
Straßenvermessung mit dem *RIEGL VZ-600i* Laserscanner

Terrestrisches Laserscanning – Straßenbau

Nikolaus STUDNICKA und Jacob ZURL

Zusammenfassung

Der Straßenbau hat sich in den letzten Jahrzehnten rasch weiterentwickelt. Die manuelle Arbeit wird größtenteils von Maschinen übernommen. Bevor das dreidimensionale Asphaltfertigen einer Fahrbahn möglich ist, ist eine hochgenaue Vermessung der existierenden Straßenoberfläche notwendig. Die dabei eingesetzte Laserscanning-Technologie kann sowohl von bewegten Fahrzeugen aus (Mobile Laserscanning MLS, auch Mobile Mapping genannt) als auch im „Stop-&-Go“-Verfahren (terrestrisches Laserscanning TLS) angewandt werden. Für die Vermessung von kilometerlangen Straßenzügen hat sich das Mobile Mapping breit durchgesetzt, vor allem weil es mit der üblichen Fahrgeschwindigkeit durchgeführt werden kann und der Verkehr nicht beeinträchtigt wird. Um jedoch die Genauigkeit des resultierenden 3D Modells eines kürzeren Straßenstücks zu maximieren, wurde für das in diesen Aufsatz beschriebene Projekt die Verwendung eines terrestrischen Laserscanners gewählt. So wird gezeigt, dass die Vermessung von wenigen Kilometern Autobahn in einem Baustellenbereich rasch, effizient und hoch präzise durchgeführt werden kann.

Das mittels Laserscanning gewonnene Oberflächenmodell kann sowohl für eine modellbasierte Abrechnung des Abtrags als auch für eine automatisierte Maschinensteuerung verwendet werden.

Als praxisnahes Beispiel wird die Vermessung einer realen Autobahnbaustelle behandelt – von der Datenaufnahme über die Auswertung bis zum digitalen Geländemodell werden die Bearbeitungsschritte betrachtet, beschrieben und analysiert. Dabei wird deutlich, dass beim abschließenden 3D-Asphaltfertigen die resultierende Fahrbahn basierend auf den TLS-Daten exakt erstellt werden kann. Die Genauigkeiten der Vermessung und der Fertigung wurden durch Tachymeter-Messungen auf die Fahrbahnoberfläche überprüft.

1 Laserscanner

Die typische Vermessung einer langgestreckten Umgebung mit einem terrestrischen Laserscanner läuft so ab, dass ein sogenannter Panoramascan nach dem anderen aufgenommen wird. Bei dem hier eingesetzten augensicheren *RIEGL VZ-600i* Laserscanner (Tabelle 1) ist man in der Lage bis zu 60 hochauflösende Laserscans pro Stunde aufzunehmen.

1.1 Datenaufnahme

Für das hier beschriebene Projekt wurde das Baulos Knoten Steinhäusl in Niederösterreich gewählt. Dieses Teilstück der Autobahn A1 wurde zwischen den Knoten Steinhäusl und St.

Christophen einer Generalsanierung unterzogen. Noch bevor die Autobahn gesperrt wurde, hat ein Messfahrzeug mit einem mobilen Laserscanner eine Bestandsaufnahme der zu erneuernden Fahrbahnoberfläche durchgeführt.

Tabelle 1: Spezifikation eines *RIEGL VZ-600i* Laserscanners (RIEGL 2024)

Laserscanner Modell	<i>RIEGL VZ-600i</i>
Scangeschwindigkeit	60 Scanpositionen pro Stunde 2,2 MHz PRR, 400 Scans/sec 6 mm Punktauflösung in 10 m Distanz/Scan
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 <i>RIEGL</i> RTK-GNSS Empfänger
Lasersklasse	1 (augensicher)
Geräteschutzklasse	IP64, staub- und spritzwassergeschützt
Registrierung der Scanpositionen	während des Scanvorgangs in Echtzeit im Scanner und/oder mit <i>RiSCAN PRO</i> auf einem Laptop/PC

Nachdem die Asphaltoberfläche und die darunterliegenden Betonflächen abgebrochen waren, wurde der 3,1 Kilometer lange Autobahnabschnitt im September / Oktober 2023 mit dem terrestrischen Laserscanner vermessen. Die präzisen Laserscans erzeugen eine Punktwolke mit ca. 30 Millionen Messpunkten pro Scanposition. Dies entspricht einer Punktauflösung von 6 Millimeter in 10 Meter Distanz zum Laserscanner. Ein Tastenklick auf den Touch-Screen des Scanners startet die Aufnahme einer Scanposition. Die anschließende Bewegung des Scanners zum neuen Aufstellungsort bewirkt, dass das Gerät automatisch in die nächste Scanposition weiterschaltet. Auf die gleichzeitige Aufnahme von kalibrierten Fotos wurde bei diesem Projekt verzichtet, da die abgesicherte Autobahnbaustelle ausschließlich in der Nacht vermessen wurde, wie Abbildung 1 zeigt.

Auf der bereits abgebrochenen Fahrbahnoberfläche wurden etwa alle 15 Meter „Panorama_6mm“-Scans aufgenommen. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine zuverlässige und effiziente Vermessung auch von großen Projekten in komplexen Umgebungen. Der *RIEGL VZ-600i* Laserscanner ermöglicht das automatische Registrieren der Scanpositionen schon während weitere Daten aufgenommen werden.

