

# LiDAR-Technologie liefert hochgenaue Grunddaten für digitale Zwillinge

Modernste LiDAR-Technologie ermöglicht durch die Kombination von terrestrischem Laserscanner und Robotiksystem eine automatisierte 3D-Vermessung im Bahnbereich.

**BERNHARD GROISS**

**Digitale Zwillinge sind heute auch im Bahnbereich die Grundlage für die unterschiedlichsten Anwendungen. Hochgenaue Grunddaten für solche digitalen Zwillinge werden durch den Einsatz modernster LiDAR-Technologie (Light Detection and Ranging) bereitgestellt. Nun ermöglicht die Kombination eines terrestrischen Laserscanners mit einem Robotiksystem Abläufe der Datenaufnahme zu automatisieren, was diese effizienter und kalkulierbarer macht und so nicht nur bei geringem Zeit- und Personalaufwand hochgenaue Mess- und Bilddaten entlang der Strecke liefert, sondern auch die Sicherheit für das Messteam erhöht.**

## LiDAR-Technologie

Seit mehr als 40 Jahren fertigt die österreichische Fa. Rieggl Laser Measurement Systems (Rieggl) LiDAR-Sensoren und -Systeme für den kommerziellen Einsatz.

Die konsequent eingesetzte Digitalisierung der LiDAR-Signale („smart waveforms“) ermög-

licht Uneindeutigkeiten bei der Zuordnung von Messungen aufzulösen, Mehrfachziele pro Laserschuss zu detektieren, eine optimale Verteilung der Messpunkte zu erzielen sowie die Ausgabe von kalibrierten Amplituden und Reflektivitätswerten. Dies lässt Rückschlüsse auf das vermessene Material zu. Die ausgereifte Technik ist auch die Basis für eine nahtlose Integration und Kalibrierung von Systemen.

Das umfangreiche Produktportfolio deckt ein breites Spektrum an Leistungsmerkmalen für die unterschiedlichsten Bereiche im Vermessungswesen ab. Kontinuierliche „Innovation in 3D“ ermöglicht ein Angebot, das den Anforderungen des sich entwickelnden Marktes immer wieder aufs Neue gerecht wird. Die Sensoren finden sich in den Kategorien Terrestrische-, Mobile-, UAV-, Airborne- und Industrie-Scanningssysteme wieder, wobei auch grob zwischen kinematischen und statischen Anwendungen unterschieden wird.

Mobile Laserscanning-Systeme werden beispielsweise auf Autos eingesetzt, um Straßen weiträumig zu vermessen. UAV-basierte Systeme finden auf den mittlerweile sehr beliebten Multikoptern, aber auch den neuen VTOL-Drohnen (Vertical Takeoff and Landing) ihren Einsatz, um von geringer bis mittlerer Flughö-

he großflächige Messkampagnen durchzuführen. Airborne-Systeme werden größtenteils auf Flugzeugen, aber auch auf Helikoptern eingesetzt, um ganze Landschaften, Berge, Täler oder Städte zu erfassen. Terrestrisches oder statisches Laserscanning wird vor allem von einem Stativ aus durchgeführt, um kleinräumige Projekte abzuwickeln, es liefert aber im Vergleich zu den zuvor genannten, kinematischen Lösungen wesentlich detailliertere Ergebnisse. Eines haben diese Sensoren gemein – sie alle können innerhalb sehr kurzer Zeit Millionen von Messungen der Umgebung durchführen. Indem die Lage jedes einzelnen Messpunktes eindeutig durch Koordinaten definiert wird, entstehen sogenannte 3D-Punktwolken. Der verwendete Einsatzbereich und die Methodik bestimmen im Allgemeinen die Genauigkeit der Messungen.

