

# Für welche Größe ist ein terrestrisches Scanprojekt besonders wirtschaftlich?

NIKOLAUS STUDNICKA<sup>1</sup>

*Zusammenfassung: Terrestrische Laserscanner haben sich in den letzten Jahren stark weiterentwickelt: sie werden immer kompakter, schneller und präziser. Heute sind Scanzeiten von nur einer Minute pro Position möglich. Der Aufsatz untersucht die Wirtschaftlichkeit eines Laserscanners in Abhängigkeit von der Projektgröße anhand des RIEGL VZ-600i Modells und beleuchtet seinen Einsatz in Infrastrukturplanung, Ingenieur- und Baudenkmalvermessung. Moderne Scanner liefern auch unter schwierigen Bedingungen präzise Daten. Zentrale Themen sind Wirtschaftlichkeit, Marktakzeptanz, technische Wettbewerbsfähigkeit und optimierte Arbeitsabläufe. Auch die Kombination mit Photogrammetrie durch Software wie RealityCapture wird thematisiert.*

## 1 Einleitung

Ein 3D-Laserscanner erfasst seine Umgebung von einer festen Position auf einem Stativ aus, indem er Lasersignale aussendet und die reflektierten Signale wieder empfängt. Diese treffen auf Oberflächen, werden reflektiert, und aus der gemessenen Laufzeit der empfangenen Signale werden präzise Entfernungen berechnet. Auf Basis dieser Daten erzeugt der Scanner dreidimensionale Koordinatenpunkte und erstellt daraus eine sogenannte dreidimensionale Punktwolke, die die Geometrie der Umgebung detailgetreu digital abbildet.

Moderne Laserscanner bieten eine Vielzahl von Funktionen und Einsatzmöglichkeiten und eignen sich daher für unterschiedlichste Vermessungsaufgaben. In den letzten Jahren hat sich die Anzahl an verfügbaren Gerätemodellen deutlich erhöht. Sie unterscheiden sich in zahlreichen Parametern, unter anderem durch:

- **Messprinzip:** Impulslaufzeit- oder Phasenvergleichsverfahren
- **Reichweite:** von wenigen Dezimetern bis zu mehreren Kilometern
- **Einsatzart:** stationär (statisch) oder mobil (kinematisch)
- **Genauigkeit:** von hochpräzisen Vermessungsgeräten bis zu einfachen Bewegungssensoren
- **Weitere Eigenschaften:** Preis, Gewicht, Schutzart (IP-Klasse, Ingress Protection Code), Laserklasse, Wellenlänge, Strahldivergenz, Scanrate, Strahlablenkung, Scanwinkelbereich u.v.m.

## 2 3D-Laserscanner

Für Laserscanner, die stationär auf einem Stativ betrieben werden, haben sich zwei Bezeichnungen etabliert: „3D-Laserscanner“ und „terrestrischer Laserscanner“. Ersterer hebt die Unterscheidung zu 2D- oder Profillaserscannern hervor und weist auf die Verwendung zweier voneinander unabhängiger Strahlableinheiten hin. Letzterer betont den stationären

---

<sup>1</sup> RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, Riedenburgstr. 48, A-3580 Horn,  
E-Mail: nstudnicka@riegl.com

Betrieb – meist auf einem Dreibeinstativ – im Gegensatz zu mobilen oder fahrzeuggestützten Systemen.

Dieser Aufsatz befasst sich mit einem bestimmten Modell eines “Survey-Grade” 3D-Laserscanners und dessen vielseitigen Einsatzmöglichkeiten – insbesondere in Bezug auf Anwendungen, bei denen er sich besonders wirtschaftlich und effizient einsetzen lässt. Zwar gibt es im Bereich der Laserscanner große Überschneidungen hinsichtlich der Einsatzbereiche, jedoch ist nicht jedes Gerät für jede Aufgabe gleichermaßen geeignet.

Im weiteren Verlauf wird der *RIEGL VZ-600i* vorgestellt – ein leistungsfähiger terrestrischer Laserscanner, der auf dem Impulslaufzeitverfahren basiert. Das Gerät bietet eine Standardreichweite von 0,5 bis ca. 200 Metern bei einer Messrate von 2,2 Millionen pro Sekunde. Durch Verringerung der Messrate kann die maximale Reichweite auf bis zu 1000 Meter gesteigert werden, sofern es sich um gut reflektierende Oberflächen wie Hausfassaden handelt.

Bevor der Einsatz des Instruments in der Praxis gezeigt wird, sollen zunächst seine zentralen technischen Eigenschaften und Funktionen vorgestellt werden. Im Anschluss wird anhand praktischer Beispiele erläutert, wie dieser moderne Laserscanner – die vierte Generation eines terrestrischen *RIEGL*-Scanners, erstmals präsentiert auf der Intergeo Messe 2023 – besonders kosteneffizient genutzt werden kann. Alle weiter unten gezeigten Scan-Daten wurden mit dem *VZ-600i* vom Autor aufgenommen.

## 2.1 Entwicklung und Leistungsfähigkeit terrestrischer Laserscanner

Die ersten kommerziellen terrestrischen Laserscanner (TLS) kamen um das Jahr 2000 auf den Markt. Seither haben sich die technischen Parameter dieser Systeme rasant weiterentwickelt: Während frühe Modelle wie der *RIEGL LMS-Z210* (*RIEGL* 2014) noch mit einer Messrate von 8 kHz arbeiteten, erreichen moderne Geräte heute Pulsrepetitionsraten (PRR) von über 2 MHz. Für ein gleichmäßig verteiltes Punktmuster in horizontaler und vertikaler Richtung sind dabei bereits mehr als 400 Scanlinien pro Sekunde erforderlich. Parallel dazu konnte das Rauschen der Entfernungsmessung von ursprünglich rund 25 mm auf unter 2 mm reduziert werden. Auch die Verarbeitungsgeschwindigkeit großer Punktwolken hat sich deutlich verbessert – dank moderner Softwarelösungen sowie leistungsstarker Laptops.

