- 1.75 mm bei 20 m
- 3.49 mm bei 40 m.

Bei nähere Betrachtung fällt auf, dass die angegebene Genauigkeit der 3D-Koordinate vor allem durch die Steigerung der Winkelmessgenauigkeit beeinflusst werden kann.

Gordon (2008) beschreibt dazu "Die realistische Einschätzung der Messgenauigkeit terrestrischer Laserscanner stellt ein Problem dar, da die Messergebnisse durch zahlreiche Faktoren beeinflusst werden." Sie teilt die Messungenauigkeiten in zwei Gruppen, die gerätebedingten, systematischen Abweichungen sowie die äußeren Einflussfaktoren. (Gordon, 2008) Lipkowski et al. (2019) beschreiben die Genauigkeiten unter Betrachtung von Distanzmesseinheit, Winkelmesseinheit sowie Kompensator und kommen zu dem Schluss "Terrestrische Laserscanner werden von vielen Anwendern als BlackBox-Systeme angesehen, deren Messdaten blind vertraut wird."

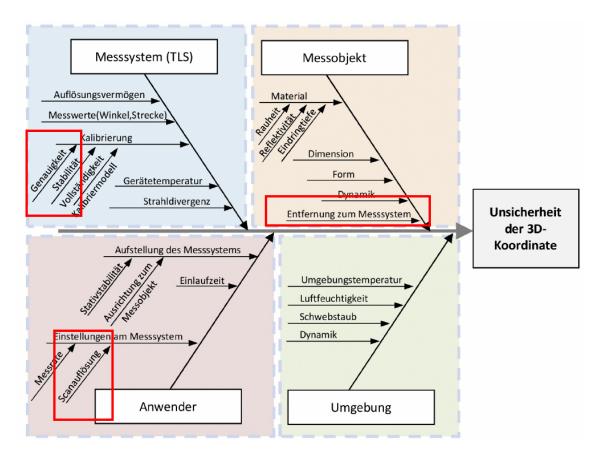


Abbildung 7: Übersicht zu Unsicherheitseinflüssen auf eine 3D-Koordinate; Quelle: Lipkowski et al. (2019)

Die Übersicht aus Lipkowski et al. (2019) die in Abbildung 7 zu sehen ist zeigt, dass Unsicherheiten der 3D-Koordinate von verschiedenen Faktoren wie Umgebung, Messobjekt, System oder vom Anwender abhängen. Einige dieser Faktoren können gezielt während der Messung beeinflusst werden (rote Kästchen). Dazu zählen die Scanauflösung (hoch, mittel, gering) oder die gewählte Entfernung zwischen Laserscanner und Objekt. Faktoren wie Luftfeuchtigkeit und Umgebungstemperatur können durch eine gezielte Planung der Messung beeinflusst werden. Beispielsweise können Messungen im Herbst nicht in der Früh, sondern zu Mittag durchgeführt werden. Der Faktor Genauigkeit wird in dieser Abbildung dem Messsystem zugeordnet und ist nur durch Kalibrierungsmessungen im Labor bestimmbar. Die Genauigkeit, des terrestrischen Laserscanners ist nur zum Teil durch die die Genauigkeit der 3D Koordinaten in der Punktwolke determiniert. Weitere Faktoren sind die Genauigkeit bei der Auswertung der 3D Punktwolke, der Georeferenzierung sowie der Aufnahme selbst.

4.2 Registrierung

"Wenn größere Objekte oder Gebäude vermessen werden sollen, ist die Verwendung einer einzelnen Messposition zumeist nicht ausreichend. Dabei spielt nicht nur die mit der Entfernung abnehmende Dichte des Punkterasters eine Rolle, sondern auch Abschattungen oder Verdeckungen im Sichtfeld einer Messposition. Daher setzt sich eine Gesamtmessung in der Regel aus mehreren Einzelmessungen zusammen. Der Prozess des Zusammenfügens der einzeln aufgenommenen Punktwolken zu einer gesamten Punktwolke ist die Registrierung. Bereits bei der Vermessung ist darauf zu achten, dass die einzelnen Punktwolken eine ausreichend große Überlappung aufweisen, damit eine Registrierung möglich ist." (Thiel et al. 2020) Im Prinzip wird für jede Messposition in einem eigenen lokalen Koordinatensystem gearbeitet. Bei der Registrierung werden diese lokalen Koordinatensysteme für die einzelnen Standpunkte in ein globales, gemeinsames Koordinatensystem zusammengeführt. Für den Vorgang der Registrierung wird bereits während der Aufnahme im Feld mit der Software Leica Cyclone FIELD 360 und anschließend im Büro mit Leica Cyclone REGISTER 360 gearbeitet. Die Registrierung anhand der Punktdaten erfolgt ohne die Verwendung von Zielmarken mittels Interative Closest Point Algorithmus (ICP). Der Algorithmus besteht aus vier wesentlichen Schritten:

- "1) Ermittlung benachbarter Punktpaare aus P1 und P2
- 2) Berechnung der Transformationsvorschrift (R, t)
- 3) Transformation der zu registrierenden Punktwolke
- 4) Iteration bis zum Abbruch des Algorithmus" (Dold et al. 2007)

Dieser Algorithmus ist für Punkte, Linien und weitere Darstellungsformen verwendbar und dabei sind einfache mathematische Operationen notwendig. Die Konvergenz in ein lokales Minimum ist möglich und die Überlappung der Punktwolke ist erforderlich. Um das hängenbleiben im lokalen Minimum zu vermeiden sind Abbruchkriterien definiert. Beim ICP bestehen diese Abbruchkriterien aus einem Schwellenwert aus Fehler der letzten Iteration oder wenn die maximale Anzahl an Iterationen erreicht ist. Wie in Abbildung 8 ersichtlich, ist

bei fehlender Rotation die Lösung falsch, erst bei erfolgter Rotation und Translation der Punktwolke ist die Lösung korrekt (ganz rechts).



Abbildung 8: Symmetrische Objekte können nicht ohne Überlappung der Punktwolke erfolgen, Quelle: Dold et al. 2007

Hybride Vermessung

Im §1 der VermV wird folgende Begriffsbestimmung festgehalten: "Hybrider Anschluss an das Festpunktfeld: Darunter ist die gemeinsame Nutzung von satellitengestützten Messverfahren und terrestrischen Verfahren zu verstehen. In der Regel werden dabei mit Hilfe von satellitengestützten Verfahren Messpunkte im Vermessungsgebiet geschaffen, die im Bedarfsfall über terrestrische Methoden verdichtet werden können und in weiterer Folge zur Bestimmung der Grenzpunkte im System ETRS89 dienen." Darüber hinaus wird im Beitrag von Holst (2019) die Kombination von Aufnahmen mittels terrestrischen Laserscanner und Tachymeter beschrieben.

Für die Aufnahme eines Grundstückes mittels TLS bedarf es ebenfalls mehrere moderne Vermessungssysteme. Die Aufnahmen von terrestrischen Laserscanner, GNSS-RTK Messungen sowie allenfalls tachymetrische Vermessungen werden kombiniert eingesetzt. Eine entsprechende Berücksichtigung der kombinierten Aufnahme muss im Feld stattfinden um sinnvolle, wirtschaftliche Ergebnisse zu erzielen. Dazu gehört die Auswahl geeigneter Messpunkte für die Georeferenzierung der 3D Punktwolke und das Erkennen jener Bereiche in denen eventuell eine tachymetrische Aufnahme zusätzlich zur Ergänzung der Punktwolke notwendig sein wird (möglicherweise aufgrund von Bewuchs,...). Im Rahmen dieser Arbeit wird die hybride Vermessung eines Grundstückes mittels

terrestrischen Laserscanner und GNSS-RKT Messung durchgeführt und ausgewertet.



Abbildung 9: Darstellung des Workflow eines Laserscan im Außendienst; Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 9 zeigt einen möglichen Workflow für die hybride Vermessung im Feld. Als ersten Schritt muss ein Messpunktefeld geschaffen werden. Die Messpunkte dienen als Georeferenzpunkte und werden am besten mit Eisenrohren und Messnägel stabilisiert. Als nächstes werden diese Messpunkte mittels GNSS Gerät koordinativ bestimmt und anschließend bei der Laserscanaufnahme als Punkte für die Georeferenzierung verwendet. Bei der anschließenden Auswertung im Büro werden die Koordinaten der GNSS Aufnahme mit der Punktwolke kombiniert.

Punktwolke

Das Ergebnis eines Laserscans ist eine 3D Punktwolke. In der Punktwolke wird versucht, "Form und Textur sowie manchmal auch die Farbinformation der Fläche eines Objektes anhand von unzähligen Messpunkten zu erfassen." (Brum-

nik, 2018) Brumnik (2018) zeigt, dass für einen 360° Scan eines Objektes mehrere Aufnahmen von verschiedenen Standpunkten benötigt werden und dass sich die Aufnahmen überlappen müssen. Um sicherzustellen, dass die Punkte-



Abbildung 10: Darstellung der Gesamten Punktwolke eines Aufnahmegebiets; Quelle: eigene Aufnahme

wolke nicht aus mehrfach gleichen Punkten besteht, wird der ICP-Algorithmus (Iteratice Closest Point) angewandt. In Kapitel 4.2 wird der Algorithmus näher erläutert. In einer Punktwolke wird die sichtbare Umgebung zur Gänze mit Millionen Punkte erfasst.

In Abbildung 10 ist die Punktwolke einer Laserscan-Aufnahme ersichtlich. Im Gegensatz zu einer tachymetrischen Aufnahme werden mit der Punktwolke unzählige geometrische Details mitaufgenommen und gespeichert, welche im Zuge einer Auswertung im Büro herausgegriffen und dargestellt werden können. Aufgrund der großen Anzahl von Informationen ist es wichtig, bereits während der Aufnahme essentielle Punkte zu signalisieren. Dies gelingt mit diversen Zubehörteilen welche in einem späteren Kapitel dieser Arbeit genauer beschrieben werden. Abbildung 11 zeigt ein Beispiel dafür, wie solche Markierungen (in den roten Kästen) in der Punktwolke erkennbar sind. Weiters ist erkennbar, dass die Punktwolke eine Abbildung der gesamten Umgebung darstellt, wobei Daten weit über das Aufnahmegebiet hinaus aufgenommen werden.



Abbildung 11 Ergebnis eines Laserscans – die 3D-Punktwolke eines Aufnahmegebiets samt markierten Grenzpunkten; Quelle: eigene Darstellung

Die 7D-Punktwolke

Wird eine Laserscanaufnahme zusätzlich mit Farbinformationen versehen so erhält die Punktwolke wie in Holst (2019) beschrieben weitere Dimensionen. "Während als Messgröße unmittelbar auch die Intensität des reflektierten Messstrahls erfasst wird, kann diese 4D-Information anschließend innerhalb weniger Minuten bei neueren TLS optional um RGB-Informationen für jeden einzelnen Messpunkt erweitert werden. Dafür werden den automatisiert aufgenommenen Fotos, mit bekannten inneren und äußeren Kalibrierparametern, auf die Messpunkte gematcht." (Holst, 2019) Somit liefern die Intensität und die Farbanteile für Rot, Gelb und Blau die 4. bis 7. Dimension der Punktwolke. "Das Messprodukt ist eine räumlich sehr hoch aufgelöste 7D-Punktwolke (X,Y,Z,I,R,G,B), die sich aufgrund ihres geometrischen und physikalischen Detailreichtums sehr gut

eignet, kleine und große Objektcharakteristiken und ihre zeitlichen Änderungen zu erfassen. "(Holst, 2019)

Die Dimensionen bringen zusätzliche Informationen vom Messgebiet mit ins Büro. Als nachteilig kann der vergrößerte Speicherbedarf der gescannten Daten sowie auch der verlängerte Scaneinsatz, wie in Tabelle 2 dargestellt, genannt werden. Als Vorteil die bessere Erkennbarkeit von Objekten sowie eine verbesserte automatisierte Auswertung der Punktwolke mit Software.





Abbildung 12: Unterschied einer Schwarz-Weiß Aufnahme (Links) und Farbaufnahme (Rechts) samt Zielmarke; Quelle: eigene Aufnahmen

In Abbildung 12 ist der Unterschied zwischen einer Schwarz-Weiß Aufnahme und einer Aufnahme in Farbe ersichtlich. Bei der Schwarz-Weiß Aufnahme (links) ist die Oberflächenbeschaffenheit nicht klar erkennbar. Objekte wie Deckel sind in beiden Aufnahmen erkennbar (blauer Pfeil) allerdings in der Farbdarstellung eindeutiger und auf größere Distanzen. Die Zielmarken sind in der Farbaufnahme eindeutig sichtbar in der Schwarz-Weiß Aufnahme nur sehr schwer erkennbar. In beiden Aufnahmen wurde derselbe Typ Zielmarke verwendet (S/W-Zielmarke aus Karton)

Georeferenzierung (Anschluss an das Festpunktfeld)

Aus der VermV §3 geht hervor wie der Anschluss an das Festpunktfeld zu erfolgen hat. Bei diesem Anschluss sind gemäß Absatz 3 im Falle der Nutzung

von APOS "die vom BEV veröffentlichten ETRS89-Koordinaten der nächstgelegenen Festpunkte zur Transformation der gemessenen Punkte in das geodätische Bezugssystem MGI zu verwenden." (VermV, §3 (3)) Sowohl Blauensteiner (2014) wie auch Grillmayer et al. (2017) beschreiben die Schwierigkeiten dieser Transformation aufgrund der teilweise enormen Inhomogenität des Festpunktfeldes in Österreich. Empfohlen wird der Übergang mittels Zweistufenmodel welches bereits in Kapitel 3.2 beschrieben wurde.