Seit einigen Jahren finden LiDAR-Sensoren auch im Gleisbaubereich Anwendung. Hier kommen die Systeme bei der Integration auf vorhandenen Messwägen (mobiles Laserscanning) zum Einsatz, um während der Fahrt den gesamten Lichtraum zu erfassen. Sie liefern aber auch hochgenaue Daten einzelner Bereiche bei der klassischen Vermessung vom Stativ aus (terrestrisches Laserscanning). Terrestrisches Laserscanning war in der Vergangenheit, gemessen an der aufgenommenen Fläche und den Möglichkeiten, mit der Menge an Daten umgehen zu können, mit einem vergleichsweise hohen Aufwand verbunden. Die Kosten-Nutzen-Rechnung sprach damit zum Teil gegen die Verwendung von terrestrischen Laserscannern. Die Einführung von automatischen Registrierungsmethoden, um Scans aus unterschiedlichen Positionen zueinander auszurichten, hohe Scangeschwindigkeiten und effiziente Prozessierungsmethoden lassen die bisherigen Betrachtungen aber in einem neuen Licht erscheinen.

## Eine ideale Kombination

Diese Modernisierung, aber auch stetige Weiterentwicklungen im Bereich von Automatisierungen und Robotikanwendungen eröffnen insgesamt neue Möglichkeiten. Auf diesen basierend, wurde von Rieggl ein spezielles Robotic Rail Laserscanning System, das VMR (Abb. 1), entwickelt.

Bei diesem System treffen zwei Welten aufeinander. Ein terrestrischer Laserscanner vermisst extrem schnell und hochgenau die



**Abb. 1:** VMR-Vermessung im Automatikbetrieb

Quelle Abb. 1-3: Rieggl LMS GmbH

Umgebung, während die VMR-Plattform in benutzerdefinierten Abläufen den Scanner automatisiert an die gewünschten Messpositionen transportiert. Zusätzlich können von dieser Plattform noch weitere Sensoren angesteuert werden. Das System erlaubt somit auch kundenspezifische Integrationen und Erweiterungen und damit eine optimale Anpassung an die jeweiligen Anforderungen.

**VZ-i-Serie: Terrestrische Laserscanner**

Die aktuellen terrestrischen Laserscanner der VZ-i-Serie (VZ-400i, VZ-2000i und VZ-600i) sind in der Lage, während des Scanvorgangs diverse Hintergrundprozesse auszuführen. Für einzelne Scans hat sich eine Punktauflösung von 6 mm auf ein Ziel in 10 m Entfernung etabliert, um einerseits eine hohe Punktdichte und andererseits die erforderliche Geschwindigkeit zu gewährleisten. So ist es innerhalb einer Minute möglich, einen horizontalen 360°-Scan mit 100° vertikalem Field of View (FOV) durchzuführen, dabei deutlich mehr als 10 Mio. Messpunkte zu erhalten und den Scanner auch noch zur nächsten Scanposition zu bewegen. Die Reichweite beträgt vom jeweiligen Standpunkt aus weit über 100 m. Die Abstände der einzelnen Scanpositionen zueinander sind typischerweise 10 m. Mit diesem „Standard-setting“ kann ein robustes Resultat erwartet werden, das die entscheidenden Messkriterien erfüllt: hohe Genauigkeit, Minimierung von sogenannten Scanschatten und auch eine vollautomatische Registrierung der einzelnen Scanpositionen.

**Automatische Registrierung von Scanpositionen**

Ein Scanprojekt besteht in den allermeisten Fällen aus vielen unterschiedlichen Scanpositionen, die zusammen einen möglichst großen Bereich abdecken. Ziel ist ein vollständiges Abbild der Umgebung. Im Scanner eingebaute Sensoren liefern zu jedem Messpunkt eine genaue Beschreibung der Position, sodass die Daten hochgenau zueinander ausgerichtet werden können. Beispielsweise wird die Neigung des Scanners gemessen, ein exaktes Nivellement ist somit nicht notwendig. Weiter ist auch ein GNSS-Receiver verbaut, um eine grobe Positionierung für weitere Registrierungsschritte zu ermöglichen. In Kombination mit einer sogenannten Voxel-basierten Registrierungsmethode kann eine relative Ausrichtung der Messdaten zueinander bereits automatisch im Scanner selbst stattfinden.