In den Anfangsjahren dominierte noch das Prinzip „Technologie sucht Anwendung“. Besonders die Archäologie erwies sich als ein frühes, prädestiniertes Einsatzfeld – etwa bei der Vermessung der Cheops-Pyramide (*NEUBAUER* 2005). Eine Anwendung hat sich über 20 Jahre konstant gehalten: das Scannen von Konvertern in Stahlwerken, um die Schamottwandstärke zu kontrollieren und so schwere Unfälle zu vermeiden.

Mittlerweile hat sich das Anwendungsspektrum terrestrischer Laserscanner – begünstigt durch mehrere entscheidende Entwicklungen – erheblich erweitert:

- **Technische Leistungsfähigkeit:** Moderne TLS-Systeme erfüllen die hohen Anforderungen der Ingenieurvermessung mit Messrauschen im Millimeterbereich und einer Projektgenauigkeit unter einem Zentimeter auch bei mehreren Hundert Scanpositionen.
- **Standardisiertes Punktmuster:** Ein Punktabstand von 6 mm in 10 m Entfernung gilt inzwischen als marktüblicher Standard.
- **Vereinfachte Bedienung:** Ein vollständiger Panoramascan lässt sich heute mit nur einem Tastendruck pro Scanposition auslösen.

- **Hohe Arbeitsgeschwindigkeit:** Eine komplette Scanposition – inklusive Stativumstellung, Fotodokumentation und GNSS-Messung – kann durchschnittlich in einer Minute abgeschlossen werden.
- **Automatisierte Registrierung:** Die früher aufwändige und manuelle Registrierung der Scans erfolgt heute weitgehend automatisiert, auch unter erschwerten Bedingungen wie windbedingter Bewegung von Vegetation, fehlenden Zielmarken, schlechter Beleuchtung oder fehlendem GNSS-Signal. Bei der VZ-i-Serie von *RIEGL* erfolgt die Registrierung direkt im Gerät – on-board, nahezu in Echtzeit und ebenfalls mit einer Rate von etwa einer Scanposition pro Minute – alternativ natürlich auch auf einem Computer.
- **Effiziente Nachbearbeitung:** Die Daten eines kompletten Vermessungstags – mit bis zu 500 Scanpositionen – lassen sich innerhalb von 24 Stunden vollständig verarbeiten: inklusive Filterung, Registrierung, Blockausgleich, Einfärben der Punktwolke, Panoramabild-Erzeugung und Export in gängige Formate wie E57 oder LAS. Besondere Aufmerksamkeit sollten dabei der Grafikkarte und der Speicherarchitektur (SSD) des genutzten Computers gelten. Anders als noch vor zwei Jahrzehnten steht heute eine breite Auswahl an leistungsfähiger Post-Processing-Software für unterschiedlichste Anwendungsbereiche zur Verfügung.

Der in diesem Beitrag eingesetzte, augensichere Laserscanner *RIEGL VZ-600i* (*RIEGL* 2025) ermöglicht die Erfassung von bis zu 60 hochauflösenden Scans pro Stunde und steht exemplarisch für den aktuellen Stand der Technik.

Tab. 1: Spezifikation (Auszug) eines *RIEGL VZ-600i* Laserscanners

Laserscanner Modell	Spezifikation	<i>RIEGL VZ-600i</i>
Scangeschwindigkeit:	60 Scanpositionen pro Stunde	
Standard Scanmuster:	2,2 MHz PRR, 420 Scanlinien/sec 6 mm Punktauflösung in 10 m Distanz	
3D-Genauigkeit	3 mm @ 50 m, 5 mm @ 100 m	
Scanbereich: horizontal x vertikal	360° x 105° (-40° bis +65°)	
Reichweite (2,2 MHz PRR)	0,5 - 220 m (90% Reflexionsgrad) 0,5 - 100 m (20% Reflexionsgrad)	
Gewicht	< 6 kg	
Kameraoptionen	interne Kameras, aufgesetzte Systemkamera (optional), aufgesetzte Panoramakamera (optional)	
GNSS-Empfänger	intern (L1), oder optionaler <i>RIEGL</i> RTK-GNSS Empfänger	
Laserklasse	1 (augensicher)	
Geräteschutzklasse	IP64, staub- und spritzwassergeschützt	
Registrierung der Scanpositionen	in Echtzeit im Scanner und/oder mit RiSCAN PRO am PC	

## 2.2 Statisch oder kinematisch?

Neben terrestrischen (statischen) Laserscannern haben sich auch zahlreiche kinematische Systeme erfolgreich am Markt etabliert. Beide Betriebsarten bieten spezifische Vor- und Nachteile:

- **Statische Laserscanner** erfassen jeweils eine einzelne Scanposition, während sie unbeweglich auf einem Dreibeinstativ montiert sind. Eine hohe Stabilität ist dabei unerlässlich – selbst geringfügige Bewegungen des Stativs (z.B. durch Einsinken oder Anstoßen) können zu Messfehlern führen. Bei korrekter Aufstellung kann eine erhöhte Geräteposition dabei helfen, größere Flächen zu erfassen. Im Außeneinsatz hat sich ein durchschnittlicher Abstand von ca. 10 m zwischen zwei Scanpositionen bewährt, was einen resultierenden Punktabstand einer homogenisierten Punktwolke von etwa 5 mm gewährleistet. Bei einer Scandauer von rund einer Minute pro Position ergibt sich eine effektive Scangeschwindigkeit von etwa 0,6 km/h entlang eines Korridors.
- **Kinematische Laserscanner** sind in der Regel einfacher aufgebaut und arbeiten kontinuierlich während der Bewegung – entweder durch eine tragende Person oder montiert auf mobilen Plattformen (Fahrrad, Auto, Boot, Roboter, etc). Dadurch lassen sich deutlich höhere Fortbewegungsgeschwindigkeiten erreichen. Die dreidimensionale Punktwolke wird dabei oft mit SLAM-Algorithmen (Simultaneous Localization and Mapping) berechnet, die sich inzwischen weit verbreitet etabliert haben. Allerdings ist das resultierende Punktmuster oft unregelmäßig, und zur Stabilisierung der Punktwolke ist, abhängig vom Messsystem, eine relativ hohe Anzahl präzise eingemessener Festpunkte erforderlich. Werden diese z.B. mit einer Totalstation bestimmt, kann sich der Geschwindigkeitsvorteil des kinematischen Verfahrens relativieren. Die Bandbreite von kinematischen Laserscannern ist groß: von kostengünstigen hangehaltenen Systemen – mit Laserscannern die vornehmlich für den automotiven Anwendungsbereich entwickelt wurden – bis hin zu aufwändigen Scansystemen, die für besonders große Scanprojekte, wie kilometerlange Straßen und Schienen, konzipiert wurden. Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen alle Systeme gegeneinander zu vergleichen.

Der hier betrachtete *RIEGL VZ-600i* vereint beide Ansätze und ermöglicht einen hybriden Betrieb: Im hoch präzisen „Stop-and-Go“-Modus werden klassische, statische Scans aufgezeichnet, die zusätzlich mit Festpunkten abgesichert werden können. Die proprietäre Software *RiSCAN PRO* bietet anschließend die Möglichkeit eines Blockausgleichs (Multistation Adjustment, MSA), mit dem die Gesamtgenauigkeit des Projekts erhöht und protokolliert wird.

Obwohl der *VZ-600i* – im Gegensatz zu einem Profilsystem – über zwei Ablenkeinheiten verfügt (eine schnelle Linienablenkung und eine langsamere Drehbewegung des Scankopfes), kann er alternativ auch kinematisch eingesetzt werden. Die Bewegung des Scanners kann entweder „personengetragen“ (z.B. in einem Rucksacksystem) oder auf mobilen Plattformen mit bis zu einer Geschwindigkeit von etwa 30 km/h erfolgen. Der integrierte Mehrfacetten-Polygonspiegel ermöglicht eine Laserstrahlablenkung von über 400 Linien pro Sekunde, bei einer typischen Rotationsgeschwindigkeit von einer Umdrehung alle 2–3 Sekunden. Für die kinematische Betriebsart ist keine zusätzliche, externe IMU (Inertial Measuring Unit, inertiales Messsystem) notwendig.

Wichtig ist die Verwendung einer GNSS-Antenne (Globales Navigationssatellitensystem), die RTK-Genauigkeiten (Real-Time Kinematic) von etwa 2 cm ermöglicht. Aus den GNSS-Daten kann eine Trajektorie berechnet und später mithilfe der Scandaten weiter optimiert werden (PÖPPL et al 2023). Daraus ergeben sich zwei wichtige Anforderungen für den kinematischen Betrieb:

- Dieses mobile VZ-600i Scansystem ist nur im Freien einsetzbar, da es auf guten GNSS-Empfang angewiesen ist.
- Der Scanner muss in aufrechter Position bewegt werden, um eine korrekte Montage und Funktion der GNSS-Antenne sicherzustellen.

In der weiteren Folge wird ausschließlich auf den statischen Einsatz des *RIEGL VZ-600i* eingegangen. Die konkreten Einsatzmöglichkeiten für den kinematischen Betrieb werden zur Zeit noch intensiv untersucht.

### 3 Einsatzgebiete für einen 3D-Laserscanner

Für den wirtschaftlich erfolgreichen Einsatz eines Laserscanners, der in der Lage ist, Massendaten zu erfassen, müssen mehrere Aspekte berücksichtigt werden – noch bevor konkrete Anwendungsfälle im Detail behandelt werden.

Der *RIEGL VZ-600i* basiert auf dem Impulslaufzeitverfahren, das sich durch große Reichweite und hohe Präzision auf schlecht reflektierenden Oberflächen auszeichnet. Auch reflektierende Materialien wie retro-reflektierende Folienmarker im Straßen- oder Tunnelbau lassen sich sehr gut erfassen.

Ein besonderes Merkmal ist das Waveform Processing (PFENNIGBAUER et al 2014): Der empfangene Echo-Impuls wird mit hoher Abtastrate digitalisiert, was eine detaillierte Analyse der Impulsform erlaubt. Die dabei gemessene "Deviation" (Abweichung der Form des ausgesendeten zum empfangenen Laserpuls) hilft dabei, Geisterpunkte zwischen zwei Zielen (z.B. zwischen Straße und Gehsteigkante) automatisch zu erkennen und zu eliminieren.

Zusätzlich erlaubt das Verfahren die Mehrzielfähigkeit, bei der mehrere Echos pro Impuls empfangen und verarbeitet werden – ein entscheidender Vorteil bei Messungen von und durch Vegetation.

Die Registrierung erfolgt mit einer speziellen Voxel-Technologie (ULLRICH & FÜRST 2017): Die Punktwolken werden in kompakte Voxel-Einheiten unterteilt und mittels Fourier-Transformation dreistufig (Rotation, Translation, Höhenanpassung) sowie abschließend per modifiziertem ICP-Verfahren (Iterative Closest Point) millimetergenau registriert. Die Voxelgröße wird je nach Einsatzumgebung angepasst (z.B. 5–50 cm Voxelkantenlänge für Innen- oder Außenszenen, mit oder ohne Bebauung).