Der Anschluss der Punktwolke erfolgt über die Aufnahme der, wie oben beschrieben transformierten, Messpunkte zur Georeferenzierung. Der Schritt um eine relativ gemessene Punktwolke in eine absolute Position im Zielkoordinatensystem zu transformieren heißt Georeferenzieren. Für die Georeferenzierung werden Punkte ausgewählt, von denen die Koordinaten im Ziel-Koordinatensystem bekannt sind und die über den gesamten Aufnahmebereich, möglichst gleichmäßig verteilt, angeordnet sind. Zur besseren Ersichtlichmachung des Punktes in der 3D Punktwolke können während der Aufnahme Hilfsmittel verwendet werden wie Zielmarken oder Zielstangen.

Abbildung 13 zeigt den Leica RTC360 während der Aufnahme eines Messpunktes, welcher mittels S/W-Zielmarke (rotes Kästchen) erkenntlich gemacht wird.



Abbildung 13: Laserscanner RTC360 während der Aufnahme samt S/W-Zielmarke. Quelle: eigenes Foto (18.08.2021)

Der TLS muss in unmittelbarer Nähe des Messpunktes aufgestellt werden damit die Distanz zwischen Gerät und Punkt nicht zu groß wird. Grund dafür ist, dass die Zielmarke möglichst gut geometrische erfasst wird. Am besten ordnen man bei der Aufnahme die Messpunkte für die Georeferenzierung in einem regelmäßigen Abstand um das Aufnahmegebiet herum an.

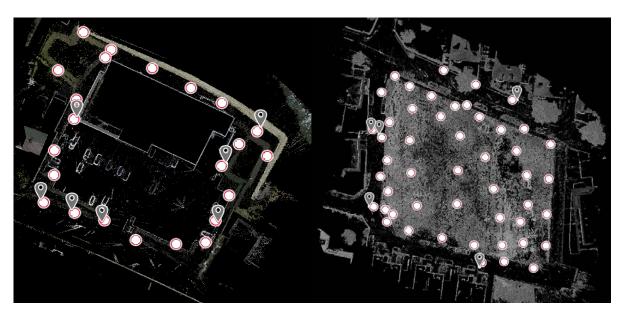


Abbildung 14: Beispiele für Aufnahmegebiete samt Standpunkten und Messpunkte für die Georeferenzierung, Quelle: eigene Screenshots aus REGISTER360⊘

In Abbildung 14 zeigt ein exemplarisches Aufnahmegebiet samt Standpunkten (rote Kreise) und Messpunkte für die Georeferenzierung (grauen Positionsmarken). Wichtig bei der Auswahl dieser Messpunkte ist, dass

- sie in möglichst gleichmäßigen Abständen um das Messgebiet herum angebracht werden
- sie mittels GNSS-Gerät messbar sind und
- es mindestens 4 Messpunkte gibt.

"Bauwerke existieren nie für sich allein. Sie befinden sich immer in einem räumlichen Kontext auf unserer Erde. Der räumliche Bezug zwischen den digitalen Bauwerksmodellen der gebauten und geplanten Umwelt wird auf geometrischer Ebene durch die Georeferenzierung, d.h. durch die Festlegung der Position und Orientierung des Bauwerks auf der Erde realisiert. Durch die Bekanntgabe von

geometrischen Transformationsparametern kann die CAD-, BIM- oder GIS-Software die einzelnen Bauwerksmodelle in ein übergeordnetes, einheitliches Koordinatenreferenzsystem transformieren" (Clemen et al. 2021)

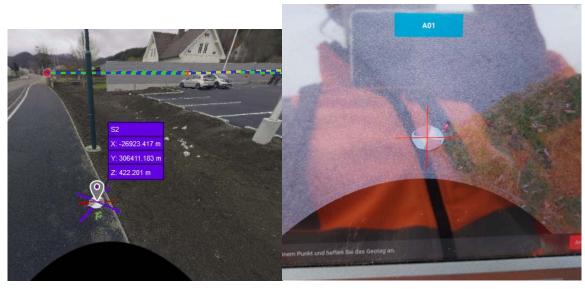


Abbildung 15: Geotag (rotes Fadenkreuz) wird exakt auf den Messpunkt in der Punktwolke gesetzt. Quelle: eigene Aufnahme

Wie in Abbildung 15 ersichtlich, wird die Georeferenzierung direkt während der Aufnahme im Feld vorgenommen. Durch das Kennzeichnen des Messpunktes während der Aufnahme werden Fehler bei der Suche im Innendienst vermieden und der Prozess des Georeferenzierens beschleunigt.

Wirtschaftliche Überlegungen 5.

Kern (2003) schreibt "Die heutige Regel, dass eine Stunde Messaufwand drei Stunden und mehr an Auswertearbeit nach sich zieht, wird in Zukunft in Anbetracht der steigenden Personalkosten wirtschaftlich nicht mehr aufrecht zu halten sein und die Einsatzmöglichkeiten einschränken. Abhilfe können hier nur automatische Auswerteprozesse schaffen." Was Kern bereits 2003 vorausgesagt hat, ist auch im Jahr 2022 präsenter denn je. Die Personalkosten steigen, es gibt mehr als genug Arbeit im Bereich der Vermessung und gleichzeitig haben sich Software und Hardware Richtung (Voll-)Automatisierung entwickelt. Die Wirtschaftlichkeit des TLS ist 2022 zu einem großen Teil von der Auswertesoftware und der Weiterverwendung der 3D Punktewolke im Innendienst abhängig. Im Außendienst ist verglichen mit einer tachymetrischen Aufnahme der TLS im Vorteil, weil nur eine Person den Laserscanner bedient. Das wäre auch bei einer Einmannstation gegeben, aber der Vorteil von TLS ist die hohe Geschwindigkeit bei einem gleichzeitig enorm hohen Detailierungsgrad der Aufnahme.

Ob ein Auftrag wirtschaftlich, sinnvoller mit einem Laserscanner oder mittels Tachymeter aufgenommen wird ist abhängig von mehreren Faktoren wie:

- Beschaffenheit des Aufnahmegebiets (Bewuchs,..)
- Aufgabenstellung
- Größe des Aufnahmegebiets
- Auswertesoftware ++
- Speicher-Ressourcen (Arbeitsspeicher + Datenspeicher)
- Mitarbeiter

Überlegungen zur Datenmenge

Wie beschrieben wird in den Punktwolken viel Information gespeichert und damit ins Büro übertragen. Die Daten können getrennt betrachtet werden als Rohdaten, die 3DWorx Datei sowie die daraus exportierte Punktwolke in den Formaten .e57 und .xyz. Die Aufzählung der Formate entspricht der Bearbeitungsreihenfolge von den Rohdaten bis zu den für eine Planung verwendbaren Daten.

Tabelle 4: Anfallende Datenmengen für drei ähnliche Projekte getrennt betrachtet nach den Datenformaten; Quelle: eigene Darstellung

	Projekt 1	Projekt 2	Projekt 3
Rohdaten	7,79 GB	2,61 GB	2,18 GB
3DWorx Datei	2,15 GB	3,23 GB	2,15 GB
Punktwolke .e57	229 883 KB	92 851 KB	217 264 KB
Geländemodell .xyz	9 KB	63 KB	89 KB

In Tabelle 4 sind drei ähnliche, vergleichbare Grundstücke für Planungstätigkeiten aufgenommen worden. Die Datengröße der Rohdaten von Projekt 1 sticht mit 7,79 GB heraus, bei diesem Projekt wurde in Farbe aufgenommen. Die Farbinformation stammt wie oben erklärt aus der Aufnahme von Bildern welche mittels bekannter Parameter auf die Punktewolke gematcht werden. Dabei wird die Farbinformation aus den Bildern auf die Punktewolke übertragen und die Bilder anschließend gelöscht. Wie in Abbildung 16 ersichtlich, werden am RTC360 diese Bilder mittels 3-Kamerasystem mit 36 Megapixel erfasst. Daraus kann die große Datenmenge erklärt werden.

BILDVERARBEITUNG	
Kamera	3-Kamerasystem mit 36 MP erfasst
	Rohdaten von 432 MP für ein kalibriertes sphärisches Bild von 360° x 300°
Geschwindigkeit	1 Minute für ein vollsphärisches HDR-Bild bei jedem Lichtverhältnis
HDR	Automatisch, 5 Reihen

Abbildung 16: technische Daten der Bildverarbeitung des RTC 360 Laserscanners, Quelle: Quelle: Leica Geosystems AG (2021)

6. **Testausstattung**

Wie in der Einleitung beschrieben wird der Einsatz des terrestrischen Laserscanner RTC360 von Leica der tachymetrischen Vermessung gegenübergestellt und verglichen. In Abbildung 17 sind jene drei Arbeitsabläufe dargestellt, welche für die Fallstudie im Rahmen dieser Arbeit benötigt werden. Im weiteren wird auf den Prozess des Laserscanners detailliert eingegangen und dieser beschrieben. Es kommt ein Leica TS15 Tachymeter zum Einsatz und für die GNSS Vermessung ein Leica Viva GS15.

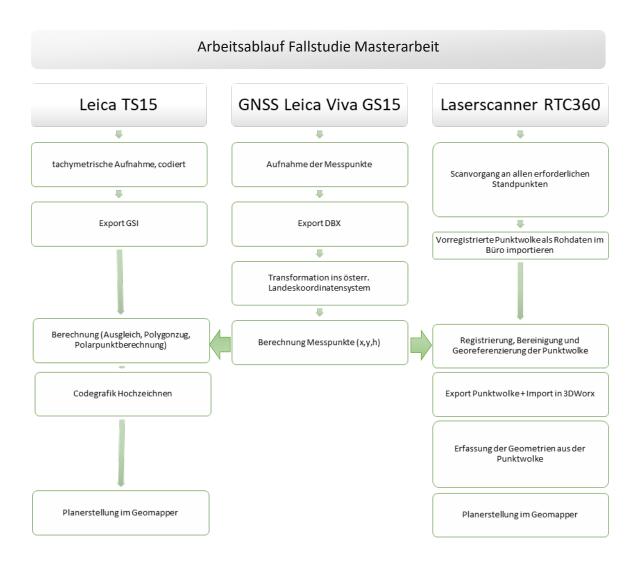


Abbildung 17: Arbeitsabläufe für die Fallstudie aufgeteilt in Tachymeter, GNSS und TLS, Quelle: eigene Darstellung

Neben der Beschreibung des verwendeten Laserscanners sowie der eingesetzten Software soll die Methode der Auswertung, der Bearbeitung der Dateien sowie der Planerstellung näher erläutert werden.

6.1 **Hardware**

6.1.1 Leica RTC360

Für die Aufnahme der Laserscans wird der Leica RTC 360 verwendet. Die wichtigsten technischen Eigenschaften sind in Tabelle 5 aufgelistet. Der Leica RTC360 zeichnet sich mit einer hohen Messrate von bis zu 2 Mio. Punkten pro Sekunde und einer automatischen Felderfassung ohne Ziele, basierend auf der VIS-Technologie (Visual Inertial System) aus. Die Bedienung erfolgt entweder direkt am Gerät auf einem Touchscreen oder über ein empfohlenes Tablet welches mit dem Gerät kabellos verbunden wird. Die Datenspeicherung erfolgt automatisch auf einem austauschbaren 256 Gigabyte USB-Stick. Die Daten müssen nicht aktiv exportiert werden, erfolgt ein Scanvorgang wird dieser automatisch im vorher angelegten und eingestellten Job, auf dem USB-Stick gespeichert.

Tabelle 5: Einige der wichtigsten technische Daten des Leica RTC360, Quelle: Leica Geosystems AG (2018)

3D-Laserscanner	Hochgeschwindigkeits-3D-Scanner mit integrierter sphärischer HDR-Bilderfassung und visuellem Inertialsystem (Visual Inertial System, VIS) für die Echtzeiterfassung
Visuelles Inertialsystem VIS	Videounterstütztes Inertialmesssystem zur Bewegungsverfolgung der Scannerposition relativ zur vorherigen Stationierung in Echtzeit
Effektiver Messbereich	360° (horizontal) / 300° (vertikal)

Reichweite	Mindestens 0,5 bis zu 130 m
Geschwindigkeit	Bis zu 2.000.000 Punkte/Sek.
Auflösung	3 vom Nutzer auswählbare Einstellungen:
	3/6/12 mm bei 10 m
Steuerung - Am Scanner	Touchscreen-Steuerung mit
	Fingereingabe
Steuerung – Tablet (optional)	Samsung Galaxy Tab S7
Maße	120 mm x 240 mm x 230 mm
Datenspeicherung	Austauschbarer USB 3.0-Speicherstick, 256 GB

Neben den in Abbildung 18 dargestellten Equipment ist der RTC360 ist mit zwei Stück 5,6 Ah Lithium-Ion Batterien ausgestattet, weitere zwei Stück Tausch-Batterien ermöglichen es in der Regel einen ganzen Arbeitstag lang zu arbeiten. Als Tablet wird das Samsung Galaxy Tab S7 verwendet. Die Verwendung eines Tablets ist optional aber um die einzelnen Standpunkte im Außendienst miteinander zu verknüpfen (Vorregistrieren) und somit die Arbeit im Büro zu minimieren ist es unumgänglich und erleichtern den Arbeitsablauf immens.



Abbildung 18: Links: Verwendetes Equipment-Setup; Quelle: Leica RTC360 Equipment list v2.0.0 (15.08.2021), Rechts: Verwendetes Equipment-Setup des RTC360 im Außendienst; Quelle: eigene Aufnahme

6.1.2 Zubehör

Werden während der Aufnahme Detailpunkte wie Eisenrohre, Grenzsteine oder Metallmarken gefunden, können Hilfsmittel eingesetzt werden um diese Punkte für die Auswertung im Büro ersichtlich zu machen. Im Zuge der Aufnahmen für die Masterarbeit wurden folgende Hilfsmittel verwendet:

- Zielstangen (Fluchtstange, Reflektorstange,...)
- Zielmarken (Schwarz/Weiß Karton, Gelb/Schwarz Aluminium
- Fluchtstabstativ (Spinne)

DI Sandra ZALOZNIK

37

Zielstangen werden direkt auf den zu vermessenen Punkt gestellt und mittels Fluchtstabstativ festgehalten. Wie in Abbildung 19 ersichtlich, kann eine Reflektorstange verwendend werden was den Vorteil hat, dass diese mittels Dosenlibelle justiert werden kann. Damit ist man imstande bei höherem Bewuchs die Lage eines Punktes exakt zu bestimmen und die Höhe über die Länge des Stabes zu korrigieren.