**Punktwolke**

Die so aufgenommene Punktwolke kann auch noch zusätzlich durch Vermessung von Fixpunkten während des Scanvorganges mit klassischen Vermessungsmethoden kombiniert werden. Dabei werden die Fixpunkte mittels hochreflektierender Ziele vermarktet. Auf Basis der Reflexionswerte und Geometrien dieser Ziele kann der Scanner diese automatisiert in den Scandaten

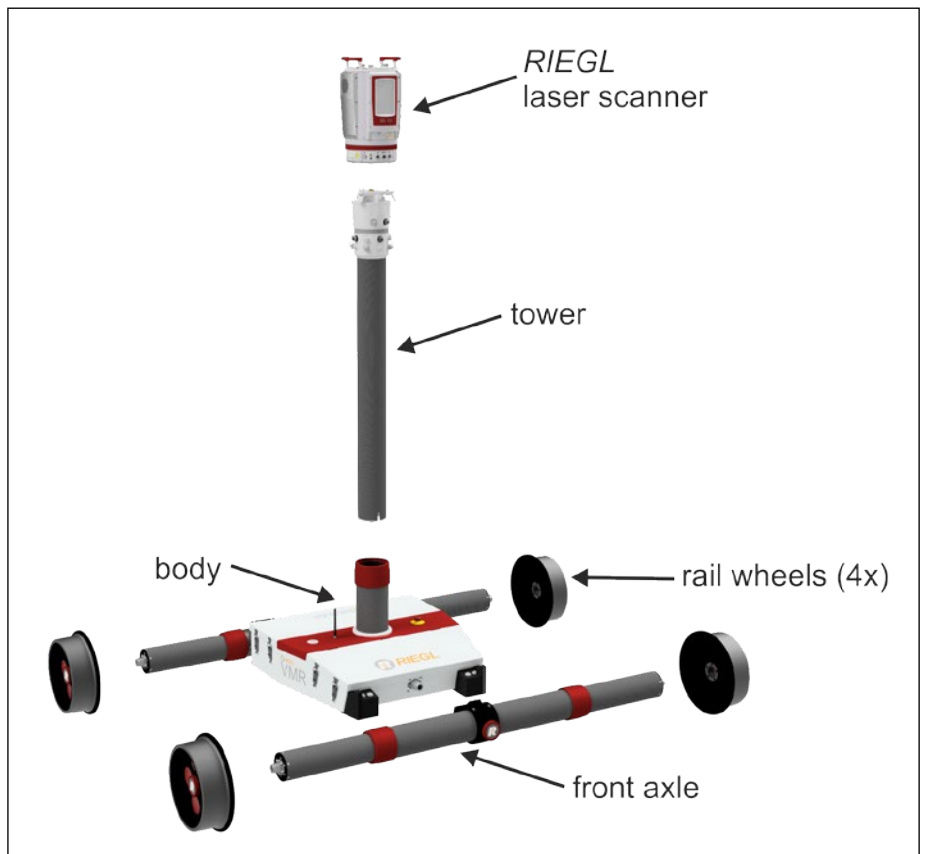


Abb. 2: Zusammensetzung eines VMR-Systems

📄 📑 🛠️
🔋 ⚠️ ⓘ
⚙️

Project Name	vmr_stadlau_T1
VMR Mode	no GNSS
Scan Position Interval [m]	7.0
Floodlight Mode	Off
Scan Window for Reflector Search [m]	2.0
Start Reflector	First Reflector in List
End Reflector	Last Reflector in List
Reference List	Stadlau_T1.csv
Reflector Model	RIEGL flat reflector 50 mm

Start VMR with Remote Control now!