Die Kombination eines Laserscanners mit einer Kamera ist bereits seit über 20 Jahren Stand der Technik. Die drei eingebauten Kameras können während der Drehbewegung eines Laserscans 36 kalibrierte Fotos aufnehmen, die zum Einfärben der Punktwolke und zur Berechnung eines hoch aufgelösten Panoramafotos herangezogen werden können. Schon bei der Aufnahme können mit diesen Kameras durch Anwendung von Deep Learning Algorithmen Gesichter und Nummerntafeln in den Fotos verpixelt werden. Alternativ kann eine Ricoh Theta Z1 Panoramakamera für HDR-Fotos in Innenräumen oder eine Sony ILX Systemkamera mit 61 MPixel Auflösung z.B. für Baudenkmäler auf den Scanner aufgesetzt werden.

Die Erstellung einer Gesamtpunktwolke sollte automatisiert und schnell erfolgen können – da man sonst immer mehr Daten zu prozessieren hat. Vom Rohdatenprodukt bis zur finalen Auswertung (z.B. 3D-Modell oder 2D-Plan) gibt es viele Optionen. Zahlreiche spezialisierte Punktwolken-Softwarelösungen stehen hierfür am Markt zur Verfügung.

Ein schneller, präziser 3D-Laserscanner ist in unzähligen Anwendungsfeldern einsetzbar: etwa in der Archäologie, Gebäudevermessung, Kathedralenvermessung, Industrieflächenprüfung,

Baustellenvermessung, Stadtmodellierung, Tunnelvermessung, Unfallaufnahme, Straßenvermessung, Brückeninspektion, Vegetationsanalyse, Gleisvermessung oder Geländemodellierung.

Die Genauigkeit eines Messgeräts sollte idealerweise durch den Vergleich mit extern gemessenen Festpunkten validiert werden, etwa mittels Totalstation oder GNSS-Empfänger. Diese Punkte sind nicht zwingend erforderlich für die Registrierung, bieten aber einen belastbaren Nachweis über die Projektgenauigkeit.

Nach erfolgreicher Registrierung kann eine Blockausgleichung über alle Scanpositionen durchgeführt werden. Die Festpunkte werden mithilfe des sogenannten Geosys-Managers (Zusatzprogramm zur RiSCAN PRO Software) eingelesen, wobei auch Koordinatentransformationen (EPSG-Code, Geoid) berücksichtigt werden. Die Verknüpfung der Totalstations-Koordinatenliste und der Passpunktliste des Laserscanners erfolgt automatisch – etwa über retroreflektierende Folien oder Schwarz/Weiß-Zieltafeln – und fließt mit hoher Gewichtung in die Ausgleichsrechnung ein.

Der resultierende und ausführliche MSA-Bericht (Multi Station Adjustment, Blockausgleich) enthält unter anderem eine tabellarische Darstellung der Standardabweichungen der Restklaffungen (Residuen) zwischen Totalstation und Scan – er ist ein essenzielles Werkzeug in Diskussionen mit Auftraggebern und Sachverständigen.

## **4 Beispiele guter Scanprojektthemen und -größen für einen 3D-Laserscanner**

Ein Operator kann mit dem *RIEGL* VZ-600i Laserscanner innerhalb eines achtstündigen Arbeitstags bis zu 500 Laserscans durchführen. Mit der mitgelieferten Software RiSCAN PRO lässt sich ein Projekt dieser Größenordnung innerhalb von 24 Stunden größtenteils automatisiert bearbeiten und eine bereinigte Punktwolke zur Weiterverarbeitung exportieren.

Erfahrungen zeigen jedoch, dass Projekte mit mehr als 1.000 Scanpositionen zunehmend unübersichtlich und schwerfällig werden. Daher empfiehlt es sich, sehr große Projekte so zu strukturieren, dass diese Grenze möglichst nicht überschritten wird. Die folgende Zusammenstellung konzentriert sich auf solche in sich abgeschlossenen „Tagesprojekte“.

### **4.1 Vermessung einer Brücke**

Am 4. Juli 2024 wurde die Buchbachtalbrücke an der Autobahn A7 innerhalb von drei Stunden vollständig erfasst (siehe Abb. 1). Dabei entstanden insgesamt 139 Scans, ergänzt durch die Einmessung von 13 Festpunkten. Die Reichweite des Laserscanners von 200 Metern im schnellsten Messprogramm von 2,2 MHz erwies sich als besonders vorteilhaft, da damit auch die großen Abstände zwischen den Brückenpfeilern problemlos überbrückt werden konnten. Die Standardabweichung der Restklaffungen zwischen Totalstation und Laserscanner lag zwischen 3,1 und 4,3 Millimetern. Für die gesamte Datenverarbeitung wurde eine Bearbeitungszeit von 4 Stunden und 55 Minuten dokumentiert. Die Definition des verwendeten Koordinatensystems (UTM Zone 32N) sowie der Import der Festpunktliste wurden im automatisierten „One Touch Processing Wizard“ Report nicht berücksichtigt. Die exportierten E57-Dateien enthalten zudem Panoramabilder der im Scanner integrierten Kameras mit einer Auflösung von bis zu 200 Megapixeln je Scanposition.

Der kritische Zustand zahlreicher Brücken in Europa ist hinlänglich bekannt. Immer wieder kommt es zu Brückeneinstürzen oder zur vollständigen Sperrung für den Verkehr. Hauptursache für diese Entwicklungen ist der in den letzten Jahrzehnten unerwartet stark angestiegene Schwerlastverkehr auf Europas Autobahnen. Viele der in den 1960er Jahren errichteten Brücken erreichen ihre ursprünglich geplante Lebensdauer nicht, da die damaligen Planungen weder das heutige Verkehrsaufkommen noch die erheblich gestiegenen Achslasten moderner LKWs berücksichtigen konnten. Zahlreiche sanierungsbedürftige Brücken werden daher aktuell mittels Laserscanning erfasst, um vorhandene Schäden präzise zu dokumentieren und eine strukturierte Rückbauplanung im Vorfeld eines Neubaus zu ermöglichen.