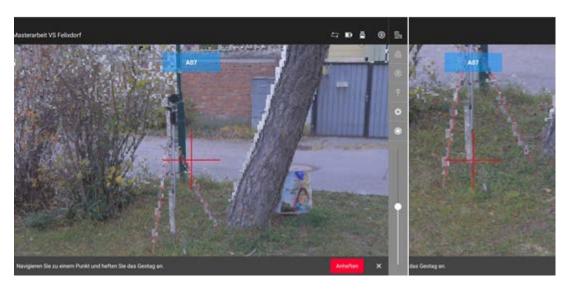


Abbildung 19: Reflektorstange mittels Fluchtstabstativ gehalten, Quelle: Screenshot aus Leica Field360



Abbildung 20: Fluchtstange als Hilfsmittel während der Aufnahme im Gebüsch, Quelle: eigene Aufnahme

Fluchtstangen sind Rot/Weiß und können auch direkt in den lockeren Boden gesteckt werden was den Vorteil hat, dass sie über niederen Bewuchs hinausschauen und aufgrund der Farbe auch inmitten eines Gebüsches die wesentlichen Punkte sichtbar machen, wie in Abbildung 20 festgehalten ist.



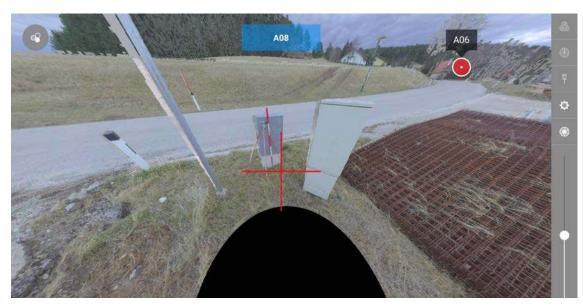


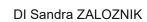
Abbildung 21: Fluchtstange als Hilfsmittel während der Aufnahme eines Grenzpunktes, Quelle: eigene Aufnahme

In Abbildung 21 wird mittels Fluchtstange eine Metallmarke als Grenzzeichen ersichtlich gemacht. Bei dieser Anwendung kommt ein Fluchtstabstativ zum Einsatz um die Stange zu halten.

Zielmarken werden direkt auf den zu signalisierenden Punkt gelegt. Zu beachten ist, dass sich kein Bewuchs rund um den zu vermessenen Punkt befindet, sonst liegt die Zielmarke nicht ganz auf und kann in der 3D Punktwolke mit einer falschen Höhe herausgegriffen werden.



Abbildung 22: S/W-Zielmarken im Einsatz; Quelle: eigene Aufnahme sowie Screenshot



Neben S/W- Zielmarken aus Karton können auch Zielmarken in Gelb/Schwarz aus Aluminium, wie in Abbildung 23 ersichtlich, verwendet werden. Ihr Vorteil ist das größere Gewicht, weil sie damit unempfindlicher gegen Wind sind. Die Gelb/Schwarz Zielmarken sind, wie auf dem rechten Foto dargestellt allerdings wesentlich schlechter sichtbar.





Abbildung 23: Rechts: Scanner-Positionierung bei Messung eines Detailpunktes mit Gelb/ Schwarz-Zielmarke; Quelle: eigene Aufnahme und Screenshot aus Field360

Für die Aufnahme von Detailpunkten wie Nägel, Eisenrohre oder Grenzsteine empfiehlt es sich, Zubehör zu verwenden. Welche Art von Zubehörteilen für die jeweilige Aufnahme vorteilhafter ist, muss vor Ort und für jeden Punkt separat entschieden werden. Es kann keine generelle Empfehlung für eines der Zubehörteile gegeben werden. Auch bei der Vermessung der Messpunkte für die Georeferenzierung ist die Verwendung von Zielmarken, wie in Abbildung 22, sehr zu empfehlen.

6.1.3 Leica Viva TS15

Für die Messungen mittels Tachymeter kommt der Leica Viva TS15 zum Einsatz, der in der Produktbeschreibung als "Die schnellste Totalstation mit Bildverarbeitung" (Leica Geosystems 2010) beschrieben wird. In Tabelle 6 sind die wichtigsten technischen Daten des verwendeten Gerätes zusammengefasst.

Tabelle 6: Technische Daten des TS15, Quelle: Datenblatt Leica Geosystems (2010)

Winkelmessung	Genauigkeit HZ, V: 5" (1.4 mgon)
Distanzmessung (mit Prisma)	Rundprisma (GPR1) 3500 m mit 1 mm + 1.5 ppm Genauigkeit
Distanzmessung (ohne Prisma)	PinPoint R400: 400 m mit 2 mm + 2 ppm Genauigkeit
Automatische Zielerfassung	Rundprisma (GPR1) 1000 m

Der TS15 wird wie in Abbildung 24 ersichtlich auf ein Holzstativ montiert. Die Messung erfolgt entweder auf einen Reflektor (Prisma) oder reflektorlos mit Laserstrahl. Wie in Tabelle 6 aufgelistet, ist die Genauigkeit der Distanzmessung ohne Prisma geringer als bei Verwendung eines Reflektors. Eine klassische Vermessung erfordert beide Verfahren, ohne Prisma werden beispielsweise Traufen- und Firsthöhen gemessen während die Lage von Grenzsteinen, Zäunen, Mauern und dergleichen mit Reflektor aufgezeigt werden.



Abbildung 24: Verwendetes Tachymeter TS15 während der Aufnahme im Feld, rechts: Reflektor und Prismenstab; Quelle: eigene Aufnahme und https://www.landmark.at (Aufruf: 30.4.2022)

6.2 Software

Das Ziel eines Laserscans ist ein dreidimensionales Abbild des Interessensgebiets zu erhalten. Bei Verwendung dieser Technologie muss man sich bewusst sein, dass die eigentliche Arbeit damit vom Feld ins Büro übertragen wird. Es werden innerhalb kürzester Zeit eine große Menge an Daten aufgenommen. Auch unwesentliche Punkte sind in der Punktwolke gespeichert. Der wesentlichste Teil der Aufnahmeart ist die Ableitung der erforderlichen Daten aus der aufgenommenen Punktwolke. Welche Punkte erforderlich sind kommt auf die jeweilige Anforderung und den Plan-Typ (Teilungsplan, Lage-Höhenplan) an. Der Einsatz von geeigneter Software ist aus diesem Grund unbedingt notwen-

dig. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Workflow, der Feldarbeit und der Büroarbeit, mittels Software von Leica und RMData beschrieben.

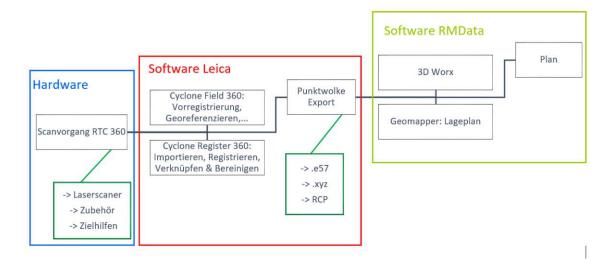


Abbildung 25: Laserscan Workflow von links nach rechts, Quelle: eigene Darstellung

Wie in Abbildung 25 ersichtlich, kommen die verschiedenen Programme nacheinander zum Einsatz. Überblicksmäßig wird mittels Leica Software die Punktwolke an sich bearbeitet und anschließend mittels RMData Software erfolgt die Planerstellung.

6.2.1 Leica Cyclone FIELD 360

Während des Scanvorgangs im Feld wird die Vorregistrierung und das Ausrichten der 3D Punktwolken mittels der Software Leica Cyclone FIELD 360 auf einem Tablet vorgenommen. Die Ausrichtung der Punktwolken im FIELD 360 erfolgt näherungsweise, denn wie in 4.2 beschrieben ist dies ein komplexer mathematischer Vorgang der nur durch das herunterskalieren (verkleinern der Punktwolke) der Daten am Tablet funktioniert.

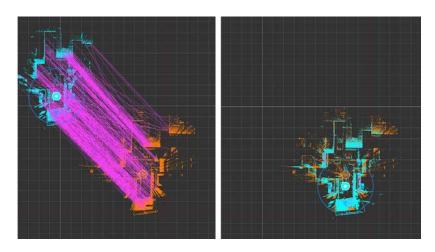


Abbildung 26: visualisierte Übereinstimmung zwischen zweier Punktwolken mit ähnlichen Geometrien die sich überlappen, Quelle: https://leica-geosystems.com/de-at/products/laser-scanners/software/leicacyclone, Aufruf: 28.09.2021

"Ein wichtiges Merkmal von Cyclone FIELD 360 ist die Vorregistrierung der herunterskalierten Scandaten direkt vor Ort. Die relativen Scanpositionen, die sich aus der Vorregistrierung ergeben, tragen dazu bei, den endgültigen Registrierungsaufwand mit den vollständigen Datensätzen im Büro zu verringern. Für maximale Effizienz vor Ort darf die Vorregistrierungszeit die Scanzeit nicht überschreiten. So ist sichergestellt, dass die Datenerfassung vor Ort nicht verlangsam wird" (www.leica-geosystems.com, Aufruf: 28.09.2021)

In Abbildung 26 sind Screenshots eines Arbeitsprozesses der Vorregistrierung mittels Cyclone FIELD 360 wie er für jeden Geräte-Standpunkt im Feld durchgeführt werden muss. Auf dem linken Bild zeigen die violetten Linien die Übereinstimmungen zweier Punktwolken mit der korrekten Ausrichtung aber falscher Translation ersichtlich, auf dem rechten Bild zwei zueinander korrekt ausgerichtete Punktwolken. Der Vorgang um vom linken Bild zum rechten Bild zu kommen der ist die Registrierung.

Ein klarer Vorteil bei Anwendung dieser Applikation ist, dass einzelne Standpunkte direkt im Feld miteinander verknüpft werden und man während des Arbeitens Fehler erkennt. Mögliche Fehler in der Aufnahme können sein: zu wenig Überlappung der einzelnen Aufnahmen zu geringe Punktdichte oder verdeckte Geometrien. Diese Fehler können mit zusätzlichen Aufnahmen von geeigneten Standpunkten sofort ausgebessert werden. Die im Feld vorregistrier-

ten Daten werden im Büro mit der Leica Cyclone REGISTER 360 Post-Processing-Bürosoftware bearbeitet.

6.2.2 Leica Cyclone REGISTER 360

Diese Software importiert die Scannerdaten vom USB-Stick auf den Rechner und registriert anschließend die Scannerdaten in den folgenden Arbeitsschritten:

- 1. Scannerdaten importieren
- 2. Überprüfen und Optimieren der Punktwolken
- 3. Punktwolke visuell auf grobe Fehler bei Verknüpfungen der Standpunkte prüfen.
- 4. Grobe Bereinigung der Daten: dabei werden falsche Punkte (wie Spiegelungen) aus der Wolke gelöscht. Es dürfen nur Punkte entfernt werden die keine Auswirkung auf eine Cloud-to-Cloud Registrierung haben.
- 5. Georeferenzierung: Hierzu muss jener Standpunkt ausgewählt werden, von dem aus der Messpunkt ersichtlich war. Im "Cloud-Setup" wird die

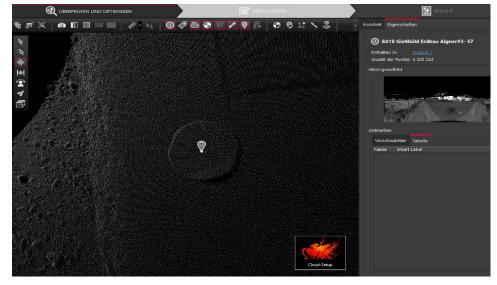


Abbildung 27: Georeferenzierung mittels Marke im Cyclone REGISTER 360; Quelle: eigene Aufnahme

Marke exakt auf den Mittelpunkt der Zielscheibe positioniert und entsprechend dem Messpunkt benannt, wie in Abbildung 27 ersichtlich. Der Vorgang wir für alle weiteren Messpunkte wiederholt.

- 6. Kontrolle anwenden: Dabei wird die Punktwolke georeferenziert und eine Optimierung aller Standpunkte mit den bereinigten Daten durchgeführt.
- 7. Export der Daten: Dazu stehen im Menüpunkt "Bericht" sämtliche Möglichkeiten für Datenformate zur Verfügung (Abbildung 28 rechts). Zusätzlich wird ein pdf-Bericht samt Matrix der erreichten Genauigkeit der registrierten (verknüpften) Standpunkte des Projekts generiert.

