



RIEGL VZ600i – Terrestrisches Laserscanning im Minutentakt

RIEGL VZ600i – Minute-by-Minute Terrestrial Laser Scanning

Nikolaus Studnicka, Horn

Kurzfassung

Verglichen mit anderen geodätischen Instrumenten sind Laserscanner erst seit relativ kurzer Zeit am Markt verfügbar. Und doch sind sie aus dem beruflichen Alltag vieler Vermessungsbüros kaum mehr wegzudenken. Ein erfahrener Vermessungsexperte einer großen österreichischen Baufirma meinte dazu vor kurzem: „*Der heutige Vermesser muss im täglichen Arbeitsalltag vier Messinstrumente beherrschen: eine Totalstation, einen GNSS-Empfänger, einen (terrestrischen) Laserscanner (TLS) und eine Fotodrohne.*“ Wie unterscheidet sich nun ein Laserscanner der ersten Generation (ab ca. 1998) von jener der vierten Generation (2022)? Zum einen haben sich die technischen Rahmenbedingungen geändert (von 11 kHz maximaler Messrate auf 2,2 MHz), Großprojekte werden in der Zwischenzeit anders geplant – Stichwort BIM (Building Information Modeling) – und das Laserscanning hat sich am Vermessungsmarkt breit durchgesetzt. Speziell im Bereich der Gebäudevermessung resultieren daraus von Anwenderseite her neue Anforderungen, denen ein Scanner der aktuellen Generation gerecht werden muss. Wie dem in der Praxis entsprochen werden kann, soll in diesem Bericht erläutert werden.

Schlüsselwörter: Terrestrischer Laserscanner, TLS, 3D Vermessung, BIM, AEC

Abstract

Compared to other geodetic instruments, laser scanners have only been available on the market for a relatively short time. And yet they are an indispensable part of the everyday work of many surveying offices. An experienced surveyor from a large Austrian construction company recently commented, “*Today’s surveyor needs to use four measuring instruments in his daily work: a total station, a GNSS receiver, a (terrestrial) laser scanner (TLS) and a photo drone.*” So how does a first-generation laser scanner (from around 1998) differ from those of the fourth generation (2022)? On the one hand, the technical framework conditions have changed (from 11 kHz maximum measurement rate to 2.2 MHz), major projects are planned differently in the meantime – keyword BIM (Building Information Modeling) – and laser scanning has gained acceptance in the surveying market. Especially in the field of building surveying, new user requirements have arisen that a scanner of the current generation must meet. This report will explain how these requirements can be met in practice.

Keywords: Terrestrial laser scanning, TLS, 3D surveying, BIM, AEC

1. Entwicklung der ersten terrestrischen Laserscanner

Als Mitarbeiter der RIEGL Laser Measurement Systems GmbH in Horn/Niederösterreich war der Autor bereits seit dem Jahr 1995 in die Entwicklung, den Einsatz und den Verkauf der ersten am Markt verfügbaren Laserscanner involviert. Bei den ersten Instrumenten stand die technische Machbarkeit im Vordergrund: Welcher Ablenkmechanismus ist effizient und zuverlässig? Wie viele Entfernungsmessungen können pro Sekunde mit den verfügbaren Laserquellen erreicht werden? Solche und ähnliche Fragen stellten sich damals dem Entwicklungsteam. Auch wenn bei der heutigen Entwicklung eines Laserscanners die bestmöglichen Geräteeigenschaften (und damit die Fähigkeiten der an der Entwicklung beteiligten Ingenieure) weiter im Vordergrund stehen, so darf das Wichtigste nicht aus dem Auge verloren

werden, nämlich der Anwender. Dieser erwartet heutzutage eine hohe Effizienz der Datenaufnahme bis hin zur Prozessierung, leichte und robuste Messgeräte, eine einfache Bedienbarkeit, einen hohen Automationsgrad – alles wichtige Eigenschaften für den täglichen Einsatz. Für ihn steht nicht das Messgerät im Vordergrund, sondern die Lösung einer Aufgabe: die zuverlässige und präzise, großflächige Vermessung von Objekten.

Um den technischen Fortschritt zu dokumentieren, werden im Folgenden auch verschiedene Musterprojekte vorgestellt, eines aus dem Jahr 2004, die anderen aus den Jahren 2022/2023.

1.1 Vermessung der Cheops-Pyramide, eines der ersten großen TLS-Projekte

Das Projekt „Scanning of the Pyramids“ wurde vom Österreichischen Archäologischen Institut Kairo und dem Wiener Institut für Archäologische

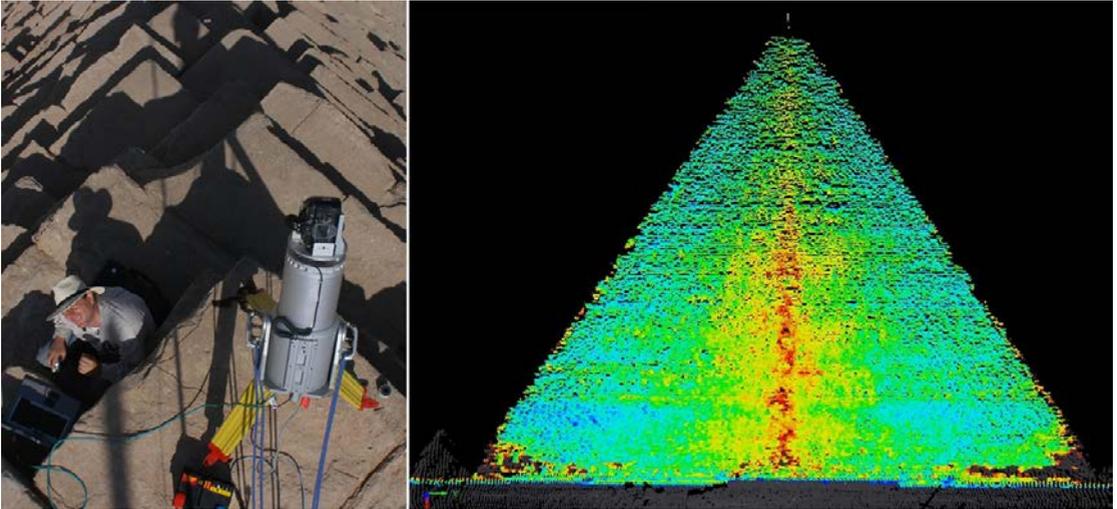


Abb. 1: links: RIEGL LMS-Z420 Laserscanner auf der Cheops-Pyramide, rechts die Scandaten aus dem Jahr 2004