Abb. 1: Punktwolke einer gescannten Autobahnbrücke an der Autobahn A7 / Deutschland

## 4.2 Vermessung eines Baudenkmals

Am 3. und 4. Jänner 2024 wurde der Mariendom in Linz / Österreich mit 493 Scanposition auf verschiedenen Niveaus vermessen: im Freien um den Dom, im Inneren auf Straßenniveau, auf halber Höhe innen, im Dachboden und um das Dach herum. Die Aufnahmezeit hat am ersten Tag 7,5 Stunden und am zweiten Tag knapp 8 Stunden betragen. Für die Planung eines solchen Objekts muss man berücksichtigen, dass der Operator auf vielen engen Wegen den Scanner weiterbewegen muss. Als Standardabweichung der Restklaffungen bei 41 eingemessenen Festpunkten wurde über das gesamte Gebäude unter vier Millimeter im MSA Bericht ausgegeben. Anschließend wurde der Dom im Innenraum von einem dafür spezialisierten Vermessungsbüro in einer Woche mit 28.000 Fotos aufgenommen und aus Laserscan und Fotos ein vermaschtes Modell mit hochauflösender Textur prozessiert. Dies wurde in der Software RealityCapture von Epic Games (REALITY CAPTURE 2025) realisiert. Hier lassen sich sowohl die vom Scanner aufgenommenen Fotos, als auch frei aufgenommene Fotos mit den terrestrischen Scandaten automatisiert zusammenführen. Die Laserdaten liefern den geometrischen Maßstab, während Fotos Scanschatten ergänzen können.

Es ist zu bemerken, dass obwohl der Scanner vertikal „nur“  $+65^\circ$  nach oben und  $40^\circ$  nach unten scannt, trotzdem das gesamte Gewölbe lückenfrei erfasst worden ist, wie man in der folgenden Abbildung (Abb. 2) erkennen kann. Dies wird durch die vielen einander ergänzenden Scanpositionen erreicht.

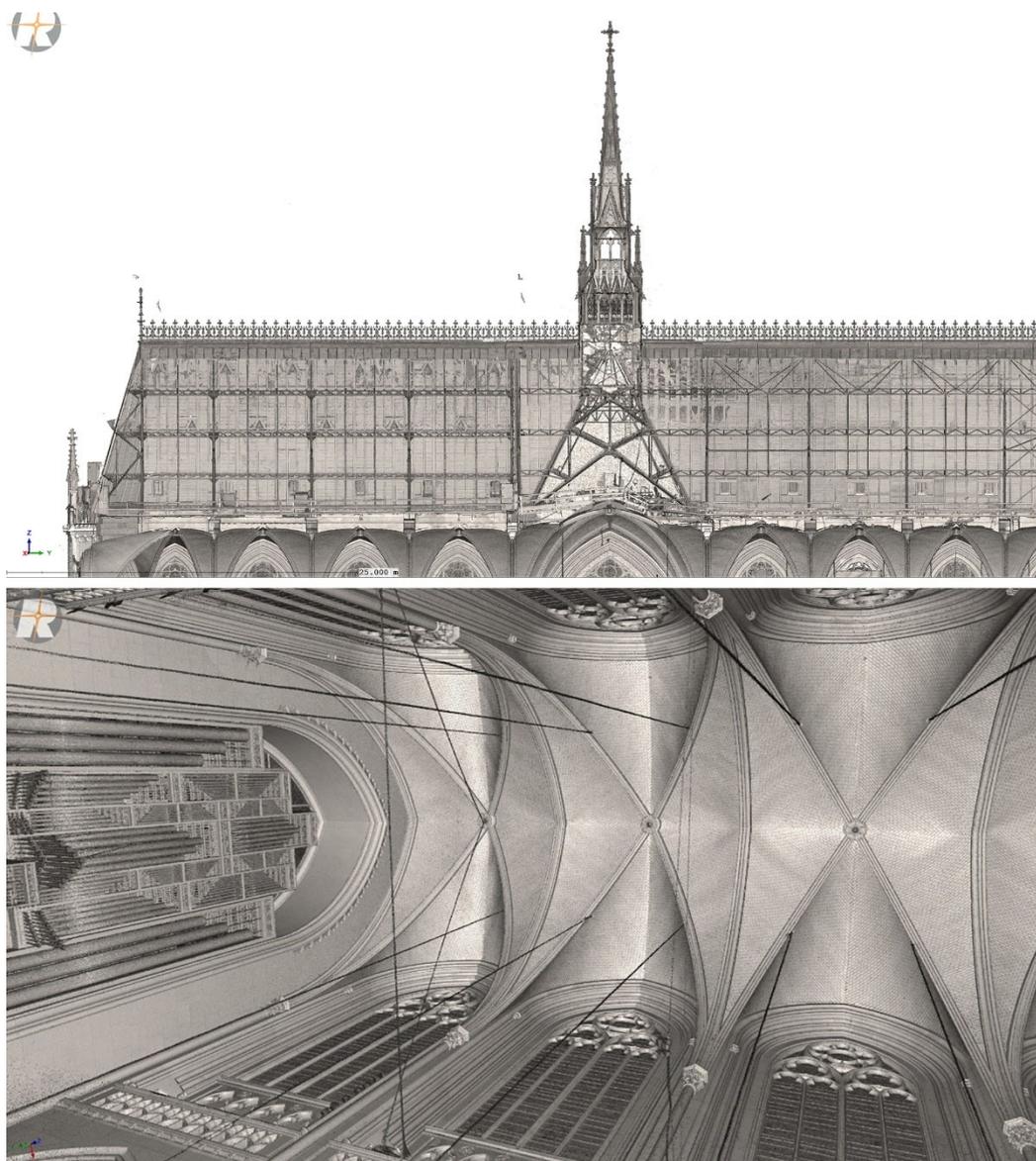


Abb. 2: Punktwolke aus einer *RIEGL VZ-600i* Vermessung des Mariendoms in Linz / Österreich