Abb. 3: VMR-Einsatzplanung am mobilen Endgerät



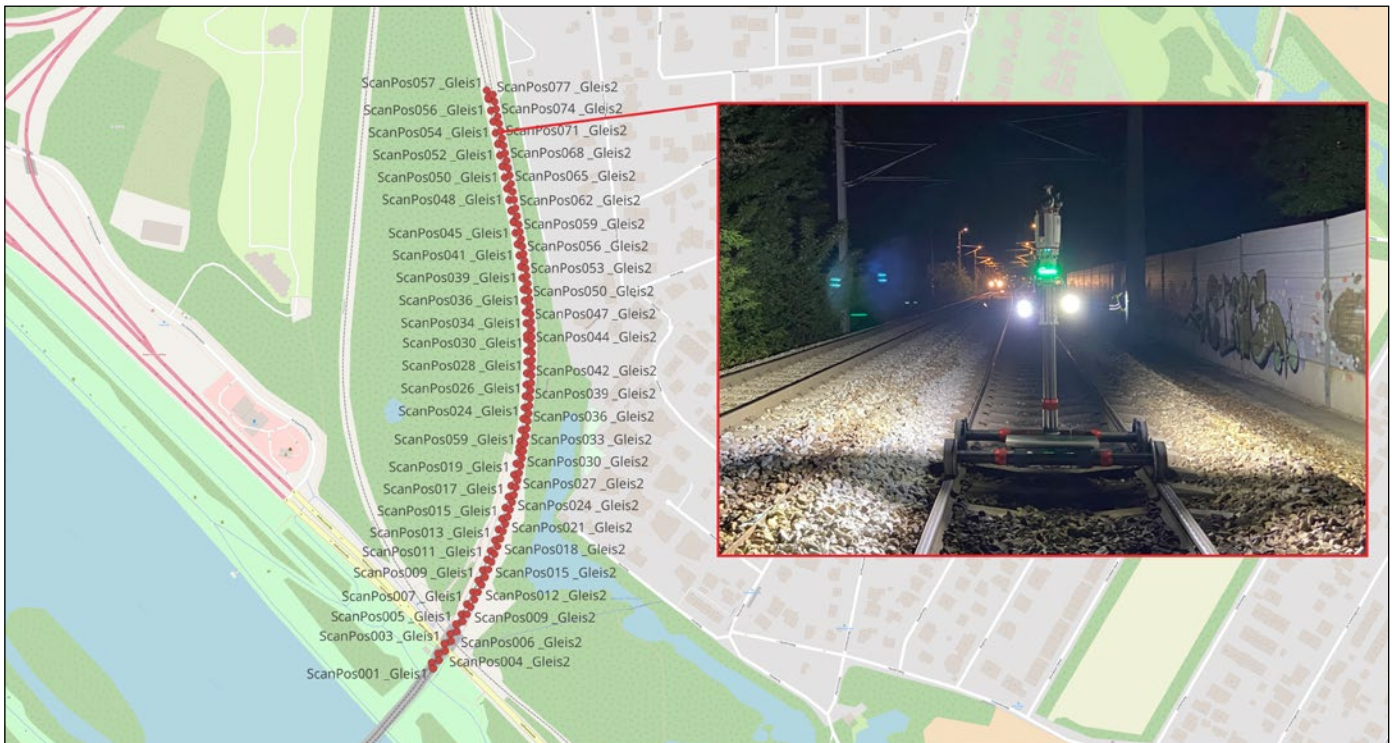


Abb 4: Beispielprojekt: Wien – Stadlau

Quelle: openstreetmap.org; Riegl LMS GmbH

erkennen und mit einem eigenen Messprogramm und sehr hoher Auflösung scannen. Das Zentrum eines solchen Reflektors wird mittels Modelleinschätzung bestimmt. Einerseits ist damit eine übergeordnete Kontrolle der Messdaten möglich, und andererseits kann damit auch das gesamte Projekt in ein kundenspezifisches Koordinatensystem transformiert werden.

In der Post-Processing Software RiSCAN Pro wird dafür ein Tool namens Multi-Station Adjustment 2 ausgeführt. Im Wesentlichen wird hier eine Ausgleichsrechnung durchgeführt, die mögliche Residuen minimiert und optimal an extern vermessene Punkte, sofern vorhanden,

angleicht. Ein finaler Report ermöglicht die genaue Kontrolle und Bewertung der Ergebnisse. Diverse Softwarehersteller haben sich bereits darauf spezialisiert, aus dem Ergebnis einer homogenen, ausgeglichenen Gesamtpunktwolke in weiterer Folge diverse Features, wie die Gleisachse oder Gleisgeometrien, automatisch abzuleiten.

**VMR – Robotic Rail Laser Scanning System**

Die klassische terrestrische Scanmethode – also von einem Stativ aus – hat diverse Vorteile. So kann in der Positionierung flexibel reagiert werden. Sie hat aber gerade im Bahn-

bereich auch den einen oder anderen Nachteil. Das Zusammenspiel von stabiler Aufstellung und möglicher Geschwindigkeit optimal zu definieren kann durchaus zur Herausforderung werden. Auf schotterigem Untergrund längere Streckenabschnitte zurückzulegen, erhöht auch das Risiko, Ungenauigkeiten durch instabile Positionen aufzusummieren. Vielfach wird im Scanprojekt gefordert, vermessene Fixpunkte miteinfließen zu lassen. Ein automatisierter Ablauf würde hier in jedem Fall Sinn ergeben.