Wissenschaften (VIAS) in Zusammenarbeit mit dem ägyptischen Obersten Rat für Altertümer ins Leben gerufen. Bereits im Jahr 2004 kam für die erste, mit einem Laserscanner durchgeführte Vermessung [1] der RIEGL LMSZ420 [2] Laserscanner mit einer aufgesetzten Nikon D100 Digitalkamera zum Einsatz. Eine Pulsrate von maximal 11.000 Entfernungsmessungen pro Sekunde, eine Scanrate von 20 Scans pro Sekunde, ein Messrauschen (oder Präzision) von 8 mm, eine Reichweite von 1000 Meter – das waren für die Anfänge der terrestrischen Scantechnologie Spitzenwerte. So konnte die Cheops-Pyramide selbst von acht Standpunkten aus und das gesamte Umfeld vom Plateau der Pyramidenspitze aus vermessen werden.

Es wäre heute undenkbar, einen Scanner mit einem Gewicht von 16 Kilogramm zu verwenden und auch noch einen Laptop und eine externe Stromquelle für die Bedienung desselbigen bereitstellen zu müssen. Insgesamt wurden an der Kante der Pyramide morgens einige zehn Kilogramm an Equipment hochgetragen, um nach einem Vermessungstag stolz die Aufnahme von vier hochauflösenden Scans vorweisen zu können. Trotzdem war dieser Tag bis heute der beeindruckendste Vermessungstag für den Autor.

Zur Entwicklung eines Laserscanners gehören Einsatztests, wenn möglich unter realen Bedingungen. Bereits zwei Mal (2005 und 2018) wurde der Stephansdom in Wien mit einem Laserscanner vermessen [3]. Die dabei geführten Diskussi-

onen und die andauernde Zusammenarbeit mit der Dombauhütte sind für beide Seiten wichtig und wertvoll.

1.2 Definition / Einteilung terrestrische Laserscanner

Ein terrestrischer Laserscanner ist ein präzises Messinstrument, das seine Umgebung mit einem Laser abtastet. Beim sogenannten Impulslaufzeit-Verfahren wird für einen 3D Datenpunkt die Laufzeit gemessen, die ein Laserimpuls benötigt, um vom Scanner zur Oberfläche eines Objekts und wieder zurück zu gelangen. Alternativ kann die Phasendifferenz ausgesendeter und reflektierter Lasersignale für die Entfernungsmessung verwendet werden. Das Impulslaufzeit-Verfahren hat gegenüber dem Phasenvergleichsverfahren vor allem Vorteile in der erzielbaren Reichweite. Der Laserstrahl wird dann meist mittels eines oder mehrerer Spiegel abgelenkt, um einen gewissen räumlichen Winkelbereich erfassen zu können. Die Summe der Messungen wird oft als Punktwolke bezeichnet und beschreibt die dreidimensionale Struktur der Umgebung.

Die Einteilung von Laserscannern ist vielfältig. Grob unterscheidet man statische von kinematischen Laserscannern. Der Vorteil der ersteren liegt durch ihre stabile Montage z.B. auf einem Dreibeinstativ auf der Hand: alle Messungen einer Scanposition sind relativ zueinander hoch präzise. Durch den Aufbau mit zwei unabhängigen (horizontalen und vertikalen) Ablenkmechanismen ist ein terrestrischer Laserscanner jedoch aufwändi-

ger herzustellen. Die Vorteile eines, während des Scannens bewegten Laserscanners liegen in der erhöhten Aufnahme­geschwindigkeit und im einfacheren Aufbau, da für die meist verwendeten Profils­cans nur eine Ablenkeinheit notwendig ist.

Laserscanner müssen häufig in Bereichen betrieben werden, wo sich auch Personen aufhalten. Deshalb wäre es wünschenswert, dass die Geräte der Laserklasse 1, also augensicher, zugeordnet werden können und somit ohne jede Einschränkung betrieben werden können. Die Wellenlänge von 1550 Nanometer ist dahingehend besonders attraktiv, weshalb sie in vielen Laserscannern verwendet wird.

Das Ergebnis eines Laserscanprojektes sind Messdaten, die sich in der Regel aus vielen Scanpositionen, Einzelscans, kalibrierten Fotos und diversen Zusatzinformationen zusammensetzen. Was am Ende eines Arbeitstages zählt, ist eine Punktwolke, deren Genauigkeit den Anforderungen des Kunden entspricht und nachweisbar ist. Die Genauigkeit hängt von verschiedenen Faktoren ab: von der Genauigkeit der einzelnen Entfernungs- und Winkelmessung, der Kalibrierung des Messinstrumentes bis hin zur Registriergenauigkeit, also der Genauigkeit der Zusammensetzung der Scanpositionen. Für Messreichweiten von wenigen Dezimetern bis zu Hunderten Metern ist eine Entfernungsmessgenauigkeit auf natürliche Zieloberflächen von wenigen Millimetern zu erzielen. Dieser Aufsatz soll sich hauptsächlich auf die Vermessung von Bauwerken beschränken. Heutzutage wird für die Vermessung, auch von großen Gebäuden und Baustellen, in der Regel eine Genauigkeit von höchstens 10 Millimeter Standardabweichung der Restklaffungen in Bezug auf eingemessene Festpunkte gefordert. Dies ist aktuell nur mit statischem 3D Laserscanning erreichbar.