### 4.3 Vermessung einer Hochbau-Baustelle

Gemäß den Vorgaben der EU sind insbesondere Großbauprojekte unter Einsatz der BIM-Technologie (Building Information Modeling) zu planen und umzusetzen. Eine schnelle und präzise Vermessung von Baustellen gewinnt dabei zunehmend an Bedeutung, da aktuelle Punktwolken eine detaillierte Überwachung des aktuellen Baufortschritts ermöglichen.

Ein Beispiel hierfür ist die cloudbasierte Software Cintoo (CINTOO 2025), die geometrische Abweichungen zwischen dem geplanten IFC-Modell und einer aufgenommenen Punktwolke visuell als sogenannte Heat Map – also in Falschfarben – darstellt.

Am 19. April 2023 wurde eine Großbaustelle in einem Zeitraum von 8 Stunden und 5 Minuten mit insgesamt 379 Scanpositionen vollständig erfasst (siehe Abb. 3). Zu diesem Zeitpunkt war der Großteil der rund 500 Pfeiler – im Abstand von jeweils 14,5 Metern – bereits errichtet. Die Scans wurden systematisch jeweils zwischen vier Pfeilern positioniert. Eine besondere Herausforderung stellte der laufende Baustellenbetrieb dar, der keine längeren Standzeiten erlaubte. Insgesamt legte der Operator dabei über sechs Kilometer zu Fuß zurück.

Die daraus erzeugte homogenisierte Gesamtpunktwolke, mit einem mittleren Punktabstand von 10 mm, umfasste insgesamt 776 Millionen Punkte. An den Pfeilern wurden zusätzliche Festpunkte mit kleinen Reflektorfolien gesetzt und aufgrund erwarteter Setzungen regelmäßig mit der Totalstation neu vermessen. Im Verlauf des weiteren Bauprojekts trug dieses dichte Festpunktfeld wesentlich zur präzisen Georeferenzierung der begleitenden Laserscans bei. Die erfassten Scandaten wurden vor allem zur Kontrolle der technischen Gebäudeausstattung (TGA) sowie zur Ebenheitsprüfung der neu errichteten Industriebodenflächen herangezogen.



Abb. 3: Eingefärbte Punktwolke einer Baustelle, aufgenommen im laufenden Baustellenbetrieb

#### 4.4 Einsatz terrestrischer Laserscanner im Straßenbau

Terrestrische Laserscanner kommen nicht mehr nur im Hochbau, sondern zunehmend auch im Straßenbau zum Einsatz. Vor und nach Sanierungsarbeiten werden präzise Oberflächenmodelle der Straßenoberfläche erstellt. Diese 3D-Modelle dienen unter anderem zur „modellbasierten“ Abrechnung von Abtragsmengen, zur Prüfung der Ebenheit der Fahrbahnoberfläche sowie zur automatisierten Maschinensteuerung.

Im folgenden Projekt (siehe Abb. 4) wurde ein Abschnitt der Autobahn A1 an der Westeinfahrt nach Wien (Österreich) vermessen. Die Datenerfassung erfolgte während zweier Nächte, um den Einfluss des LKW-Verkehrs möglichst gering zu halten. Am 30. September 2023 wurden innerhalb von drei Stunden 157 Scanpositionen einer abgetragenen Betonoberfläche erfasst. Eine zweite Messkampagne folgte am 16. Oktober 2023 mit weiteren 104 Scanpositionen – zu diesem Zeitpunkt war der Rückbau auf einer Länge von über drei Kilometern abgeschlossen. Zur Georeferenzierung wurden entlang der Strecke zirka alle 100 Meter Reflektoren an den Leitschienen angebracht. Zusätzlich verdichteten durch Vermessungsnägel markierte Bodenpunkte das Festpunktfeld. Insgesamt kamen 32 Festpunkte im Koordinatensystem MGI / Austria Gauß-Krüger / Zone Ost 3 (EPSG-Code: 31256) zum Einsatz. Nach dem Blockausgleich in RiSCAN PRO betrug die Standardabweichung der Restklaffungen lediglich 5 bis 6 Millimeter.

Das erstellte Oberflächenmodell diente als Grundlage für eine modellbasierte Abrechnung. Im Vergleich zur traditionellen profilbasierten Methode bietet dieses Verfahren eine deutlich schnellere Vermessung vor Ort sowie eine flächenhafte Erfassung des gesamten Bauabschnitts

anstelle einzelner Profilquerschnitte. Im Rahmen eines Pilotprojekts setzte das Bauunternehmen erstmals die innovative Technologie des 3D-Asphalteinbaus ein. Sowohl eine 3D-gesteuerte Asphaltfräse als auch ein 3D-Asphaltfertiger kamen zum Einsatz und verarbeiteten intelligent ausgedünnte Geländemodelle (STUDNICKA & ZURL 2025).