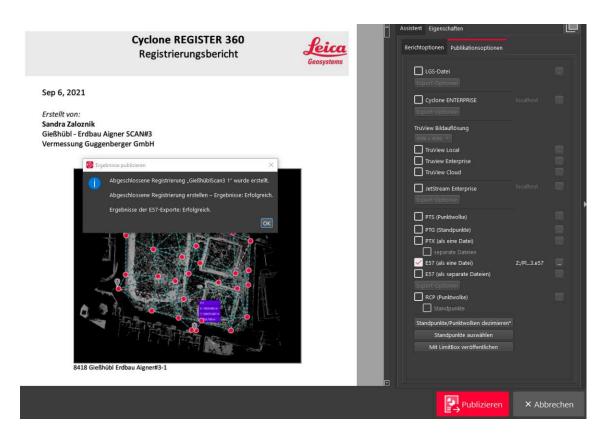


Abbildung 28: Publikationsoptionen im Cyclone REGISTER 360 rechts, links ist die Voransicht des exportierten Berichtes ersichtlich; Quelle: eigene Aufnahme

6.2.3 Verwendete Datenformate

Für den Export der Punktwolke für die Weiterverwendung in entsprechenden Programmen stehen, wie in Abbildung 28 ersichtlich, folgende Datenformate standartmäßig zur Auswahl:

- E57: Ein kompaktes, herstellerneutrales Format zum Speichern von Punktwolken, Bildern und Metadaten, die durch 3D-Bildgebung erstellt wurden.
- PTS: Erstellt eine einzelne Datei, die die endgültig veröffentlichte Wolke enthält.
- PTG: Format zum Speichern und Veröffentlichen bestimmter Setups und ermöglicht Benutzern die Größe eines Exports selektiv zu reduzieren und den Export zu beschleunigen
- RCP: Das .rcp-Format ist ein Autodesk-Format, das ReCap, AutoCAD und andere Autodesk-Dateien unterstützt. Scans können vereinheitlicht und als einzelne unstrukturierte, RGB eingefärbte Punktwolke exportiert werden oder als separater Scan, der mit Bildern registriert ist.
- LGS-Datei: Universelle digitale HDS-Realitätsdatei. Sie enthalten alle Projektinformationen in einer einzigen Datei. Die LGS-Datei ist perfekt für Speicherung und Übertragung zwischen allen HDS-Softwareprodukten.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Punktwolke im Format E57 aus Cyclone RE-GISTER 360 exportiert um anschließend in rmDATA 3DWorx zu importieren.

Neben den Export für die Weiterverwendung der Punktwolke besteht die Möglichkeit, diese in folgenden Formaten zu exportieren um das Anzeigen, Teilen und Analysieren zu ermöglichen:

- TruView Local/ Enterprise/ Cloud: Ein Digital-Reality-Viewer der es dem Benutzer ermöglicht, in die Punktwolkenszene einzutreten mittels intuitiven Point-and-Click-Steuerelementen zu navigieren.
 - Local beschreibt eine kostenloste, nicht zu installierende Version, Enterprise eine In-House-Netzwerk Version und Cloud den mittels anpassbarer URL bereitgestellten TruView.
- Cyclone ENTERPRISE: ist eine lokal installierte Software zur Datenverwaltung von mehreren Benutzern am selben Projekt. Über den integrier-

ten TruView Zugriff können Anwender mit Cyclone ENTERPRISE weltweit auf eine abgespeckte Version des Projekts zugreifen.

JetStream Enterprise: Ein Datenspeicher- und Kollaborationstool, das für große Daten entwickelt wurde.

Dabei handelt es sich um Datenformate für Software-Tools von verschiedenen Anbietern (Leica, rmDATA,...). Diese Möglichkeiten sind vor allem deswegen nicht alle Projektbeteiligten über dieselben sinnvoll. Voraussetzungen verfügen und mittels genannten Programme die digitale Weitergabe das Teilen und Anzeigen sowie auch die gemeinsame Bearbeitung der Daten ermöglicht wird. Sämtliche Beschreibungen der Datenformate und Software-tools wurden dem Cyclone REGISTER 360 User Guide entnommen.

6.2.4 rmDATA 3DWorx

Im Programm 3DWorx passiert die Bearbeitung der Punktwolke selbst beziehungsweise das Generieren der notwendigen Informationen für die Erstellung

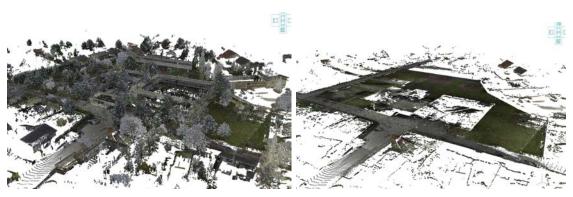


Abbildung 29: Aufnahmegebiet als 3D-Punktwolke (links) und rechts die gefilterten Bodenpunkte des Gebiets, Quelle: eigene Aufnahme

eines Planes aus den vorhandenen Daten. Dieses Programm hat eine Vielzahl von Bearbeitungstools wie Bodenpunktfilter, Erstellung von Geländemodellen oder Schnittgenerierung. Mittels Bodenpunktfilter kann in 3DWorx aus der komplexen Punktwolke ein Modell des Geländes erzeugt werden. In Abbildung 29 wurde der Bodenpunktfilter auf dem Aufnahmegebiet angewendet. Das Ergebnis auf der rechten Seite der Abbildung 29 kann die Grundlage für ein Gelän-



demodell sein, da störende Geometrien wie Gebäude, Zäune und Bewuchs rausgefiltert werden.

Das Nachzeichnen der relevanten Geometrien wird als "mapping" bezeichnet. Dazu wird eine horizontale Schnittebene durch die Punktwolke erzeugt. Die horizontale Schnittebene ist, wie in Abbildung 30 ersichtlich ein hilfreiches Tool in der Software 3DWorx um die gewünschte Geometrie aus der Gesamtheit der Daten herauszufiltern. Auf dem Punktwolkenausschnitt auf der linken Seite sind mehrere parallele Linien im Bereich der Mauer ersichtlich in diesem Fall wurde die "Stärke der Ebene" zu hoch gewählt (mittleres Bild). Im rechten Bild hingegen ist die wahre Stärke der Mauer durch den scharfen Abriss der Punktwolke klarer ersichtlich. Mittels horizontaler Schnittebenen können bodennahe Ebenen angezeigt werden aus denen Mauern, Gebäude, Zäune, Randsteine und dergleichen erkannt und erfasst werden.



Abbildung 30: Beispiel der horizontalen Schnittebene - Links und Rechts zeigen den gleichen Punktwolken-Ausschnitt in verschiedenen Höhen. In der Mitte: Einstellungen für die horizontale Schnittebene im 3DWorx; Quelle: eigene Aufnahme

Für das Nachzeichnen der relevanten Geometrien, wie es in Abbildung 31 mittels Linien werden im 3DWorx eigene Gruppen, ähnlich der aus AutoCAD bekannten Layer, angelegt. Beim Erfassen der Linien werden über Objektfang-Eigenschaften die entsprechenden Start- und Endpunkte ausgewählt.

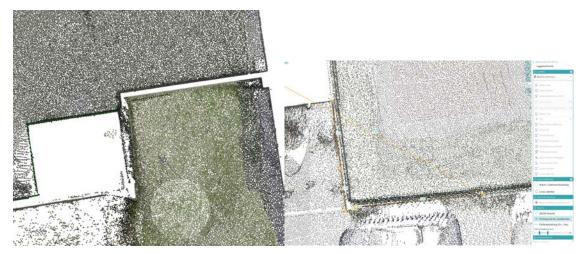


Abbildung 31: Screenshots aus 3DWorx während des Nachzeichnens der maßgeblichen Geometrien aus der 3D-Punktewolke, Quelle: eigenen Aufnahmen

CAD-Typ im 3DWorx

Durch das Erstellen von CAD-Typen, kann mittels Umsetzungstabelle aus den gemappten 3D-Geometrien beim anschließenden Import in den Geomapper ein fertiger Lageplan - vergleichbar mit der Naturaufnahme bei der tachymetrischen Vermessung – generiert werden. In Abbildung 32 sind auf der linken Seite die verschiedenen CAD Typen ersichtlich die im 3DWorx gemappt werden. Diese beziehen sich auf Linien (Asphaltränder, Randsteine, Gebäudeumrisse, ...) und Detailpunkte (Schachtdeckel, Grenzsteine, Wasserschieber Metallmarken, ...) und die Liste ist beliebig, projektbezogen erweiterbar. Die CAD-Typen entsprechen in weniger detaillierter Form den Objektkategorien nach ÖNORM A 2261.

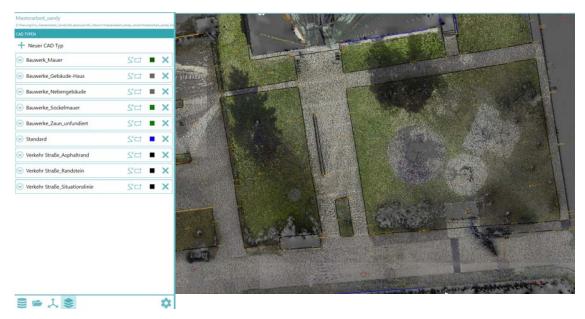


Abbildung 32: horizontaler Schnitt durch eine Punktwolke samt gemappten Linien und Detailpunkten sowie die Liste der CAD-Typen (links); Quelle: eigene Aufnahme

Übersetzungstabelle für GeoMapper

Die gemappten Objekte können als .dwg – Zeichnungsdatei aus 3DWorx exportiert und anschließend im GeoMapper eingelesen werden. Vereinfacht wird dieser Vorgang durch den in Abbildung 33 gezeigten Mapping-Assistent. Auf der linken Seite sind jene CAD-Typen ersichtlich, die zuvor im 3DWorx definiert wurden, in der Spalte Objekttyp GeoDB kann ausgewählt werden wie die gemappten Objekte im Plan dargestellt werden sollen. Das Ergebnis sind Geometrien aus der Punktwolke, dargestellt als Naturaufnahme des Interessensgebiets. Diese Übersetzungstabelle wird in der ÖNORM A 2261 als Objektschlüsselkatalog bezeichnet und legt den digitalen Austausch von Daten zwischen den Geoinformationssystemen fest.

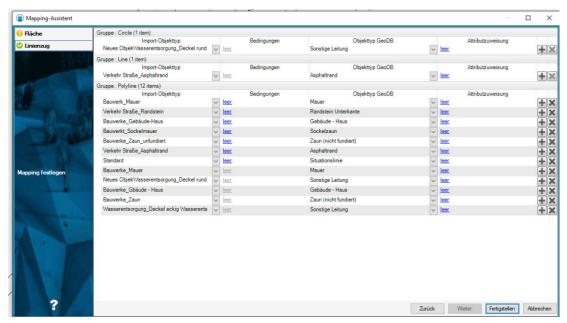


Abbildung 33: Mapping-Assistent im GeoMapper samt vordefinierten Objekten, Quelle: eigene Aufnahme

6.2.5 rmDATA GeoMapper

Der GeoMapper ist die Planerstellungs-Software von rmDATA und wird hier für die Erstellung des Planes verwendet. Mit dieser Software wird der finale Bearbeitungsschritt durchgeführt, der als Ergebnis den Plan der Naturaufnahme liefert. Im GeoMapper kann sowohl ein bereinigtes Geländemodell, wie auch die gemappten Geometrien aus dem 3DWorx, durch den in Abbildung 33 gezeigten Schritt importiert und dargestellt werden. Im Falle des Einlesens eines Geländemodells welches zuvor als .xyz - Datei aus 3DWorx erzeugt wurde, wird mittels Tool "als Punktwolke Importieren" gewährleistet, dass unabhängig von der Anzahl der Punkte die Rechenleistung des PCs nicht leidet aber trotzdem können einzelne Punkte abgegriffen, entfernt und ausgewählt werden.

Für die Erstellung der Naturaufnahme wird im Geomapper an der Darstellung der Linien und Detailpunkte gearbeitet. Geometrien können verbessert, verändert, ergänzt und gelöscht werden und durch einen Planrahmen in die entsprechende Form gebracht. Abbildung 34 zeigt den resultierenden Plan mit der Naturaufnahme und dem digitalen Kataster.



Abbildung 34: Ergebnis Naturaufnahme inkl. Digitaler Katastermappe, Quelle: eigene Aufnahme

54

Auswahl und Aufnahme des Fallbeispiels 7.

Um die Eignung eines Laserscanners für die Vermessung von Plänen gemäß der VermV zu prüfen, wird ein praktisches Fallbeispiel hinsichtlich Genauigkeit, Wirtschaftlichkeit und auf die Legalität der Vorgangsweise geprüft. Das Fallbeispiel wird im Rahmen dieser Arbeit sowohl tachymetrisch wie auch als 3D-Laserscan aufgenommen. Folgende Anforderungen sind an die Aufnahme gestellt worden:

- Erstellung eines Lage-Höhenplan als Projektgrundlage für ein geplantes Bauvorhaben
- Verfassung eines Lageplanes gemäß § 19 NöBO (rechtlich gesicherte Grundstücksgrenzen) aufbauend auf dem Lage- und Höhenplan
- Koordinatensystem Gauß-Krüger M 34°, Adriahöhensystem
- Erfassung der Geländeform durch Einzelpunkte
- Messung von Identpunkten zur Einarbeitung vorhandener Vermessungsurkunden
- Erfassung der oberirdisch sichtbaren Leitungen und Einbauten
- Darstellung der Grundstücksgrenze laut Kataster
- verpflichtende elektronische Einbringung beim Vermessungsamt

Um die Vergleichbarkeit der beiden Aufnahmearten, Tachymeter und TLS zu wahren, werden Arbeiten wie das Abstecken der Grundgrenzen in der Natur oder die Abhaltung einer Grenzverhandlung nicht berücksichtigt. Diese Arbeiten fallen bei beiden Methoden an und stellen somit nicht vermeidbare Arbeits- und Kostenfaktoren dar. Je nach Aufnahmeart – Tachymeter oder terrestrischer Laserscanner - werden die notwendigen Arbeitsschritte durchgeführt und gegenübergestellt. Es soll festgestellt werden, ob alle erforderlichen Punkte der oben genannten Liste sowohl mittels Tachymeter sowie als auch mittels TLS aufgenommen werden können.