Die VMR-Plattform bietet diese Möglichkeiten (Abb. 2). Sie integriert die aktuellen terrestrischen Laserscanner von Riegl in ein Robotic-System, das auf einer Open-Source-Entwicklungsumgebung basiert, dem sogenannten ROS (Robotic Operating System).

Zusätzlich wird dem Benutzer eine „Mission Planning“-Oberfläche bereitgestellt (Abb. 3), die es erlaubt, ein automatisiertes Projekt sehr einfach zu konfigurieren. Sowohl die Scanparameter als auch der Projektablauf können sehr schnell gesetzt werden. Dabei dient der Scanner selbst als Server, der diesen Service bereitstellt und mit den verschiedensten mobilen Endgeräten verbunden werden kann.

In den Scanparametern kann beispielsweise festgelegt werden, mit welcher Scanauflösung gearbeitet wird und ob auch Fotos aufgenommen werden, um jeden einzelnen Messpunkt mit RGB-Werten zu hinterlegen. Im Projektablauf kann unter anderem eingestellt werden, in welchen Streckenabständen das VMR die Scans auslöst und wie viele Scanpositionen automatisch durchgeführt werden.

**4.4 Residuals**

For an assessment of the quality of the multi-station adjustment the following residual deviations (in short residuals) can be observed.

**4.4.1 Control Points in CRS#2**

Control points in CRS#2 ... MGI / Austria GK East (EPSG::31256)

16 observations have been utilized on 10 control points in CRS. MSA results in the following statistics on the residuals:

	dX [m]	dY [m]	dZ [m]	dist. [m]
Minimum deviation	-0.0072	-0.0069	-0.0048	0.0015
Maximum deviation	0.0037	0.0043	0.0060	0.0085
Mean deviation	-0.0002	-0.0010	0.0001	0.0056
Standard deviation	0.0035	0.0037	0.0031	---
Median abs. dev. (std)	0.0048	0.0057	0.0027	---

Abb. 5: Ergebnis eines sogenannten Multi-Station-Adjustments. Die Werte beschreiben die Residuen der eingescannten Targets (Fixpunkte) im Scanprojekt zu den (mittels Totalstation) vermessenen Kontrollpunkten.

Quelle: MSA2 Report von RiSCAN PRO, Riegl LMS GmbH





Abb. 6: Nach Farbinformationen und Reflectance-Werten eingefärbte Punktwolke

Quelle: RiSCAN PRO, RIEGL LMS GmbH

### ROS – Robotic Operating System

Im VMR befindet sich eine Open-Source-Entwicklungsumgebung, das sogenannte ROS 2 [2]. Aufbauend auf das sogenannte Humble Hawksbill auf Ubuntu ist es die Basis für die Kommunikation der einzelnen Systemkomponenten miteinander. ROS beinhaltet Werkzeuge und Bibliotheken, die es ermöglichen, verschiedenste Sensoren sehr einfach mit geeigneten Treibern zu integrieren. Auch für die VZ-i-Serie der terrestrischen Riegl Laserscanner ist ein solcher ROS-Treiber vorhanden und auf github frei verfügbar [3]. Damit können diese rasch und unkompliziert auf ROS 2-Systemen installiert werden.

### Beispielprojekt

Das nachstehend beschriebene VMR-Projekt wurde auf einem Streckenabschnitt der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) im Mai 2023 ausgeführt (Abb. 4). An zwei Tagen wurde für jeweils einen Zeitraum von ca. 3,5 Stunden eines von zwei nebeneinanderliegenden Gleisen für Probenentnahmen und Vermessungsarbeiten gesperrt. Die ca. 600 m lange Strecke mit vermarkten Bolzen an beiden Seiten sollte möglichst automatisch befahren werden. Die Koordinaten der Bolzen waren bekannt. Um die Punktwolke auch mit Farbinformationen hinterlegen zu können, wurden mit der am Scanner montierten Fotokamera während des Scanvorganges Bilder aufgenommen. Da das Projekt – um möglichst wenig Verzögerungen im laufenden Bahnbetrieb zu verursachen – in der Nacht durchgeführt wurde, wurden noch vier Scheinwerfer am VMR montiert, die eine horizontale 360°-Ausleuchtung ermöglichten. Diese LED-