2. Entwicklung des neuen RIEGL VZ600i Laserscanners

Im Jahr 2022 wurde anlässlich der Fachmesse Intergeo in Deutschland der terrestrische Laserscanner RIEGL VZ600i erstmals vorgestellt. Seine Entwicklung zu einem „State-of-the-Art“-Scanner soll im Folgenden ausgehend von den grundsätzlichen Überlegungen zu Beginn bis hin zu seinen resultierenden Leistungs- und Scandaten beschrieben werden.

Neben der Notwendigkeit der Gewichtsreduktion stand am Anfang seiner Entwicklung vor allem ein Wunsch der Anwender im Vordergrund:

eine möglichst große Steigerung der Effizienz des Messgerätes. Dafür sind eine schnelle und zuverlässige Messaufnahme und -auswertung Grundvoraussetzung.

2.1 Definition der Scangeschwindigkeit

Ein Laserscanner besteht grundsätzlich aus einem Entfernungsmesser und einer Ablenkeinheit für den Messstrahl. Die Parameter dieser beiden Systeme sind sorgfältig aufeinander abzustimmen. Im Laufe der letzten 20 Jahre hat RIEGL die Messgeschwindigkeit ihrer terrestrischen Laserscanner von 11 kHz auf 2,2 MHz Pulsrepetitionsrate (PRR), also um den Faktor 200, erhöht. Gleichzeitig konnte das Messrauschen – vor allem durch die digitale Abtastung der empfangenen Laserimpulse – je nach Oberflächenbeschaffenheit der Zieloberfläche auf 23 Millimeter gesenkt werden. Für eine homogene Auflösung der resultierenden Punktwolke ist es wichtig, dass der Laserstrahl hinreichend schnell abgelenkt wird. Mit einem 4-Facetten-Spiegelrad im RIEGL VZ600i Laserscanner ist es möglich geworden über 400 Linien pro Sekunde zu scannen. Eine so hohe Scanrate wäre mit einem einzelnen Ablenkspiegel, wie er bei sogenannten Überkopf-Laserscannern meist verwendet wird, nicht möglich.

Am Beginn der Entwicklung legte man sich auf eine PRR (Pulse Repetition Rate) von 2,2 MHz, auf eine Winkelauflösung für den Standardscan von 34 Milligrad (entspricht 6 mm Auflösung in 10 Meter Distanz) und auf ein 4-Facetten-Spiegelrad fest. Daraus ergeben sich folgende notwendige Scangeschwindigkeit und die resultierende Scanzeit pro Standardscan:

notwendige Scangeschwindigkeit =

$$= \frac{PRR \cdot \Delta\alpha \cdot 4}{360 \cdot 2} = \frac{2,2 \cdot 10^6 \cdot 34 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{360 \cdot 2} \cdot \frac{\text{Linien}}{\text{s}} = 416 \frac{\text{Linien}}{\text{s}}$$

Scanzeit/Scan =

$$= \frac{360^\circ}{\Delta\alpha \cdot \text{Scangeschwindigkeit}} = \frac{360}{34 \cdot 10^{-3} \cdot 416} \text{ s} = 25,5 \text{ s}$$

Scanlücken, die oberhalb des Scanners (wie die unterhalb des Dreibeinstativs) aufgrund der Tatsache entstehen, dass bei Verwendung eines Spiegelrades nicht vertikal nach oben gemessen werden kann, können durch mehrere Aufstellpositionen des Scanners lückenlos geschlossen werden (wie in Abbildung 2 erkennbar).

Mess- und Scanrate gemeinsam sind die wesentlichen Kennwerte für die Geschwindigkeit eines Laserscanners. Für den Anwender ist es wichtig, dass man mit einer möglichst hohen

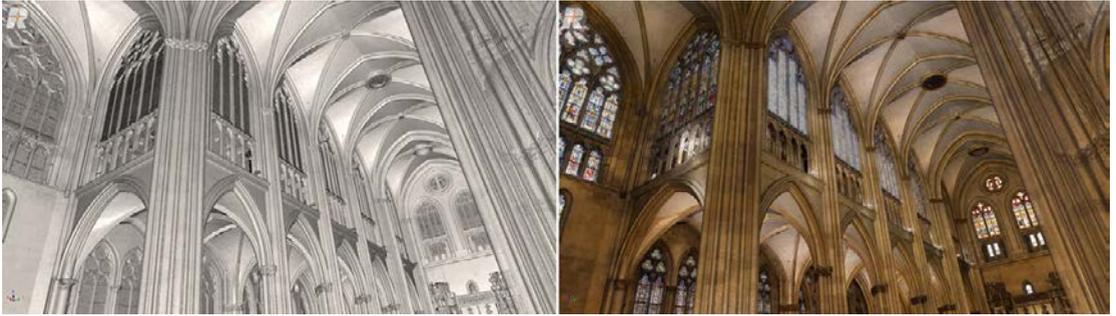


Abb. 2: links: Punktwolke nach Reflexionsgrad grau schattiert, rechts: eingefärbte Punktwolke

Laserscanner Modell	RIEGL VZ600i (2022)
Scangeschwindigkeit	60 Scanpositionen pro Stunde (2,2 MHz PRR, 400 Scans/Sek.) 30 Mio. Punkte/Scan 6 mm Punktauflösung in 10 m Distanz/Scan Scanmuster: „Panorama_6mm“ Fotoaufnahme inklusive Umstellen des Dreibeinstativs inklusive
3D Genauigkeit	3 mm @ 50 m, 5 mm @ 100 m
horizontaler Scanbereich vertikaler Scanbereich	360° 105° (–40° bis +65°)
Reichweite (2,2 MHz PRR)	0,5 – 220 m (90 % Reflexionsgrad) 0,5 – 100 m (20 % Reflexionsgrad)
Reichweite (140 kHz PRR)	1 – 1000 m (90 % Reflexionsgrad) 1 – 450 m (20 % Reflexionsgrad)
Gewicht	< 6 kg
Kameraoptionen	interne Kameras (mit KI unterstützter Gesichtserkennung), aufgesetzte Systemkamera (optional), aufgesetzte Panoramakamera (optional)
GNSS-Empfänger	intern (L1), optional aufgesetzter RIEGL RTK-GNSS Empfänger
Laserklasse	1 (augensicher)
Geräteschutzklasse	IP64, staub- und spritzwassergeschützt
Registrierung der Scanpositionen	während des Scanvorgangs in Echtzeit im Scanner und/oder mit RiSCAN PRO auf einem Laptop/PC