Neben den Arbeiten im Feld sollen die Auswertungen in der Kanzlei gegenüberstellt werden. Dabei soll nicht nur auf dem Arbeitsaufwand in Stunden eingegangen werden, sondern auch auf die unterschiedlichen Bearbeitungsschritte und Anwendungen von verschiedener Software. Für die Vergleichbarkeit werden Arbeitsstunden (60 Minuten) herangezogen. Um Aussagen über die Wirtschaftlichkeit der beiden Aufnahmemethoden treffen zu können, werden für die Arbeitsstunden reale Stundensätze eines Ziviltechnikerbüros eingesetzt.

7.1.1 Auswahl eines geeigneten Grundstückes

Ein geeignetes Grundstück für die Untersuchung ergab sich aus einer Anfrage an die Vermessungskanzlei Guggenberger ZT GmbH in Berndorf. Im Rahmen der Bestandsertüchtigung der Gebäude, welche sich auf dem Grundstück 108/14 in der KG Felixdorf befinden sollen die Grundgrenzen gesichert werden und ein Lage- und Höhenplan des Grundstücks samt den darauf befindlichen Gebäuden erstellt werden.



Abbildung 35: Fotos des Grundstücks sowie der Gebäude welches für das Fallbeispiel herangezogen wird, Quelle: Prof. Dipl.-Ing. W. GUGGENBERGER Ziviltechniker-GmbH

In Abbildung 36 ist ein Luftbild aus dem NÖ-Atlas sowie in Orange eingerahmte Grundstück, welches für das Fallbeispiel ausgewählt wurde.

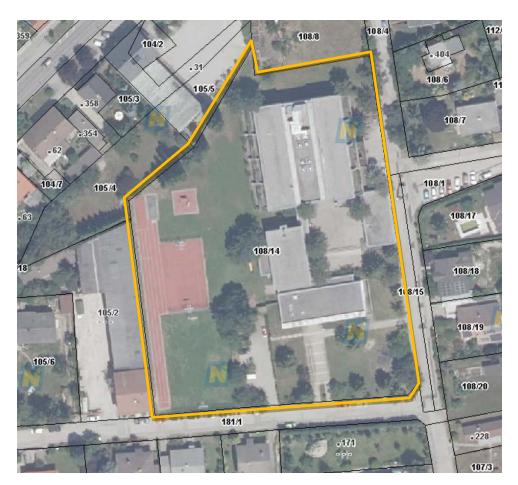


Abbildung 36: Luftbild des Aufnahmegebiets inkl. Grundstücksnummern, Quelle: NÖ Atlas (noe.gv.at) [Aufruf: 21.05.2021]

7.1.2 Vermessung mittels Tachymeter

Bei der tachymetrischen Aufnahme wurden 11 Standpunkte mittels Metall- und Kunststoffmarken stabilisiert wobei die Punkte P1-P4, P6, P5204 und P5205 mittels GNSS-RTK bestimmt wurden. Insgesamt wurden, von den Standpunkten aus, 471 Einzelpunkte vom Grundstück sowie vom Gebäude aufgenommen.

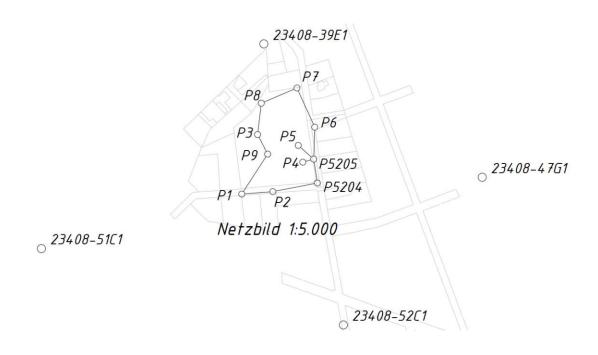


Abbildung 37: Netzbild samt Aufnahmestandpunkte des Tachymeters, Quelle: Prof. Dipl.-Ing. W. GUGGENBERGER Ziviltechniker-GmbH

Wie in Abbildung 35 ersichtlich, handelt es sich um ein Gebäude mit vielen Vorund Rücksprüngen. Das erklärt die hohe Anzahl an notwendigen Standpunkten. Standpunkt P5 war notwendig um den Innenhof des Gebäudes zu erfassen.

Die Aufnahme wurde von einem Vermessungsteam, bestehend aus einem Aufnahmeleiter (Ingenieur) und einem Vermessungsgehilfen der das Tachymeter bedient durchgeführt. Die Aufnahme wurde codiert durchgeführt, das bedeutet, dass jeder aufgenommene Punkt mit einem Messcode gespeichert wurde und in der Kanzlei mithilfe einer Messcodeübersetzung sämtliche Symbole und Linien automatisch erzeugt werden und bereits die richtige Darstellung haben. Für die Tätigkeiten im Außendienst wurde 5 Stunden und 30 Minuten pro Person aufgewendet. Wie in Abbildung 37 ersichtlich, wurde ein Netz um das Gebäude gemessen. Die GSI-Daten der Vermessung werden anschließend im ASCII-Format vom Tachymeter auf ein SD-Speichermedium exportiert.

Für die Vermessung wurde eine kombinierte Aufnahme, wie in Kapitel 4.3 beschrieben, gewählt. Demnach wurden die Messpunkte mittels Leica System 1200 GNSS Gerät aufgenommen. "Die Koordinaten der GPS Punkte werden

immer im WGS 1984 Koordinatensystem gespeichert. WGS 1984 Koordinaten sind als X,Y,Z kartesische Koordinaten oder als Länge, Breite und Höhe gegeben." (Leica Geosystems AG, 2010) Die Messdaten vom GNSS Empfänger können auf ein SD-Speichermedium exportiert werden. In der Kanzlei werden die Daten von Tachymeter und GNSS/RTK in rmGEO (rmDATA) importiert. Der Prozess dauert wenige Minuten.

Der erste Schritt der Auswertung der Daten ist die Transformation der WGS 1984 Koordinaten in das Gauß-Krüger Gebrauchskoordinatensystem der österreichischen Landesvermessung. Die Transformationsparameter wurden von den vier nächstgelegenen amtlichen Festpunkten (Netzbild) abgeleitet und die Koordinaten der Messpunkte transformiert. Die Parameter der Transformation befinden sich in Anhang. Anschließend wird der freie Netzausgleich über die gemessenen Standpunkte berechnet sowie die Detailpunkte polar bestimmt. Nach der Übersetzung der Messcodes wird eine Grafik der aufgenommenen Geometrien erzeugt. Die erzeugten Geometrien des aufzunehmenden Grundstückes sind die Grundlage für die Erstellung eines Plans und werden als Naturaufnahme bezeichnet.

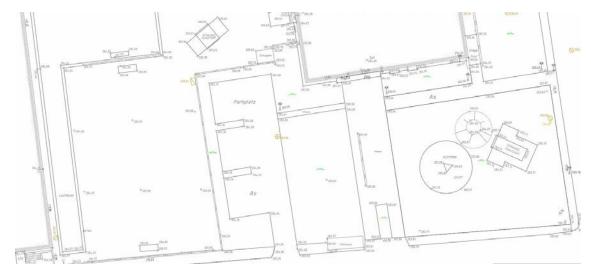


Abbildung 38: Naturaufnahme als Ergebnis der tachymetrischen Vermessung; Quelle: eigene Aufnahme

Das Ergebnis der tachymetrischen Aufnahme ist in Abbildung 38 ersichtlich und beinhaltet Linien, Detailpunkte mit Höheninformationen, Symbolen und Beschriftungen. Die Naturaufnahme bildet die Grundlage einer Urkunde gemäß der VermV sowie des VermG. Die Naturaufnahme liefert die Grundlage, mit der die Ergebnisse des TLS verglichen werden.

7.1.3 terrestrische Laserscanaufnahme

Die Aufnahme wird mit der in Kapitel 6.1 beschriebenen Hardware durchgeführt. Dazu wird der Leica RTC360 auf den Standpunkten positioniert und anschließend der Scanvorgang gestartet. Abbildung 39 zeigt das Aufnahmegebiet mit allen verwendeten Standpunkten in Rot.

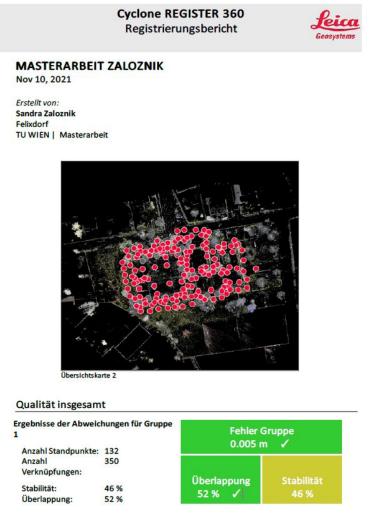


Abbildung 39: Exportbericht aus REGISTER 360, Quelle: eigener Screenshot

Der Bericht aus der Software REGISTER 360 beinhaltet das Ergebnis für die Abweichungen in der Punktwolke sowie die erreichte Überlappung und Stabilität der einzelnen Standpunkte. Wie in Abbildung 39 unten ersichtlich wurden gesamt 132 Standpunkte gescannt. Die Aufnahme wurde in Farbe durchgeführt. Wie man dem Exportbericht entnehmen kann, wurde ein Fehler von 5 mm in der gesamten Aufnahme errechnet. In diesen Wert für die Genauigkeit gehen die Werte der Überlappung der einzelnen Punktwolken jedes Standpunkts und die daraus resultierende Stabilität ein.

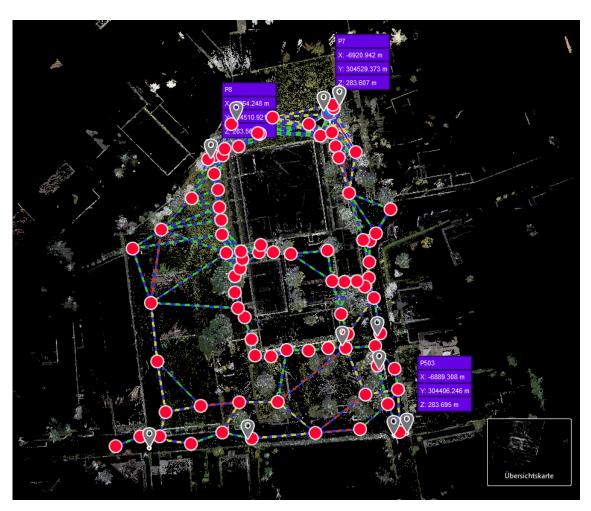


Abbildung 40: Übersicht samt Scanner-Standpunkte (rote Kreise), den Verbindungen dazwischen sowie den Messpunkten (graue Marker); Quelle: eigene Aufnahme

Abbildung 40 zeigt die Übersicht der Aufnahme, wobei die einzelnen Standpunkte des Laserscanners durch rote Kreise signalisiert werden und die entsprechenden Verbindungen dazwischen als strichlierte Linien. Für alle dargestellten Standpunkte wurde eine Aufnahmezeit von 3 Stunden und 30 Minuten gebraucht, wobei der Scanner während der Aufnahme von einer Person bedient

wird. Die Punkte für die Georeferenzierung sind in Abbildung 40 durch violette Kästchen ersichtlich. Dabei handelt es sich um die Standpunkte der tachymetrischen Aufnahme, deren Koordinaten wie oben beschrieben wurde mit GNSS bestimmt wurden. Dieser Vorgang ist sowohl bei der tachymetrischen Vermessung (hybrider Anschluss) wie auch bei einem Laserscan erforderlich, weil dadurch die Punktwolke die korrekte Orientierung und damit Koordinaten erhält, welche sich im System der österreichischen Landesvermessung befinden.

8. **Ergebnisse und Diskussion**

In der Beschreibung der Methoden wird klar, dass das Zusammenspiel der verwendeten Software-Lösungen wie auch die Verwaltung und Bearbeitung der enormen Punktmengen ausschlaggebend für den Erfolg des Verfahrens sind. Wenn das Produkt einer 3D-Laserscan-Aufnahme die Erstellung eines Planes nach der VermV 2016 sein soll, ist der beschriebene Workflow durchaus zielführend.

Auswertung hinsichtlich Genauigkeit

Die Genauigkeit der Punktwolke ist mit 5 mm aus dem Exportbericht (Abbildung 39) ersichtlich. In Abbildung 41 sind die beiden Naturaufnahmen (oben Tachymeter, unten TLS) dargestellt. Bei genauer Betrachtung fällt auf, dass in bestimmten Bereichen unterschiedliche Geometrien ersichtlich sind. Ein Beispiel zeigt das rote Rechteck: In der Laserscanaufnahme wurden an der Stelle ein Schuppen, Geländehöhenpunkte sowie Bäume gemappt, in der tachymetrischen Aufnahme wurden diese Geometrien nicht erfasst. Was aufgenommen wird und was nicht, wird bei der Vermessung mittels Tachymeter vom Aufnahmeleiter vor Ort entschieden. Grund für das Fehlen der beschriebenen Geometrien kann sein, dass der Bereich schlecht ersichtlich war oder schlichtweg vergessen wurde.



Abbildung 41: Zeigt oben das Ergebnis des Plans der tachymetrischen Aufnahme sowie unten den Plan erzeugt aus der Punktwolke/Laserscan, Quelle: eigene Aufnahmen

Für weitere Auswertungen wurden, wie in Abbildung 43 ersichtlich, die Lagepläne der Tachymeter-Aufnahme und der Laserscan-Aufnahme übereinander gelegt. Die tachymetrische Aufnahme ist in grau dargestellt während die Laserscan-Aufnahme zu besseren Sichtbarkeit in blau eingefärbt wurde

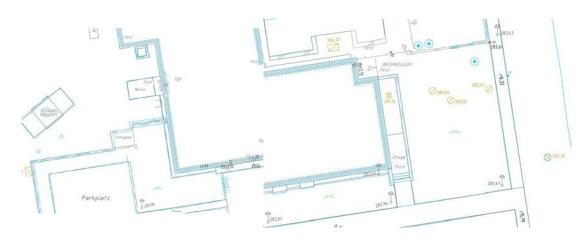


Abbildung 42 zeigt in Grau den Lageplan der tachymetrischen Aufnahme und in Blau das Ergebnis aus der 3D-Punktewolke übereinander, Quelle: eigene Aufnahme

Probleme der Genauigkeit gibt es, wenn falsche Punkte aus der dreidimensionalen Datenmenge entnommen werden. Dies kann vorkommen, wenn aufgrund von Orientierungsproblemen die andere Seite eines Randsteines gemappt wird, oder beim Nachzeichnen einer schiefstehenden Mauer, wenn die Höhe des horizontalen Schnitts durch die Punktwolke zu hoch gewählt wird und nicht hinreichend nahe am Schnitt zur Erdoberfläche.