Scheinwerfer werden nicht nur physisch mit dem VMR verbunden, sondern auch über ROS 2 angesteuert. So kann festgelegt werden, dass die LEDs während des Scanvorganges und der Fotoaufnahme aktiv sind. Sobald sich das VMR zur nächsten Scanposition bewegt, werden die Scheinwerfer automatisch ausgeschaltet.

Die Planung der automatischen Aufnahme ist denkbar einfach. Man verbindet sich mit einem mobilen Endgerät über das WLAN des Scanners direkt mit dem VMR und bekommt über den Browser eine Planungsoberfläche dargestellt. Dort können unterschiedlichste Modi eingestellt werden, wie z.B. ein wiederkehrender Stop&Go-Modus, bei dem das VMR 7 m vorwärtsfährt, dann einen Scan mit Bildaufnahme ausführt, anschließend wieder 7 m fährt und den nächsten Scan aufnimmt usw. Zusätzlich kann auch eine Koordinatenliste der Fixpunkte in das VMR geladen werden. So bleibt das VMR dann zusätzlich auch an den vermarkten Punkten stehen, um auch hier eine Messung auszuführen. Wird das Ende der Strecke nach 600 m festgelegt, stoppt das VMR dort selbstständig. Im Projekt wurden mit dem oben beschriebenen Stop&Go-Modus Scan- und Bilddaten des jeweiligen Streckenabschnitts vollautomatisch mit einem VZ-400i 3D-Laserscanner und einer Nikon D850 aufgenommen (Abb. 6). Zuvor mittels Totalstation im Koordinatensystem Gauss-Krüger M34 eingemessene Fixpunkte wurden als Koordinatenliste in das VMR eingespielt und ebenfalls vermessen. Die Scanpositionen waren trotz vorbeifahrender Züge am Nebengleis stabil, und eine robuste Registrierung konnte gewährleistet werden (Abb. 5). Die Anzahl der aufgenommenen Punkte (in originaler Auflö-

sung) beläuft sich für Gleis 1 auf ca. 735 Mio. Messpunkte aus insgesamt 59 Scanpositionen und für Gleis 2 auf ca. 959 Mio. Messpunkte aus 77 Scanpositionen, mit einer Aufnahmezeit von ca. 100 Minuten pro Gleis.

### Fazit

Durch den Einsatz des VMR-Robotic-Rail-Laserscanning-Systems mit VZ-400i Laserscanner und mit der Möglichkeit eines automatischen Aufnahmeablaufs konnten hochgenaue und umfassende Daten des Streckenabschnitts in extrem kurzer Zeit aufgenommen werden. Angenehmer Nebeneffekt: Der Operator kann die Vermessung außerhalb der Gefahrenzone begleiten – ein sicher nicht unrelevanter Sicherheitsaspekt. ■

### QUELLEN

- [1] Ullrich, A.; Fürst, C. (2017): Vollautomatischer Ansatz für die Onboard-Datenregistrierung im terrestrischen Laserscanning. In: DVW e. V. (Ed.), Terrestrisches Laserscanning 2017 (Beiträge zum 165. DVW-Seminar am 11. und 12. Dezember 2017 in Fulda). Abgerufen 06.05.2019 von <https://geodaesie.info/sr/terrestrisches-laserscanning-2017-tls-2017/7109/1950>, 14.11.2023, 10:35 Uhr
- [2] ROS - Robot Operating System (2023). Webseite, [www.ros.org](http://www.ros.org), 14.11.2023, 10:38 Uhr
- [3] Riegl-ROS-Github-Projekt: <https://github.com/riegllms/ros-riegl-vz>, 14.11.2023, 10:30 Uhr



**Ing. Bernhard Groiss**  
Senior Technical Expert  
Riegl Laser Measurement  
Systems GmbH, AT-Horn  
bgroiss@riegl.com