Tab. 1: Spezifikation eines RIEGL VZ600i Laserscanners [4]

Rate einen hochauflösenden Laserscan nach dem anderen aufnehmen kann. Beim VZ600i beträgt diese Rate etwa 1 Laserscan pro Minute, das Weiterstellen des Dreibeinstativs zur nächsten Scanposition bereits inkludiert. Jeder dieser präzisen Laserscans beinhaltet ca. 30 Millionen Einzelpunkte und weist eine Punktauflösung von 6 Millimeter in 10 Meter Distanz auf. Ein einfacher Tastenklick auf den Touch-Screen des Scanners startet die Aufnahme einer Scanposition. Das Bewegen des Scanners zum neuen Aufstellungsort bewirkt, dass das Gerät automatisch in die nächste Scanposition weiterschaltet.

Noch während des Scannens, also in der Drehbewegung des Scannerkopfes, können kalibrierte Fotos aufgenommen werden, entweder durch drei eingebaute 12 Megapixel Kameras, eine optional aufgesetzte Systemkamera (Modell Sony α 7R IV) oder eine optional aufgesetzte Panoramakamera (Modell RICOH Theta Z1). Die Fotos der Kameras ermöglichen das Einfärben der Punktwolke und das Generieren von Panoramafotos, die im Weiteren für die Generierung virtueller Rundgänge verwendet werden können. Die internen Kameras verfügen über eine spezielle Funktion: Eine durch KI (künstliche Intelligenz) unterstützte Ge-



Abb. 3: Der neue RIEGL VZ-600i Laserscanner im Einsatz

sichtserkennung und -verpixelung ermöglicht es, diese personenbezogenen Daten erst gar nicht zu speichern. Damit entspricht man Anforderungen diverser Datenschutzverordnungen.

2.2. Das automatische On-Board-Registrieren der Scanpositionen

Die extrem rasche Aufnahme einer einzelnen Scanposition war bereits vor über 20 Jahren beeindruckend. Das Zusammensetzen der Scanpositionen, das sogenannte Registrieren, hat anschließend jedoch viel Zeit bei der manuellen Nachverarbeitung in Anspruch genommen. Im Folgenden soll das moderne, extrem zeitsparende On-Board-Registrieren beschrieben werden.

Im Außenbereich werden standardmäßig etwa alle zehn Meter – im Inneren eines Gebäudes etwa alle fünf Meter – „Panorama_6mm“ Scans aufgenommen. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine zuverlässige und effiziente Vermessung auch von großen und weitläufigen Projekten in komplexen Umgebungen. Ein zusätzlich in RIEGL VZ600i Laserscanner verbauter Hochleistungsprozessor ermöglicht das automatische Registrieren der Scanpositionen, während schon wieder weitere Daten aufgenommen werden. Die Firmware des Scanners arbeitet ohne Einwirken des Benutzers einen mehrstufigen Registrierungsprozess automatisiert ab [5]. Der eingebaute GNSS-Empfänger (wahlweise mit Real Time Kinematik – RTK – Korrektur) oder die eingebaute IMU (Inertial

Measurement Unit) geben einen ersten groben Anhaltspunkt der „Pose“ (= Position & Orientierung) der letzten Scanposition in Bezug auf das Projektkoordinatensystem. Danach wird im zweiten Schritt ein reduzierter Datensatz der Scanpunktwolke (ein sogenannter Voxel-Datensatz) einer Fouriertransformation zugeführt. Hier macht sich der Algorithmus das Fourier-Rotationstheorem und den Fourier-Verschiebungssatz zu Nutze, damit man Position und Orientierung der letzten Scanner-Aufstellung in Bezug auf die bisher erfassten Daten zentimetergenau bestimmen kann. Im dritten und letzten Schritt erfolgt eine millimetergenaue Registrierung mittels eines abgeänderten ICP (Iterative Closest Point) Algorithmus. Dieser Workflow zeichnet sich durch eine nahezu 100%ige Erfolgsquote aus – sofern man genug Überlappungsbereiche zwischen den Scanpositionen sichergestellt hat. Sie funktioniert auch im Dunkeln, im Wald, bei bewegten Objekten oder in einer Tiefgarage bei immer wiederkehrenden Strukturen. Mittels der „Project Map“-App kann auf einem mobilen Gerät noch während der laufenden Datenaufnahme mitverfolgt werden, wie das Projekt Gestalt annimmt. Dort werden sowohl die registrierten Scanpositionen als auch eine ausgedünnte Punktwolke von oben dargestellt (siehe Abbildung 4 links).

Die Geschwindigkeiten des Scannens und die des Registrierens sind voneinander getrennt zu



Abb. 4: links: Project Map am mobilen Gerät während der Datenaufnahme, rechts: 60 Scanpositionen pro Stunde (eingefärbte Punktwolke nach der Prozessierung in der Bearbeitungssoftware RiSCAN PRO)

betrachten. Die neue Möglichkeit der On-Board Registrierung zieht jedoch neue Kundenbedürfnisse nach sich: Wenn die Registrierung der Scanpositionen automatisiert werden kann, so soll diese auch mindestens so schnell funktionieren wie man scannen kann – also ebenfalls im Minutentakt! Nur so kann der Fortschritt des Scanprojektes am mobilen Gerät verfolgt und kontrolliert werden. Bei Hunderten Scanpositionen pro Tag könnte man sonst leicht den Überblick verlieren. Sollte die Registrierung einmal abbrechen, kann an einer „Ankerposition“, also einer bereits registrierten Scanposition, jederzeit fortgesetzt werden.