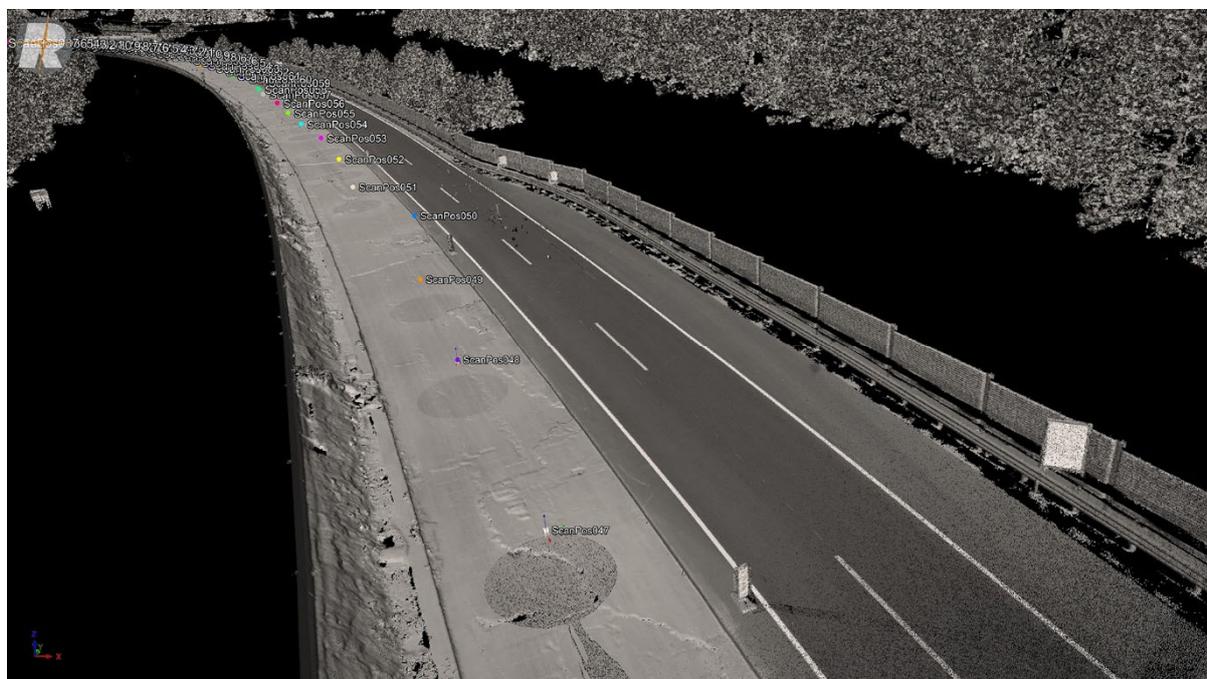


Abb. 4: Punktwolke einer Autobahnbaustelle. Bewegte Fahrzeuge wurden automatisiert aus der Punktwolke entfernt.

#### 4.5 Digitalisierung von Schieneninfrastruktur

Das derzeit größte BIM-Projekt (Building Information Modeling) Mitteleuropas wird von der Deutschen Bahn im Rahmen der Digitalen Schiene Deutschland (DIGITALE SCHIENE 2025) umgesetzt. Ziel des Vorhabens ist die umfassende Digitalisierung der Schienen- und Bahninfrastruktur. Ein zentraler Bestandteil ist die Erstellung hochdetaillierter BIM-Modelle um Planung, Bau und Betrieb effizienter, transparenter und vollständig digital abzubilden. Die modellbasierte Arbeitsweise ermöglicht eine präzise Projektkoordination, optimierte Bauabläufe und eine vorausschauende Instandhaltungsplanung.

Ein konkretes Beispiel ist die Vermessung einer 2,60 km langen Gleisstrecke bei Rodenkirchen (Deutschland), die am 29. November 2022 durchgeführt wurde. Innerhalb von 7,5 Stunden wurden insgesamt 380 Laserscans aufgenommen – trotz widriger Wetterbedingungen mit Nieselregen und Temperaturen um 3°C. Die zuverlässige Durchführung wurde unter anderem durch die Schutzklasse IP64 (staub- und spritzwassergeschützt) des eingesetzten Laserscanners *RIEGL VZ-600i* ermöglicht.

Zur exakten Georeferenzierung wurden biaxiale retroreflektierende Zielmarken auf die Mastbolzen aufgesetzt und hochauflösend gescannt. Als Koordinatensystem kam das DB REF / Gauß-Krüger Zone 3 (EPSG-Code 5683) zum Einsatz. Messpunkte bewegter Objekte, wie etwa des Sicherungspersonals, wurden automatisiert aus den Scandaten entfernt. Dazu wurde im „One Touch Processing Wizard“ von RiSCAN PRO eine homogenisierte Gesamtpunktwolke erstellt (siehe Abb. 5) und in 10 cm große Voxel unterteilt. Enthielt ein Voxel (Quader) Punkte aus nur einer einzigen Scanposition, wurden alle Messpunkte dieses

Voxels verworfen – durch die hohe Überlappung der Scans war eine lückenlose Erfassung aller umgebenden Objekten dennoch gewährleistet.

Dank der integrierten RTK-GNSS-Antenne konnte jede Scanposition bereits während der Aufnahme ausreichend genau georeferenziert werden. Im nachfolgenden Bild ist erkennbar, dass selbst der Fahrleitungsdraht vollständig erfasst wurde.



Abb. 5: Punktwolke einer 2,6 km langen Gleisstrecke

## 5 Fazit & Ausblick

3D-Laserscanner sind heute ein unverzichtbares Werkzeug für Vermesser und alle, die professionell Vermessungsarbeiten durchführen. Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig, die Bedienung relativ einfach, trotzdem ist eine sorgfältige Planung der Projekte im Vorfeld unerlässlich. Für kleinere Vermessungsaufgaben, wie etwa die eines Einfamilienhauses, könnte der Einsatz eines solchen Geräts aufgrund der Kosten möglicherweise nicht gerechtfertigt sein. Ebenso sind Projekte mit Tausenden von Scanpositionen aufgrund der begrenzten Verarbeitungsleistung der verfügbaren Hardware wenig empfehlenswert. Hier eignen sich dann doch wesentlich teure mobile Laserscansysteme (auch Mobile Mapping Systeme genannt) auf Autos montiert, die zum Beispiel viele Kilometer Autobahn mit einer Fahrgeschwindigkeit von 80-100 km/h vermessen können. Die wahre Profitabilität eines 3D-Laserscanners zeigt sich offensichtlich in der "goldenen Mitte" – bei Projekten mit mehreren Hundert Scanpositionen, hier kann sich die Investition schnell amortisieren.