In einem weiteren Schritt werden mittels gefärbter Bemassungen die Abweichungen der beiden Aufnahme quantifiziert. Aus Tabelle 7 kann die Bedeutung der Farben, welche in den übereinandergelegten Lageplänen Anwendung finden, entnommen werden.

Tabelle 7: Bedeutung der Farben der Bemaßungen in den übereinander gelegten Lageplänen, Quelle: eigene Tabelle

Grün	Abweichungen zw. 1-4 cm
Orange	Abweichungen zw. 5-9 cm
Rot	Abweichungen ≥ 10 cm

Zu erkennen ist dabei, dass viele der roten Bemassungen darauf zurückzuführen sind, dass schlichtweg andere Objekte gemappt beziehungsweise aufgenommen wurden. Im westlichen Teil der Abbildung 43 wurden die Randsteine zu den Parkplätzen mit erheblichen Abweichungen aufgenommen. Grund dafür war in diesem Fall der Bewuchs, denn Büsche verdecken die freie Sicht zu den Randsteinkanten, daher ist ein Mapping dieser Kanten in der Punktwolke schwer. Abhilfe bietet in diesem Fall die Verwendung von Fluchtstangen wie in Kapitel 6.1.2 beschrieben. Bei der Mauer, welche sich in der Mitte der Abbildung 43 befindet, ist die Abweichung dadurch zu erklären, dass die Punktwolke zu weit oben verschnitten wurde und dadurch die Holzabdeckung gemappt wurde anstatt des aufgehenden Mauerwerks. Fehler beim Mapping sind durch den hohen Informationsgehalt der Punktwolke möglich, gleichzeitig ist das "nachmapping" beziehungsweise Berichtigen solcher Fehler genau wegen dieser hohen Detaildichte möglich.



Abbildung 43: Unterschied des Lageplans der tachymetrische Aufnahme (grau) und der Laserscanner Aufnahme (blau) samt Abweichungen; Quelle: eigenen Darstellung

In Abbildung 44 zeigt die Aufnahme einer Mauer zum Nachbargrundstück. Die tachymetrische Aufnahme in grau und die Laserscanaufnahme in blau. Erkennbar ist die größte Abweichung im nordöstlichen Teil mit 8 cm. In diesem Bereich befindet sich ein Mauerknick, die Abweichung könnte auf eine Schiefstellung der Mauer in diesem Bereich hindeuten. Im weiteren Verlauf decken sich die beiden Aufnahmen mit Abweichungen von 4 bis 5 cm.

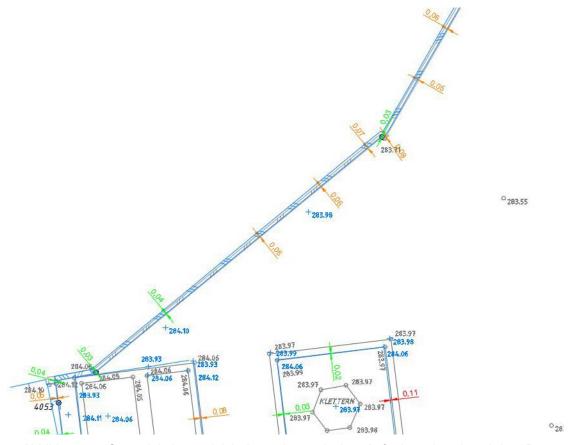


Abbildung 44: Genauigkeitsvergleich der tachymetrischen Aufnahme (grau) und der 3D-Punktwolke (blau) von einer Mauer inkl. Bemaßung; Quelle: eigene Abbildung

Im Ausschnitt aus dem Lageplan in Abbildung 45 ist vor allem die Abweichung von 17 cm beim Kanaldeckel beachtlich. In diesem Fall ist eine der beiden Lagen nicht korrekt. Die Höhe des Deckels mit 284,03 m ist hingegen in beiden Aufnahmen gleich. Im Bereich der Randsteine (grüne Rechtecke) liegt die Vermutung nahe, dass in einer Aufnahme die Randsteinunterkante und in der anderen Aufnahme die Randsteinoberkante aufgenommen wurden. Der Höhenun-

terschied von 4 und 5 cm in beiden Punkten und der Abstand von 6 cm in der Lage lassen diesen Schluss zu.

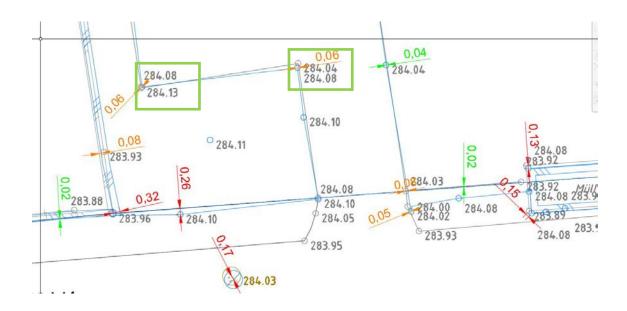


Abbildung 45: Lage-Abweichungen (Pfeile) und Höhen-Abweichungen (grüne Kästchen) aus den beiden Aufnahmearten; Quelle: eigene Darstellung

Der Vergleich in Abbildung 46 zeigt im Bereich des Gebäudes (oben) vermehrt rote Bemassungen, also Abweichungen von mehr als 10 cm. In diesem Fall wurde systematisch eine falsche Linie gemappt. Die Schwierigkeiten bei der Auswertung einer 3D Punktwolke liegt vor allem im richtigen Erkennen und Interpretieren der Geometrien.

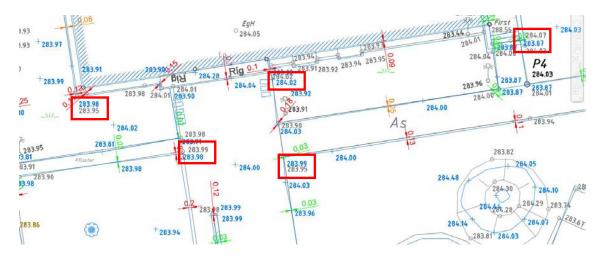


Abbildung 46: Lagepläne von Tachymeter (grau) und Laserscanner (blau) samt Abweichungen (rote Kästchen), Quelle: eigene Abbildung

Neben der Lagegenauigkeit ist auch die Genauigkeit der Höhenangaben ein wesentlicher Qualitätsaspekt. In Abbildung 46 sind durch rote Rechtecke Höhenkoten aus der Tachymeter-Aufnahme (grau) sowie der Laserscanner Aufnahme (blau) dargestellt. Die umrahmten Höhenkoten zeigen Abweichungen bis maximal 4 cm auf. Die gefundenen Abweichungen im Auswertegebiet deuten nicht auf systematische Fehler oder Spannungen im Höhensystem hin, sondern auf Unschärfen bei der Punktbestimmung selbst.

Die in Abbildung 47 dargestellten Faktoren auf die Genauigkeit einer Laserscanaufnahme beinhalten sowohl Komponenten des Außen- als auch Innendienstes und deutet darauf hin, dass die Genauigkeit nicht alleine von der plakativen Distanz- und Winkelmessgenauigkeit des TLS bestimmt wird.

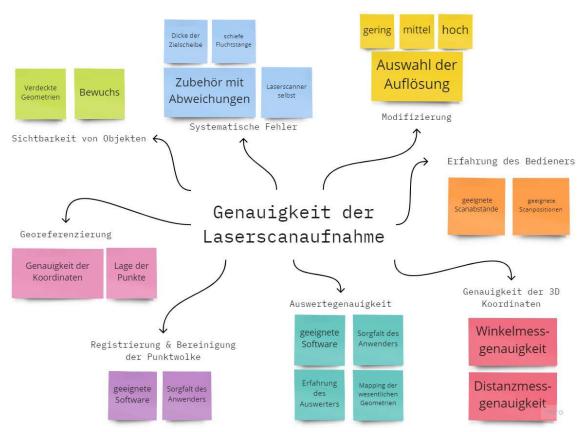


Abbildung 47: Darstellung sämtlicher Einflussfaktoren auf die Genauigkeit einer Laserscan-Aufnahme, Quelle: eigene Abbildung mit miro.com

Auswertung hinsichtlich Wirtschaftlichkeit

Unterschieden wird in

- 1) Aufnahme im Feld
- 2) Auswertung im Büro

Für den Vergleich der Wirtschaftlichkeit der beiden Aufnahmeverfahren werden die aufgewendeten Zeiten für Aufnahme und Auswertung mit entsprechenden Tarifsätzen versehen. Die Unterscheidung in die verschiedene Tarifsätze Hilfskraft, Ingenieur, Techniker und Ziviltechniker ist wichtig, da für die einzelnen Bearbeitungsschritte je nach Verfahren auch die Anforderungen an das Personal beziehungsweise deren Ausbildungsstand unterschiedlich sind.

Tabelle 8: Tariftabelle der Vermessungskanzlei Guggenberger GmbH in Berndorf, Quelle: Prof. Dipl.-Ing. W. GUGGENBERGER Ziviltechniker-GmbH [21.09.2021]

Hilfskraft	zu je €/Std.	43,60
Ingenieur	zu je €/Std.	86,84
Techniker	zu je €/Std.	69,68
Ziviltechniker	zu je €/Std.	130,26

Die Stundensätze aus Tabelle 8 ergeben multipliziert mit dem durchschnittlichen Arbeitsaufwand des Fallbeispiels jene Kosten, die als Grundlage der Wirtschaftlichkeitsüberlegungen herangezogen werden. Diese Kosten sind in Tabelle 9 berechnet für die einzelnen Arbeitsschritte, wobei nicht jeder Schritt in beiden Verfahren notwendig sind. In der Spalte "Stunden x Tarif" wird die benötigte Arbeitszeit in Stunden mit den von Tabelle 8 hinterlegten Stundensätze getrennt in Ingenieur-, Techniker- und Hilfskraftleistungen multipliziert. Die Summe dieser Kosten ergibt am Ende der Tabelle die "Nettokosten". Die Summe der geleisteten Arbeitsschritte ergibt die "Stunden Gesamt".

Tabelle 9: Gegenüberstellung der Arbeitsschritte, des Arbeitsaufwands in Stunden sowie der berechneten Kosten für Tachymeter und TLS; Quelle: eigene Darstellung

	TACHYMETER			LASERSCANNER			
Tätigkeit	Zeit [h]	Wer	Stunden x Tarif	Zeit [h]	Wer	Stunden x Tarif	
Außendienst Aufnahme		Ing.	€ 521.0	03:30	Techn	€ 243.9	
Ausendenst Aumanne	06:00	Hilfsk.	€ 261.6	03.30	Techn.	€ 243.9	
Außendienst Aufnahme GNSS	00:30	Ing.	€ 43.4	00:30	00:30 Techn. € 34.		
Datenimport (rmGEO/ REGISTER360)	00:05	Ing.	€ 7.2	00:45	Techn.	€ 52.3	
Transformation ETRS Koordinaten (rmGEO)	00:55	Ing.	€ 79.6	00:55	Ing.	€ 79.6	
Verknüpfung/Registrierung/Bereinigung Punktwolke (REGISTER360)		-		02:00 Techn. € 139.4			
Netzausgleich + Detailpunktberechnung (rmGEO)	01:30	Ing.	€ 130.3	-			
Geometrien mappen (3DWorx)	- 06:00			06:00	Techn.	€ 418.1	
Darstellung Geometrien/ Planerstellung	02:00	Techn.	€ 139.4	01:00 Techn.		€ 69.7	
Stunden Gesamt	17:00			14:40			
Nettokosten		€ 1 182.	5	€ 1 037.7			

Aus Tabelle 9 ergibt sich eine Kostenersparnis von rund 12 % bei Verwendung der Laserscanner-Aufnahme. In der Arbeitszeit ergibt sich eine Differenz von 2:20 Stunden was eine Reduktion von rund 14 % darstellt. Eine einfachere oder noch komplexere Aufnahmesituation könnte zu anderen Ergebnissen führen. Diese Ersparnisse müssen mit den erhöhten Anschaffungskosten des TLS relativiert werden. Die Zusammenstellung in Tabelle 10 zeigt, dass die Anschaffungskosten für einen terrestrischen Laserscanner um 30 % höher sind. Be-

trachtet man das Gesamtparket von Hardware und Software sind die Kosten um 41 % höher als die vergleichbare tachymetrische Ausstattung. Der Grund dafür sind die im Kapitel 6.2 beschriebene erforderliche Software. Werden bei einer klassischen Auswertung zwei Programme verwendet, so kommen im beschriebenen Workflow beim TLS, um ein vergleichbares Ergebnis zu erhalten, vier Programme zum Einsatz.

Tabelle 10: Zusammenstellung der Kosten für TLS- und Tachymeter Ausrüstung, Quelle: Guggenberger ZT GmbH

Leica TS15	39.150 €
Leica TS15 inkl. Software	49.150 €
Leica RTC360	51.220 €
Leica RTC360 inkl. Software	69.500€

Als einsatzbereit sind die Geräte samt Stativ sowie dem erforderlichen Zubehör wie Akku, Koffer, Reflektor samt Stange, Zielmarken und dergleichen gemeint. Das verwendete GNSS Gerät wurde nicht berücksichtigt, weil die Konfiguration der Hardware und Software in beiden Anwendungsfällen (Tachymeter und TLS) ident ist.