Die Registrierung beschreibt die Ermittlung der sechs Freiheitsgrade der letzten Scanposition im Bezug auf die bereits zusammengesetzten Scan-Scans. Sie erfolgt zuverlässig bereits im Scanner. Die verbleibende Klaffung zwischen den Scans beträgt, abhängig von der Umgebung, nur wenige Millimeter bis Zentimeter über Hunderte Meter Projektgröße. Ein Blockausgleich über alle Scanpositionen findet in der anschließenden Datenauswertung auf einem Laptop/PC statt. Dieses sogenannte „Multi-Station Adjustment“ (MSA) kann dabei auch eingemessene Festpunkte mit höherer Gewichtung berücksichtigen. Ein ausführlicher (als PDF zur Verfügung gestellter) MSA Bericht beschreibt abschließend die erzielte Genauigkeit. Auch bei großen Gebäuden liegt die erreichbare Standardabweichung zu Festpunkten im Millimeterbereich. Der ebenfalls in RiSCAN PRO integrierte GeoSys-Manager ermöglicht die Verwendung von allen gängigen Koordinatensystemen – sofern dafür ein EPSG-Code (European Petroleum Survey Group Geodesy) existiert. So können zum Beispiel Festpunkte in diverse Koordinatensysteme importiert, oder die resultierende Punktwolke in das gewünschte Koordinatensystem exportiert werden.

Im Folgenden noch einige wichtige Aspekte, die das Arbeiten mit modernen *RIEGL* Laserscannern erleichtern und die Qualität und Interpretierbarkeit der gewonnenen Daten erhöhen:

- Jeder empfangene Laserimpuls wird digitalisiert und analysiert. Dies ermöglicht unter anderem die Ermittlung der sogenannten „Pulse Shape Deviation“. Sie beschreibt die Form des empfangenen Laserimpulses im Bezug auf die Form des gesendeten Laserimpulses. Dieser Parameter ermöglicht empfangene Impulse mit einer atypischen Form auszuscheiden. Bei eng zusammenliegenden Zielen (Gehsteigkanten,

Speichen von Fahrrädern, etc.) können so automatisiert Geisterpunkte eliminiert werden.

- Die Amplitude eines Laserimpulses ist von der Messreichweite abhängig. Je weiter das Ziel entfernt ist, desto geringer ist die Stärke des empfangenen Impulses. Bereits bei der Produktion des Laserscanners wird die sogenannte „Reflectance“ des rückgestreuten Impulses kalibriert, sie ist eine Eigenschaft der Zieloberfläche, ist entfernungsunabhängig und wird in Dezibel angegeben [6].
- Mehrere verfügbare PRR-Messprogramme können die Reichweite des Scanners erhöhen. So kann man mit dem *RIEGL* VZ600i Laserscanner und seinem 140 kHz-Messprogramm bis zu 1000 Meter entfernte Ziele vermessen.
- Auch wenn dadurch die großflächige Vermessung von Objekten verlangsamt wird, können jederzeit Detailscans mit höherer räumlicher Auflösung durchgeführt werden. Im Gegensatz dazu kann die Auflösung auch verringert werden. Für Panorama-Scans mit einer Punktauflösung von 5 cm in 10 Meter Distanz beträgt die Scanzeit beispielsweise nur 2 Sekunden.
- Kreisrunde Reflektorfolien können mit einem dafür entwickelten Reflektor-Messprogramm (mit angepasster Laserleistung) fein abgetastet und für das Ausmessen von Festpunkten verwendet werden.
- Optional können die Abtastwerte der einzelnen Laserimpulse aufgezeichnet und ausgegeben werden. Diese Funktion erlaubt die Analyse der einzelnen Entfernungsmessungen, benötigt jedoch viel Speicherplatz.
- Bei einer Impulsrate von 2,2 MHz beträgt der Eindeutigkeitsbereich der Entfernungsmessung etwa 68 Meter. Das bedeutet, dass zum Beispiel bei Messungen auf 200 Meter entfernte Ziele zu jedem Zeitpunkt drei Laserimpulse gleichzeitig zwischen Laserscanner und Ziel unterwegs sind. Die korrekte Zuordnung von Send- und Empfangsimpulsen wird als MTA (Multiple Time Around) Auflösung bezeichnet.

$$d_{\text{MTA}} = \frac{c}{2 \cdot f} = \frac{299792458 \text{ m/s}}{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^6 / \text{s}} = 68,1 \text{ m}$$

- Ein Laserscanner, der nach dem Impulszeitverfahren arbeitet, kann pro ausgesendeten Laserimpuls mehrere Empfangsimpulse auswerten. Diese Eigenschaft nennt man Mehrziel-fähigkeit. Sie ist beim Scannen durch Vegetation oder Nebel von großer Bedeutung.

- Wegen des hohen Automatisationsgrades des RIEGL VZ600i bietet sich die Integration mit Robotern an. Dafür wurde eigens ein ROS (Robot Operating System) Treiber entwickelt.
- Mit einer frei verfügbaren „RIEGL VZ-i Series“ App für mobile Geräte kann der RIEGL VZ600i sowohl lokal via WLAN, als auch weltweit über das Internet fernbedient werden. Außerdem können die aufgenommenen Scandaten über WLAN auf Server im Internet hochgeladen werden.
- Mit einer eigens entwickelten optionalen App am RIEGL VZ600i Laserscanner, kann dieser auch im kinematischen Modus – zum Beispiel auf einem Lastenfahrrad – betrieben werden. Dafür ist keine zusätzliche IMU, aber ein hinreichend guter RTK-GNSS Empfang notwendig.