Die oben dargestellten Beispiele belegen, dass diese relativ junge Technologie bereits ausgereift ist und die oft mühsamen Vermessungsarbeiten im Außeneinsatz erheblich erleichtern kann. Dank der hohen Aufnahme- und Auswertungsleistung sowie der präzisen Messgenauigkeit ist der 3D-Laserscanner bestens für die Anforderungen täglicher Projekte geeignet.

Die Datenaufnahme mit einem 3D-Laserscanner ist mittlerweile also weitgehend optimiert. Die integrierten oder aufgesetzten Kameras bieten jedoch noch Potenzial für weitere Verbesserungen, wie etwa höhere Auflösung, höhere Empfindlichkeit, HDR-Fotos (High Dynamic Range Images) oder den Einsatz von Künstlicher Intelligenz zur Erkennung von störenden Spiegelungen durch Glasflächen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die zunehmende Bedeutung der öffentlichen Verfügbarkeit von Scandaten. Ähnlich wie bei tagesaktuellen Satellitendaten könnte es in Zukunft möglich

werden, auch aktuelle Scans der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Es wäre beispielsweise wünschenswert, eine umfangreiche Datenbank mit Scandaten von UNESCO-Weltkulturerbestätten zu schaffen – insbesondere vor dem Hintergrund tragischer Ereignisse wie dem Brand der Notre-Dame in Paris.

In den letzten Jahren werden Messgeräte zunehmend mobiler. Parallel steigt der Bedarf an aktuellen Messdaten mit immer kürzeren Aktualisierungszeiten. Dabei sollte jedoch darauf geachtet werden, dass Präzision und nachweisbare Genauigkeit nicht beeinträchtigt werden. Gleichzeitig wird sich zeigen, für welche Anwendungen kinematische Vermessungen ausreichend sind. In den kommenden Jahre werden Laserscanner sicher zunehmend in unser tägliches Leben integriert werden. Sogar Smartphones verfügen inzwischen über LiDAR-Sensoren (Light Detection and Ranging), was vor wenigen Jahren noch undenkbar gewesen wäre.

## 6 Literaturverzeichnis

- CINTOO, 2025: Cintoo, BIM Edition. <https://cintoo.com/de/aec-bim>, letzter Zugriff 10.04.25.
- DIGITALE SCHIENE, 2025: Website der Deutschen Bahn AG. <https://digitale-schiene-deutschland.de>, letzter Zugriff 10.04.25.
- NEUBAUER, W., 2005: Combined High Resolution Laser Scanning and Photogrammetrical Documentation of the Pyramids at Giza. XXth International Symposium CIPA 2005 - International Cooperation to save the World's Cultural Heritage, Torino, Italy, 26 Sept.-1 Oct., 470-475. <https://www.cipaheritagedocumentation.org/wp-content/uploads/2018/12/Neubauer-e.a.-Combined-high-resolution-laser-scanning-and-photogrammetrical-documentation-of-the-pyramids-at-Giza.pdf>, letzter Zugriff 22.04.25.
- PFENNIGBAUER, M., WOLF, C., WEINKOPF, J. & ULLRICH, A., 2014: Online waveform processing for demanding target situations. Proc. SPIE 9080, Laser Radar Technology and Applications XIX; and Atmospheric Propagation XI, 90800J. <https://doi.org/10.1117/12.2052994>.
- PÖPPL, F., PFENNIGBAUER, M., ULLRICH, A. & PFEIFER, N., 2023: Trajectory estimation with GNSS, IMU and LiDAR for terrestrial/kinematic laser scanning. In G. W. Kamerman, L. A. Magruder, & M. D. Turner (Eds.), Laser Radar Technology and Applications XXVIII. SPIE. <https://doi.org/10.34726/4662>.
- REALITY CAPTURE, 2025: Website von Epic Games, Inc. <https://www.capturingreality.com/>, letzter Zugriff 10.04.25.
- RIEGL, 2025: Datenblatt RIEGL VZ-600i 3D terrestrischer Laserscanner. [http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxriegldownloads/RIEGL\\_VZ-600i\\_Datasheet\\_2025-01-24.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegldownloads/RIEGL_VZ-600i_Datasheet_2025-01-24.pdf), letzter Zugriff 10.04.25.
- RIEGL, 2014: Datenblatt RIEGL LMS-Z210ii-S Laser Scanner. [http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxriegldownloads/10\\_DataSheet\\_LMS-Z210ii-S\\_07-06-2010.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegldownloads/10_DataSheet_LMS-Z210ii-S_07-06-2010.pdf), letzter Zugriff 10.04.25.
- STUDNICKA, N. & ZURL, J., 2025: Generalsanierung eines Autobahnabschnitts mit durchgängig begleitender Vermessung mittels Laserscanning. Allgemeine Vermessungsnachrichten. VDE Verlag GmbH, 1-2/2025, 40-50.
- ULLRICH, A. & FÜRST, CH., 2017: Vollautomatischer Ansatz für die Onboard-Datenregistrierung im terrestrischen Laserscanning. Beiträge zum 165. DVW-Seminar Fulda 2017. Wißner, Augsburg.