Zur Arbeitszeit des Laserscanners im Feld sei erwähnt, dass diese Aufnahme mit Farbe durchgeführt wurde. Wie beschrieben und in Tabelle 2 ersichtlich, steigt die Scan-Dauer bei der Aufnahme in Farbe um etwa eine Minute an. Die Entscheidung ob eine Punktwolke in Farbe aufgenommen werden soll oder nicht hat nicht nur Einfluss auf das Ergebnis der Aufnahme, sondern auch auf

die Wirtschaftlichkeit dieser. Die Aufnahme ohne Farbe würde sich wahrscheinlich von 3,5 Stunden auf 1,5 Stunden reduzieren.

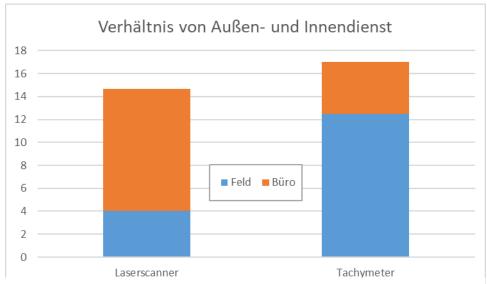


Abbildung 48: Verhältnis von Außen- und Innendienst für die beiden Verfahren, Quelle: eigene Darstellung

In Abbildung 48 sind die Arbeitszeiten im Außendienst mit jenen im Innendienst für die beiden Verfahren dargestellt. Ersichtlich ist, dass für den Laserscanner der Anteil der Zeit im Büro (Innendienst) deutlich größer ist während der Großteil der Arbeitszeit mit dem Tachymeter im Feld (Außendienst) passiert. Für die Überlegungen hinsichtlich Wirtschaftlichkeit bedeutet das eine Reduzierung der Diäten für den Außendienst. Stellt man die Zeiten im Außendienst gegenüber ergibt sich eine Reduzierung von 12:30 h auf 4 h was einer Verminderung von 68 % entspricht. Das bedeutet aber auch, dass eine etwaige Störung auf dem Grundstück wesentlich kürzer ist als bei der tachymetrischen Aufnahme (4 Stunden zu 6 Stunden). Das kann bei einem Fabriksgelände wichtig sein.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist der TLS ein Aufnahmeverfahren, welches schneller ist als eine vergleichbare Aufnahme mittels Tachymeter. Es verlagert die Arbeitszeit von dem Außendienst in den Innendienst was eine Reduzierung der Diäten zur Folge hat. Verglichen mit den Anschaffungskosten der beiden Geräte muss man sagen, dass sich die Anschaffung eines TLS für Grenzvermessungen nicht oder sehr spät rechnet aber das Fallbeispiel hat gezeigt, dass der

zusätzliche Einsatz eines vorhandenen Geräts für diese Art der Aufnahme kein wirtschaftlicher Nachteil ist.

8.3 Auswertung hinsichtlich Rechtmäßigkeit

In Österreich ist das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen zuständig für die Führung des Katasters. Es trägt damit Sorge, dass die eingereichten Pläne der Ziviltechniker für Vermessungswesen der Vermessungsverordnung sowie dem Vermessungsgesetz entsprechen. Die Vermessungsämter sind unter anderen zuständig für die Planprüfung und Beurkundung.

Aus diesem Grund wurden Mitarbeiter der Vermessungsämter gebeten, den Einsatz von terrestrischen Laserscanner bei der Grenzvermessung aus der Behördensicht zu beurteilen. In Besprechungen wurde das Ziel der Arbeit sowie einzelne Ergebnisse der Arbeit präsentiert und anschließend besprochen. Die Besprechungen fanden am Vermessungsamt in Baden (NÖ) statt und zum einen wurde DI Rainer Feucht als Stellvertretender Leiter der Gruppe Eich- und Vermessungsämter und zum anderen DI Andreas Kuprian als Leiter des Vermessungsämter Baden und Wiener Neustadt interviewt. Im Folgenden sind die wesentlichen Ergebnisse die sich aus den beiden Besprechungen ergeben haben ersichtlich:

- rechtlich gesehen ist TLS gedeckt, wenn §5 und §6 der VermV mit der Aufnahme erfüllt werden.
- Die erreichten Genauigkeiten des TLS von unter 2 mm auf 10 m ist ausreichend für die Feststellung eines Grenzverlaufs in der Natur.
- Festgestellt wurde, dass die umfangreiche Dokumentation der Umgebung ein klarer Vorteil eines 3D Laserscans ist. Die Punktwolke zu einem festgehaltenen Datum kann im Falle von Streitigkeiten zu einem wichtigen Beweismittel werden.
- Das Thema Speicherplatz für die Punktwolken-Daten wird nicht als entscheidend gesehen, weil Speicherkapazität immer "billiger" wird und leichter verfügbar ist.

Stichwort Bodenbewegung: Bei Bodenbewegung stellen "Gebietseingrenzung" und die "Bewegung der Fixpunkte" die Kernfragen dar. Das bedeutet für eine TLS-Aufnahme, dass diese unter Umständen sehr weit ausgedehnt werden muss um gewährleisten zu können, dass sich die Fixpunkte nicht bewegen was aber zu Lasten der Wirtschaftlichkeit eine Aufnahme geht.

Positiver Nebeneffekt / Mehrwert

Neben der Möglichkeit, die Aufnahme eines terrestrischen Laserscanners für die Grenzvermessung anzuwenden, können Vorteile für dieses Verfahren hervorgehoben werden:

- Beweissicherung
- Dokumentation des IST Zustandes
- Planungsgrundlage Geländemodell
- Aufnahme der Umgebung



Abbildung 49: RTC360 im Einsatz (Links), Rechts die aufgenommene Punktwolke der Umgebung, Quelle: eigene Aufnahme

Bei der Aufnahme mittels terrestrischen Laserscanner werden alle sichtbaren Objekte im Aufnahmebereich erfasst und in der Punktwolke abgebildet. Diese Tatsache kann im Zuge einer Grenzvermessung als Beweissicherung sowie Dokumentation dienen. Bei der in Abbildung 49 ersichtlichen Steinschlichtung wird eine Bewegung hangabwärts befürchtet. In diesem Fall dient die Aufnahme gleichzeitig zur Dokumentation der möglichen Bewegung. Mit einem weiteren Laserscan in einem bestimmten Intervall können dann Bewegungen sichtbar gemacht werden.

Die Dokumentation des IST-Zustands kann als Beweis für nachträgliche Veränderungen von Grenzzeichen dienen. Der IST-Zustand als Darstellung von Geländeveränderungen beziehungsweise Veränderungen des Bezugsniveaus nach der niederösterreichischen Bauordnung kann sowohl für die Baubehörde wie auch für den Grundeigentümer von Vorteil sein. Der Laserscan kann als Plangrundlage für Architekten einen Mehrwert bringen. Im Vergleich zu einem klassischen Lagehöhenplan aus der Aufnahme mittels Tachymeter wird beim Export der Punktwolke als .xyz-Datei das Modell der Umgebung in einer Maschenweite von bis zu 5 cm erzeugt.

Im Falle einer langfristigen Speicherung der Daten muss auf Datengrößen zurückgegriffen werden die sich im Bereich von Kilobytes befinden. Möglich ist die Sicherung als .xyz Datei oder als .e57 Datei wie in Tabelle 4 ersichtlich sind. Das könnte relevant werden, wenn die Punktwolke zu einem Teilungsplan bei Verdacht auf Bodenbewegungen weitergegeben werden sollen.

9. Interpretation und Schlussfolgerung

Die Genauigkeit einer TLS-Aufnahme ist von vielen verschiedenen Faktor abhängig, wobei die Distanz- und Winkelmessgenauigkeit des Geräts selbst die Grundlage bilden. Die Herstellerangaben lassen darauf schließen, dass eine Steigerung der erreichten Genauigkeit durch die Steigerung der Winkelmessgenauigkeit erzielt werden kann. Sorgfältiges Arbeiten bei der Registrierung und Bereinigung der Punktwolken sowie die gewissenhafte Auswahl der Geometrien aus der 3D-Punktwolke sind wesentlich für die Genauigkeit des Ergebnisses.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit zeigt sich, dass die Aufnahme mittels 3D Laserscanner mit der etablierten, ausgereiften Technik mittels Tachymeter mithalten kann. Die Wirtschaftlichkeit wurde anhand der verwendeten Arbeitszeiten für den Innen- und Außendienst ermittelt. Im Rahmen eines Fallbeispiels wurde eine Reduzierung der Gesamtkosten (Innen- und Außendienst) von rund 12 % durch den Einsatz eines TLS erzielt. Bei den Arbeitszeiten im Außendienst ergab sich sogar eine Verminderung um 68 % gegenüber einer tachymetrischen Aufnahme. Diese Darlegung zeigt, dass sich der Arbeitsaufwand vom Feld ins Büro verlagert und damit aus wirtschaftlicher Sicht eine Reduzierung von Diäten mit sich zieht. Die Anschaffungskosten für TLS und Software liegen allerdings um 41 % über den Kosten einer für diese Zwecke erforderlichen tachymetrischen Ausrüstung samt Software.

Die rechtliche Lage ist in Österreich durch die Vermessungsverordnung 2016 klar abgedeckt. Werden die Vorgaben für die Planerstellung eingehalten, kann auch ein terrestrischer Laserscanner für die Aufnahme von Grenzen und in weiterer Folge für die Erstellung von Urkunden eingesetzt werden.

Ein klarer Vorteil des TLS ist die Aufnahme des gesamten Gebiets und das in einer sehr hohen Detailgenauigkeit. Geometrien die größer als die doppelte Abtastfrequenz sind und vom Laserstrahl während der Aufnahme erfasst werden, können später im Büro reproduziert und im Plan dargestellt werden. Neben den, für die Erstellung eines Plan nach der VermV wesentlichen Bestandteile der Naturaufnahme die aus der Punktwolke generiert werden, wird die gesamte

Umgebung erfasst und kann in weiterer Folge zur Beweissicherung und Dokumentation des Ist-Zustandes dienen.

Ein Laserscan macht keinen Sinn, wenn stark verwachsene Flächen aufgenommen werden sollen. Des weiteren wird beim Scannen einer freien Wiese die Verknüpfung der einzelnen Standpunkte aufgrund fehlender Geometrie fast unmöglich. In beiden Fällen können Hilfsmittel wie Fluchtstangen oder Zielmarken die geeignete Abhilfe schaffen. Der Einsatz dieser Hilfsmittel ist im Allgemeinden während der Arbeiten mittels TLS sehr zu empfehlen. Die Beurteilung, ob ein Grundstück mittels Laserscanner oder Tachymeter aufgenommen werden soll, ist aufgrund der Vorteile beider Messtechniken von Auftrag zu Auftrag gesondert zu entscheiden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde nicht weiter auf das Thema der Bodenbewegung eingegangen, dennoch sei erwähnt das bei geeigneter Auswahl des Aufnahmegebietes und der Festpunkte, wertvolle Informationen zu diesen Bewegungen gespeichert werden können. Die Speicherkapazität wird in den kommenden Jahren nur mehr am Rande ein entscheidendes Auswahlkriterium darstellen, da Speicherplatz immer leistbarer und verfügbarer wird.

10. Zusammenfassung und Ausblick

Die Aufnahme mittels terrestrischem Laserscanner wurde im Zuge dieser Masterarbeit bei der Grenzvermessung angewendet und dabei der Aufnahme mittels Tachymeter gegenübergestellt. Sämtliche Auswertungen werden hinsichtlich Genauigkeit, Rechtmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit des Aufnahmeverfahrens getätigt.

Für die Genauigkeit einer terrestrischen Laserscanaufnahme bildet die hohe erreichbare Genauigkeit einer 3D Koordinate von 1,9 mm auf 10 m die Basis. Das Planergebnis selbst ist aber von weiteren Einflussfaktoren bei der Bearbeitung und Registrierung der Punktwolke sowie der sorgfältigen Auswahl der Geometrien daraus abhängig. Wirtschaftlich gesehen kann die Verwendung eines terrestrischen Laserscanners im Einsatz bei der Grenzvermessung empfohlen werden, weil im Fallbeispiel Reduzierungen der Gesamtkosten von rund 12 % geschafft wurden. Gekoppelt wird dieser positive Effekt mit der Verschiebung der Arbeitszeit vom Außendienst in den Innendienst. Die Arbeit im Feld weist eine Verminderung von rund 68 % auf, was eine Reduzierung von Diäten und Zulagen mit sich zieht.

Um die Rechtlichkeit der Aufnahme eines terrestrischen Laserscanners für die Erstellung einer Urkunde müssen vor allem die §5 und §6 der VermV erfüllt sein. Nachdem die darin geforderten Genauigkeiten von einem terrestrischen Laserscanner erfüllt werden kann davon ausgegangen werden, dass entsprechende Pläne zukünftig am Vermessungsamt einreichbar sind.

Das terrestrische Laserscannen ist im Vormarsch und in Zukunft wird es Weiterentwicklungen, Innovationen und Forschungsarbeiten vor allem in den Bereichen der Auswertung, automatisierten Punkterkennung und automatischen Planerstellung aus Punktwolken geben. Dadurch wird es zu weiteren Einsparungspotentialen bei der Arbeitszeit und damit zur steigenden Wirtschaftlichkeit des Einsatzes eines TLS kommen. Vor allem für den Bereich der Planung liegt hinsichtlich BIM-fähigen Bestandsaufnahmen viel Potential in der Punktwolkenaufnahme.

Literatur

BLAUENSTEINER, F. (2014): Durchgreifende Kontrolle bei terrestrischen Anschlussmessungen. VGI, 102(6), S. 63-82.