3. Datenauswertung

An einem 8-stündigen Messtag können knapp 500 bereits registrierte Scans aufgenommen werden. Pro Scanposition kann man mit etwas mehr als einem halben Gigabyte Speicherbedarf rechnen, insgesamt fallen also etwa 250 Gigabyte pro Tag an. Die Daten werden geräte-intern sowohl auf einer SSD (Solid-State-Drive) Festplatte, als auch kontinuierlich auf eine steckbare „CF-express“ Karte gespeichert. Das scheint ein beeindruckend großer Speicherbedarf zu sein, die Handhabung und Speicherung solch großer Datenmengen ist heutzutage jedoch bereits gut ausgereift. Innerhalb von 24 Stunden sollte es möglich sein, die Daten eines Tagesprojekts zu einer homogenisierten, gefilterten und eingefärbten Punktwolke zu prozessieren.

Direkt nach Abschluss der Vermessung im Feld, steckt man die „CF-express“ Speicherkarte

in einen Laptop oder PC, auf dem mithilfe des sogenannten „One Touch Processing Wizards“ der Software RiSCAN PRO die Daten prozessiert werden. Dabei werden verschiedene Arbeitsschritte automatisch abgearbeitet: Datenfilterung, Optimierung der externen Kamerakalibrierung, Einfärben der Scandaten, simultaner Blockausgleich aller Scanpositionen, Entfernung bewegter Objekte und das Homogenisieren der Scandaten zu einer Gesamtpunktwolke. Die resultierende Auflösung der Punktwolke eines großen Gebäudes beträgt typischerweise 5 Millimeter und die Anzahl der Messpunkte mehrere hundert Millionen. Pro Scanprojekt sind tausend Scanpositionen relativ problemlos zu verarbeiten – ein Laptop mit zeitgemäßer Graphikkarte und SSD vorausgesetzt. Das Exportformat ist üblicherweise das LAS-Format (für eine Gesamtpunktwolke) oder das E57-Format (mit Detailinformationen der einzelnen Scanpositionen).

4. Projektbeispiele

Im Folgenden werden Scanprojekte mit Zusatzinformationen gezeigt. Sie sollen die Leistungsfähigkeit des RIEGL VZ600i Laserscanners aufzeigen. Die Daten werden mit Rücksicht auf die diversen Auftraggeber anonymisiert. Alle gezeigten Projekte wurden von einem einzelnen Operator mit einem RIEGL VZ600i Laserscanner durchgeführt. Es wurde immer das gleiche Scanmuster pro Scan verwendet: Panorama_6mm (360° x 105° Gesichtsfeld; 0,034° Winkelauflösung).

4.1 Bahnstrecken-Vermessung

In Deutschland wird großflächig an einer Digitalisierung der Bahnhöfe und der Bahnstrecken inklusive des lichten Raumes rund um die Gleise – also der gesamten Bahn-Infrastruktur – gearbeitet



Abb. 5: Punktwolke einer Bahnstrecke; die bewegten Ziele wurden automatisch eliminiert

[7]. Bei dieser Anwendung ist es wichtig, dass die Vermessung rasch und witterungsunabhängig durchgeführt werden kann. Oft sind Bahnstrecken auf beiden Seiten von Vegetation umgeben. Auch in diesen Fällen muss die Registrierung einwandfrei funktionieren.

Ort	Deutschland
Datum	29. Nov. 2022 (Regen, 3°C)
Zeit	07:57 – 15:33 (7:36)
Scanpositionen	380

In einem Testeinsatz wurden in 7,5 Stunden 380 Scanpositionen auf eine Gleislänge von 2,6 Kilometern aufgenommen. An diesem Tag herrschten Temperaturen knapp über dem Gefrierpunkt und Nieselregen. Ein Reflektor wurde an Mastbolzen neben der Strecke immer wieder angesteckt und fein-gescannt. Insgesamt wurden 29 Festpunkte im DB_REF / 3GK zone 3 (EPSG-Code: 5683) Koordinatensystem für den MSA verwendet, die Abweichungen (in kurzen Residuen) betragen:

	dX [m]	dY [m]	dZ [m]
Standardabweichung	0.0075	0.0043	0.0078

4.2 Vermessung historischer Stadtzentren

In einem kleinen Projekt in York (UK) wurde die Vermessung eines Stadtzentrums demonstriert. In etwas mehr als 2 Stunden konnten 149 Scanpositionen aufgenommen werden. Die besondere Herausforderung lag in der hohen Anzahl von Fußgängern. Diese wurden automatisiert – anschließend aber auch manuell – aus dem Datensatz entfernt. Es wurden keine Festpunkte verwendet. Ein Sony α 7R IV Fotoapparat kam als aufgesetzte Systemkamera zum Einsatz.

Ort	Vereinigtes Königreich
Datum	15. März 2023
Zeit	14:22 – 16:33 (2:11)
Scanpositionen	149



Abb. 6: Punktwolke des Stadtzentrums von York (UK)



Abb. 7: Detailansicht links: grauschattierte Punktwolke (Reflectance), rechts: eingefärbte Punktwolke



Abb. 8: Punktwolke einer Tunnelröhre

4.3 Tunnelvermessung

Auch gänzlich ohne GNSS-Empfang funktioniert die automatische Registrierung von linearen Objekten, wie in einem U-Bahn-Tunnel. Für diesen Spezialfall wurde die Anzahl und Größe der Voxel für die automatische Registrierung angepasst. In einer Stunde wurden 42 Scans aufgenommen.

Ort	Frankreich
Datum	13. April 2023
Zeit	9:30 – 10:32 (1:02)
Scanpositionen	42

Die Abweichungen der 13 Festpunkte (in kurzen Residuen) betragen:

	dX [m]	dY [m]	dZ [m]
Standardabweichung	0.0036	0.0031	0.0050

4.4 Gebäudevermessung

Das Bauen im Bestand wird immer wichtiger. Dafür ist die rasche und lückenlose Vermessung – auch in engen Räumen – wichtig. Im folgenden Beispiel wurden 186 Scanpositionen in drei Stunden aufgenommen. Für die Einfärbung der Scans wurden die Bilddaten der internen Kameras verwendet. Festpunkte wurden vorsorglich eingescannt, aber

mangels Vermessung mit einer Totalstation (noch) nicht in der Blockausgleichung (MSA) berücksichtigt.

Ort	Schwechat / Österreich
Datum	19. Juli 2023
Zeit	10:18 – 13:24 (3:06)
Anzahl der Scanpositionen	186

Die rasche und exakte Vermessung mittels Laserscanner wird auch bei großen Objekten wie einer Kathedrale erfolgreich eingesetzt. In einer zweitägigen Messkampagne wurden in 501 Scanpositionen der Innenraum, die unmittelbare Umgebung und das Innere des Daches aufgenommen.

Ort	Regensburg / Deutschland
Datum	20.–21. März 2023
Zeit	Mo. 11:11 – 17:12 (6:01) Di. 08:15 – 18:01 (9:46)
Anzahl der Scanpositionen	501

Zwischen dem ersten und dem zweiten Messtag wurden die Daten mit dem One-Touch Processing Wizard prozessiert (Abbildung 10). Am Morgen des zweiten Messtages konnte man die resultierende Punktwolke überprüfen (siehe Abbildungen 11 und 12).



Abb. 9: links: Schrägansicht der eingefärbten Punktwolke, Mitte: orthogonale Ansicht der Punktwolke in der Röntgenansicht, rechts: Foto des RIEGL VZ-600i Laserscanners

One-Touch Processing Wizard

1 Task selection
Select the tasks to be performed

Save settings... Load settings... Restore def...

<input type="checkbox"/>	Task 1: Convert Scans Convert raw RXP scan data into to RDB 2 database file format			
<input checked="" type="checkbox"/>	Task 2: Filter Scans Keep one echo per laser shot. Delete points with a Reflectance below -20.00 dB Delete ...	245 total, 245 succeeded	100% Finished: 4m 55s	⚙️
<input type="checkbox"/>	Task 3: Calculate Point Normals Calculate a per point normal vector for lighting calculations in the 3D view			⚙️
<input checked="" type="checkbox"/>	Task 4: Register Scan Positions Register Scan Positions with Automatic Registration 2	241 total, 241 already registered	100% Finished: 17s	
<input checked="" type="checkbox"/>	Task 5: Fine Adjust Project Adjust Scan Positions with Multi Station Adjustment 2	Succeeded	100% Finished: 1h 42m	
<input checked="" type="checkbox"/>	Task 6: Calibrate Camera Mounting Calibrate Camera Mounting by using data from first 3 Scan Positions	Succeeded	100% Finished: 20m	
<input checked="" type="checkbox"/>	Task 7: Colorize Scans from Photos Colorize Scans from Photos	245 total, 245 succeeded	100% Finished: 1h 5m	
<input checked="" type="checkbox"/>	Task 8: Mark Single Source Points Mark points that are scanned from one Scan Position only with the "Single Source Point..."	Single Source Points marked in 245 Point Clouds	100% Finished: 1h 42m	⚙️
<input type="checkbox"/>	Task 9: Mark Dynamic Objects Mark points caused by dynamic objects with the "Dynamic Object Point" Point Flag			⚙️
<input checked="" type="checkbox"/>	Task 10: Generate Octree based Point Clouds Generate combined point clouds with the following resolutions: 0.010 m). "Single Sourc...	Succeeded	100% Finished: 48m	⚙️

Abb. 10: One-Touch Processing Wizard der Software RiSCAN PRO

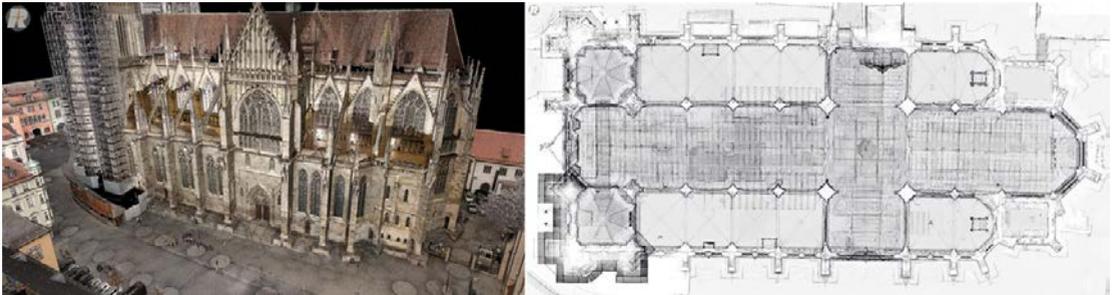


Abb. 11: links perspektivische Außenansicht, rechts orthogonale Röntgenansicht von oben

Abb. 12: Foto des RIEGL VZ-600i Laserscanners mit aufgesetzter Sony $\alpha 7R$ IV Systemkamera