- BRUMNIK, M., (2018): 3D Scanning Virtuelle Produktentwicklung eines 3D Scanners für die TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0, Diplomarbeit der TU Wien
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT; FORSCHUNG UND WIRT-SCHAFT, 2016: "Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft über Vermessungen und Pläne (Vermessungsverordnung 2016 – VermV 2016)" BGBI. II Nr. 307/2016
- BURGHOF, M. (2018): "P40, BLK360 und RTC360 ein Erfahrungsbericht", Fachbeitrag: Terrestrisches Laserscanning 2018 (TLS2018), DVW-Schriftenreihe, Band 93, Augsburg, 2018, S. 181-193.
- CLEMEN Ch., BECKER R., KADEN R., BLANKENBACH J. (2021): "Leitfaden Geodäsie und BIM Georeferenzierung+", Version 3.0, Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V.
- DOLD, Ch., BRENNER, C. (2007): Verfahren zur Registrierung von 3D Punktwolken, Präsentationsfolien vom 2. Hamburger Anwenderforum Terrestrisches Laserscanning, Juni 2007
- GORDON, B. (2008): Zur Bestimmung von Messunsicherheiten terrestrischer Laserscanner, Diplomarbeit vom Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Technische Universität Darmstadt
- GRILLMAYER, E., BLAUENSTEINER, G., BLAUENSTEINER, F. (2020): Kombinierte Vermessung mit Tachymeter und RTK, Beitrag in Vermessung&Geoinformation 4/2020, S. 151-156
- GRILLMAYER, E. und BLAUENSTEINER, F. (2017) GNSS Messungen im Kataster. VGI 105(3), S. 167-173.

- HOLST, Ch. (2019): Von großen Chancen, großen Herausforderungen und großen Radioteleskopen, Fachbeitrag: Terrestrisches Laserscanning 2019, DVW-Seminar, 144. Jg., S 94-108
- KERN, F. (2003): Automatisierte Modellierung von Bauwerksgeometrien aus 3D-Laserscanner-Daten, Dissertation vom Fachbereich Bauingenieurwesen, Technische Universität Braunschweig, Deutschland
- KERSTEN, T., STANGE, M., LINDSTEADT, M., MECHELKE, S. (2020): Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen der terrestrischen Laserscanner Leica RTC360 und Z+F IMAGER 5016 im Labor und im Feldprüfverfahren, Beitrag Oldenburger 3D-Tage 2020, VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, S. 2-13.
- Leica Geosystems AG (2018): "Leica RTC360 Technische Daten", 07.21, Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Schweiz
- Leica Geosystems AG (2021): Informationen aus dem Internet zur Software Leica Cyclone FIELD 360; URL: https://leica-geosystems.com/deat/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-field-360 [Abruf: 22.08.2021]
- Leica Geosystems AG (2010): "Leica Viva Series Technisches Referenzhandbuch", Version 3.0, Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Schweiz
- Leica Geosystems AG (2010): "Leica Viva TS15 Datenblatt", Version 01.14 ,Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Schweiz
- LIPKOWSKI, S., METTENLEITNER, M. (2019): Terrestrische Laserscanner Im Fokus der Genauigkeit, In: DVW e.V. (Hrsg.): Terrestrisches Laserscanning 2019 (TLS 2019)., DVW-Schriftenreihe, Band 96, Augsburg, 2019, S. 75-87.
- PFEIFER, N., HARING, A., BRIESE, Ch., (2007): Automatische Auswertung im terrestrischen Laserscanning, Talk: Seminar der DVW - Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, in: "Terrestrisches La-

- serscanning (TLS 2007) Ein Messverfahren erobert den Raum", Wißner-Verlag, 53 (2007), ISSN: 0940-4260, S. 2
- SCHULZ, T., (2007): Terrestrisches Laserscanning, Vorlesungsfolien vom Institut für Geodäsie und Photogrammmetrie, Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich, Schweiz
- THIEL, M., WOJTKOWIAK, P., HINCKELDEYN, J., KREUTZFELDT, J. (2020): "3D-Datenaufnahme und Objekterkennung auf Baustellen und in Gebäuden" Auflage: 150, TU Hamburg: Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, Hamburg

Abbildungsverzeichnis

Applicating 1. Prinzip der tachymetrischen Admanine, Quelle. Kein (2005) 10
Abbildung 2: Leica GPS1200+ im Einsatz bei einer Aufnahme in einem Waldgebiet, Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 3: Laserscanner Leica RTC360 während der Aufnahme im Feld, Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 4: Visualisierung der beiden Raumachsen in die sich der Laserscanner bewegt. Quelle: eigene Darstellung
Abbildung 5: 3D Laserscanning-Vorgang samt visualisierte Punktwolke, Quelle: Kern (2003)
Abbildung 6: terrestrisches Laserscanning im Vergleich mit anderen geodätischen Messverfahren zur Geometriebestimmung, Quelle: Kern (2003)
Abbildung 7: Übersicht zu Unsicherheitseinflüssen auf eine 3D-Koordinate; Quelle: Lipkowski et al. (2019)
Abbildung 8: Symmetrische Objekte können nicht ohne Überlappung der Punktwolke erfolgen, Quelle: Dold et al. 2007
Abbildung 9: Darstellung des Workflow eines Laserscan im Außendienst; Quelle: eigene Darstellung
Abbildung 10: Darstellung der Gesamten Punktwolke eines Aufnahmegebiets; Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 11 Ergebnis eines Laserscans – die 3D-Punktwolke eines Aufnahmegebiets samt markierten Grenzpunkten; Quelle: eigene Darstellung
Abbildung 12: Unterschied einer Schwarz-Weiß Aufnahme (Links) und Farbaufnahme (Rechts) samt Zielmarke; Quelle: eigene Aufnahmen 27
Abbildung 13: Laserscanner RTC360 während der Aufnahme samt S/W-Zielmarke. Quelle: eigenes Foto (18.08.2021)

83

Abbildung 14: Beispiele für Aufnahmegebiete samt Standpunkten und
Messpunkte für die Georeferenzierung, Quelle: eigene
Screenshots aus REGISTER360©29
Abbildung 15: Geotag (rotes Fadenkreuz) wird exakt auf den Messpunkt in der
Punktwolke gesetzt. Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 16: technische Daten der Bildverarbeitung des RTC 360 Laserscanners, Quelle: Quelle: Leica Geosystems AG (2021)
Abbildung 17: Arbeitsabläufe für die Fallstudie aufgeteilt in Tachymeter, GNSS und TLS, Quelle: eigene Darstellung
Abbildung 18: Links: Verwendetes Equipment-Setup; Quelle: Leica RTC360 Equipment list v2.0.0 (15.08.2021), Rechts: Verwendetes Equipment-Setup des RTC360 im Außendienst; Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 19: Reflektorstange mittels Fluchtstabstativ gehalten, Quelle: Screenshot aus Leica Field360
Abbildung 20: Fluchtstange als Hilfsmittel während der Aufnahme im Gebüsch, Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 21: Fluchtstange als Hilfsmittel während der Aufnahme eines Grenzpunktes, Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 22: S/W-Zielmarken im Einsatz; Quelle: eigene Aufnahme sowie Screenshot
Abbildung 23: Rechts: Scanner-Positionierung bei Messung eines Detailpunktes mit Gelb/ Schwarz-Zielmarke; Quelle: eigene Aufnahme und Screenshot aus Field360
Abbildung 24: Verwendetes Tachymeter TS15 während der Aufnahme im Feld, rechts: Reflektor und Prismenstab; Quelle: eigene Aufnahme und https://www.landmark.at (Aufruf: 30.4.2022)
Abbildung 25: Laserscan Workflow von links nach rechts, Quelle: eigene Darstellung
Abbildung 26: visualisierte Übereinstimmung zwischen zweier Punktwolken mit ähnlichen Geometrien die sich überlappen, Quelle: https://leica-

geosystems.com/de-at/products/laser-scanners/software/leica-cyclone, Aufruf: 28.09.2021
Abbildung 27: Georeferenzierung mittels Marke im Cyclone REGISTER 360; Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 28: Publikationsoptionen im Cyclone REGISTER 360 rechts, links ist die Voransicht des exportierten Berichtes ersichtlich; Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 29: Aufnahmegebiet als 3D-Punktwolke (links) und rechts die gefilterten Bodenpunkte des Gebiets, Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 30: Beispiel der horizontalen Schnittebene - Links und Rechts zeigen den gleichen Punktwolken-Ausschnitt in verschiedenen Höhen. In der Mitte: Einstellungen für die horizontale Schnittebene im 3DWorx; Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 31: Screenshots aus 3DWorx während des Nachzeichnens der maßgeblichen Geometrien aus der 3D-Punktewolke, Quelle: eigenen Aufnahmen
Abbildung 32: horizontaler Schnitt durch eine Punktwolke samt gemappten Linien und Detailpunkten sowie die Liste der CAD-Typen (links); Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 33: Mapping-Assistent im GeoMapper samt vordefinierten Objekten, Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 34: Ergebnis Naturaufnahme inkl. Digitaler Katastermappe, Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 35: Fotos des Grundstücks sowie der Gebäude welches für das Fallbeispiel herangezogen wird, Quelle: Prof. DiplIng. W. GUGGENBERGER Ziviltechniker-GmbH
Abbildung 36: Luftbild des Aufnahmegebiets inkl. Grundstücksnummern, Quelle: NÖ Atlas (noe.gv.at) [Aufruf: 21.05.2021]
Abbildung 37: Netzbild samt Aufnahmestandpunkte des Tachymeters, Quelle: Prof. DiplIng. W. GUGGENBERGER Ziviltechniker-GmbH

85

Abbildung 38: Naturaufnahme als Ergebnis der tachymetrischen Vermessung; Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 39: Exportbericht aus REGISTER 360, Quelle: eigener Screenshot60
Abbildung 40: Übersicht samt Scanner-Standpunkte (rote Kreise), den Verbindungen dazwischen sowie den Messpunkten (graue Marker); Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 41: Zeigt oben das Ergebnis des Plans der tachymetrischen Aufnahme sowie unten den Plan erzeugt aus der Punktwolke/Laserscan, Quelle: eigene Aufnahmen
Abbildung 42 zeigt in Grau den Lageplan der tachymetrischen Aufnahme und in Blau das Ergebnis aus der 3D-Punktewolke übereinander, Quelle: eigene Aufnahme
Abbildung 43: Unterschied des Lageplans der tachymetrische Aufnahme (grau) und der Laserscanner Aufnahme (blau) samt Abweichungen; Quelle: eigenen Darstellung
Abbildung 44: Genauigkeitsvergleich der tachymetrischen Aufnahme (grau) und der 3D-Punktwolke (blau) von einer Mauer inkl. Bemaßung; Quelle: eigene Abbildung
Abbildung 45: Lage-Abweichungen (Pfeile) und Höhen-Abweichungen (grüne Kästchen) aus den beiden Aufnahmearten; Quelle: eigene Darstellung 68
Abbildung 46: Lagepläne von Tachymeter (grau) und Laserscanner (blau) samt Abweichungen (rote Kästchen), Quelle: eigene Abbildung
Abbildung 47: Darstellung sämtlicher Einflussfaktoren auf die Genauigkeit einer Laserscan-Aufnahme, Quelle: eigene Abbildung mit miro.com
Abbildung 48: Verhältnis von Außen- und Innendienst für die beiden Verfahren, Quelle: eigene Darstellung
Abbildung 49: RTC360 im Einsatz (Links), Rechts die aufgenommene Punktwolke der Umgebung, Quelle: eigene Aufnahme

11. Anhang

Anschluss an das Festpunktfeld

Punktbestimmung mittels GPS Positionierungsdienst: APOS Basisstation virtuell

2 - Stufen Datumstransformation

Stufe 1: 7-Parameter Transformation Helmert 3D

Globale Parameter:

Drehpunkt im alten System (X, Y, Z) (m)	0.000	0.000	0.000
Verschiebung (X, Y, Z) (m)	-577.326	-90.129	-463.919
Drehung (X, Y, Z) (cc)	15.86	4.55	16.35
Maßstab (ppm)	-2.4232		

Stufe 2: lokale Transformation Helmert 2d + 1d

Berechnete Parameter:

<u>Lage</u>		
Drehpunkt	-6938.350	304394.705
Verschiebung (Y, X) (m)	0.120	0.343
Drehung (cc)	12.70	
Maßstab (ppm)	-32.97	
<u>Höhe</u>		
Ebenen-Neigung (cc)	0.00	0.00
Verschiebung (m)	-0.139	
Mittlerer Fehler einer Koordinate	0.006	
Mittlerer Fehler eines Punktes	0.010	

Punkte	Code	X [m]	Y [m]	Z [m]					
		Y [m]	X [m]	H [m]	KI.2D[cm]	dy [cm]	dx [cm]	dh [cm]	
23408-39E1	F00	411486	55.318 11	198524.024	4708170.214 3 D	Zwangspun	kt 1 Alt		
23408-39E1	F00	-6961.180	304582.880 inklusive U	284.010 ndulation von		-0.2	-0.4	-0.4	Neu
23408-47G1	F00	411490	05.355 11	198812.334	4708061.058 3D	Zwangspun	kt 2 Alt		
23408-47G1	F00	-6695.790	304421.030	282.920 Indulation von	0.6	0.4	-0.4	0.6	Neu
23408-51C1	F00	411511	9.589 11	198316.883	4708005.179 2 D	Zwangspun	kt 3 Alt		
23408-51C1	F0	-7231.460	304334.450	(286.460 ndulation von) 0.4	-0.4	0.0	(-2.9)	Neu
23408-52C1	F00	411508	31.347 11	198688.112	4707941.962 3D	Zwangspun	kt 4 Alt		
23408-52C1	F00	-6864.490 i	304241.830 nklusive Undu	284.600		0.1	0.8	-0.2	Neu