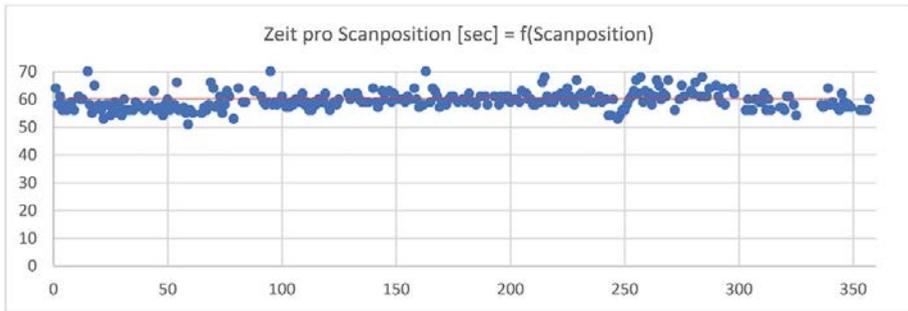


Abb. 13: Verweildauer an einer Scanposition, inkl. Umstellen des Dreibeinstativs

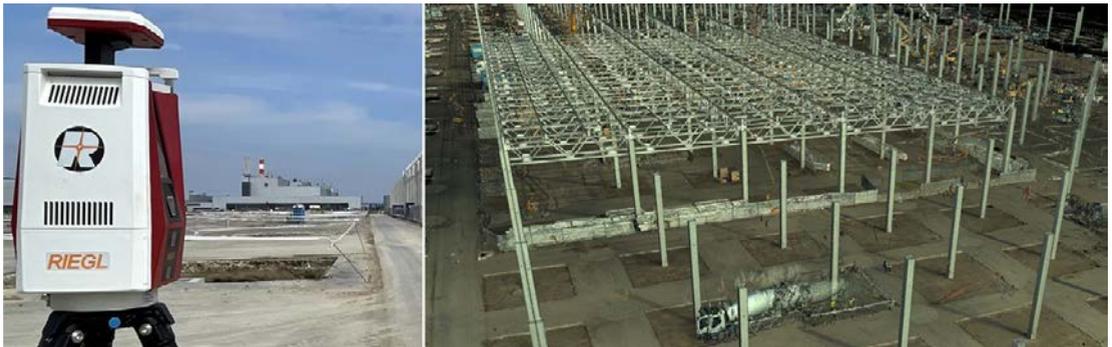


Abb. 14: links: Foto des RIEGL VZ-600i Laserscanners auf einer Baustelle, rechts: resultierende eingefärbte Punktwolke der Baustelle (5 mm Punktauflösung)

4.5 Baustellenvermessung

Der BIM-Prozess beginnt bei der Planung eines Bauwerkes und setzt sich anschließend auf der Baustelle fort. Insbesondere hier ist eine hohe Aufnahmegeschwindigkeit von exakten Messdaten und die gleichzeitige Registrierung der Scanpositionen wichtig. Im folgenden Beispiel wurden im laufendem Baustellenbetrieb an einem Tag 379 Scanpositionen aufgenommen. Die vermessene Fläche der Baustelle betrug ca. 150 m x 500 m (siehe Abbildung 14), insgesamt ist der Scanner mehr als 6 km bewegt worden. Die kurze Verweildauer des Laserscanners an einer Stelle von unter 60 Sekunden (siehe Abbildung 13) ist gerade für einen ungestörten Baustellenbetrieb essenziell.

Innerhalb von 24 Stunden wurde eine homogene und eingefärbte Punktwolke mit der durchschnittlichen Auflösung von 5 mm prozessiert. Dies ermöglichte der Baufirma in einem weiteren Prozessschritt einen Soll/Ist-Vergleich zwischen BIM Modell und den Messdaten. Gegenüber von eingemessenen Festpunkten konnte eine Standardabweichung der Restklaffungen von unter 10 mm gewährleistet werden. Für die Aufnahme der Farbinformation wurden die internen Kameras verwendet.

Datum	19. April 2023
Zeit	8:18 – 16:23 (mit Pausen)
Anzahl der Scanpositionen	379

5. Zusammenfassung

Zweifellos hat sich das Laserscanning in den letzten 20 Jahren dramatisch weiterentwickelt.

Die zunehmend rasante Entwicklung der BIM Technologie im Gebäude- und Baustellenbereich verlangt auch weiter nach immer umfangreicheren und genaueren Messdaten. Diese sollten möglichst unkompliziert und rasch erfasst und ausgewertet werden können.

Die Entwicklung des neuesten Modells der Firma RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, des RIEGL VZ600i Laserscanners, wurde vor allem von der Fragestellung getrieben, welche besondere Vorteile dem Anwender geboten werden können. Diese sind – neben geringem Gewicht und hoher Präzision – vor allem die hohen Scan-, Registrier- und Auswertegeschwindigkeiten.

Damit eröffnen sich dem Vermesser neue Möglichkeiten seine Aufträge zeit- und kosteneffizient abzuwickeln.

Referenzen

- [1] Neubauer W. (2005): „Combined High Resolution Laser Scanning and Photogrammetrical Documentation of the Pyramids at Giza“, 2005, XXth International Symposium CIPA, Torino 2005.
- [2] RIEGL, LMS Z-420 Datenblatt (2010): http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegl/downloads/10_DataSheet_Z420i_03-05-2010.pdf, letzter Zugriff 08/2023.
- [3] Zehetner F. (2020): „Vermessung des Wiener Stephansdoms mit einem Laserscanner“, Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, Heft 2/2020.
- [4] RIEGL, RIEGL VZ600i Datenblatt (2023): http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegl/downloads/RIEGL_VZ600i_Preliminary-Datasheet_2023-05-24.pdf, letzter Zugriff 08/2023.
- [5] Ullrich, A., Fürst, Ch. (2017): „Vollautomatischer Ansatz für die Onboard-Datenregistrierung im terrestrischen Laserscanning“ Beiträge zum 165. DVW-Seminar am 11. und 12. Dezember 2017 in Fulda.
- [6] Pfennigbauer M., Ullrich A. (2009): „The new RIEGL V-Line laser scanner's higher data quality using new measurement principles“, Conference on Optical 3D Measurement Techniques, July 2009.
- [7] „Digitale Schiene Deutschland“ (2023): <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/digitale-schiene>, letzter Zugriff 08/2023.

Anschrift des Autors

Dipl.-Ing. Nikolaus Studnicka, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, Riedenburgstr. 48, 3580 Horn.

E-Mail: nstudnicka@riegl.com

vgi



Besuchen Sie die OVG Facebook Seite!

- ➡ Ankündigung von Veranstaltungen
- ➡ Aktuelle Berichte
- ➡ Treffpunkt der Community (aktuell ~100 Abonnenten)
- ➡ Funktioniert auch ohne Facebook Account!

➡ www.facebook.com/OVGAustria ⬅



:: Be part of it! ::