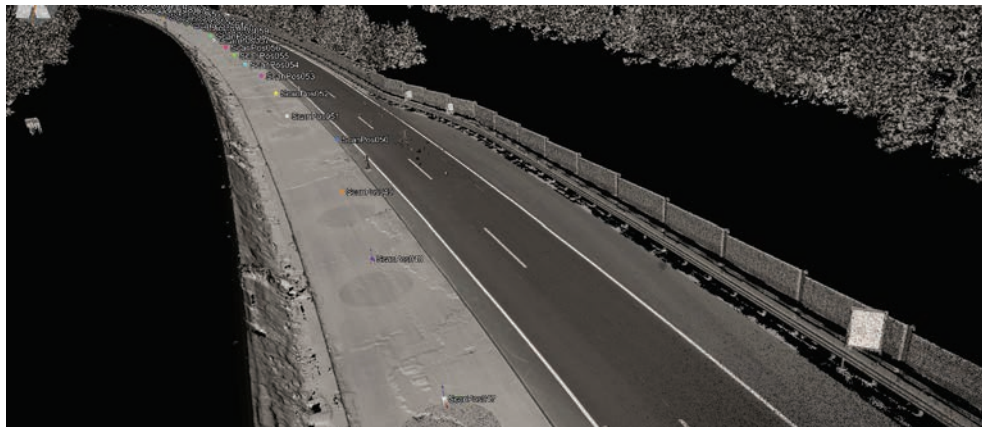


Abb. 1: Terrestrischer Laserscan einer Autobahnbaustelle mit einem *RIEGL VZ-600i* Laserscanner. Auf der linken Seite erkennt man die abgebrochene Fahrbahn, auf der rechten Seite die in Betrieb befindliche Autobahn.

Die Firmware des Scanners arbeitet automatisch ohne Einwirken des Benutzers einen mehrstufigen Registrierungsprozess ab (ULLRICH & FÜRST 2017). Dieser automatische Registrierungsalgorithmus funktioniert auch im Dunkeln, im Wald, oder wenn bewegte Objekte oder immer wiederkehrende Strukturen vorhanden sind. Mittels der „Project Map“-App (Abbildung 2) kann auf einem mobilen Gerät mitverfolgt werden, wie das Projekt Gestalt annimmt. Dort werden sowohl die registrierten Scanpositionen als auch eine ausgedünnte Punktwolke von oben dargestellt.

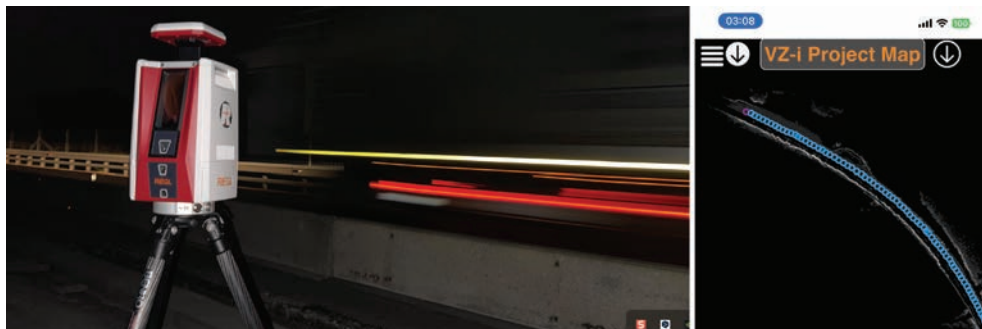


Abb. 2: Links: *RIEGL VZ-600i* Laserscanner. Rechts: „VZ-i Project Map“ am Mobiltelefon mit den bereits registrierten Scanpositionen.

In zwei Nächten wurden in knapp fünf Stunden insgesamt 261 Scanpositionen auf einer Autobahnlänge von 3,1 Kilometern aufgenommen. Pro Scanposition kann man mit etwas mehr als einem halben Gigabyte Speicherbedarf rechnen. Die Daten werden geräteintern sowohl auf einer SSD (Solid-State-Drive) Festplatte gespeichert als auch kontinuierlich auf eine steckbare „CF-express“ Karte synchronisiert.

Tabelle 2: Projektdaten

Ort	Westautobahn bei Neulengbach / Österreich	
Datum	30. September 2023	16. Oktober 2023
Zeit	01:12 – 04:12	20:39 – 22:31
Scanpositionen	157	104

Kreisrunde Reflektorfolien können mit einem dafür entwickelten Reflektor-Messprogramm (mit angepasster Laserleistung) fein abgetastet und für das Ausmessen von Festpunkten verwendet werden.



Abb. 3: Links: Feinscan eines Retro-Reflektors. Mitte: Anbringen eines Reflektors auf einem Bodenpunkt. Rechts: Verteilung der Reflektoren entlang der Autobahn.

Der *RIEGL VZ-600i* Laserscanner hat eine IP64 Geräteschutzklasse, ist also staubfest und spritzwassergeschützt. Dies ist bei einer Straßenvermessung wichtig, damit die Arbeiten zügig und witterungsunabhängig durchgeführt werden können.

1.2 Datenauswertung

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, simultaner Blockausgleich aller Scanpositionen, Entfernung bewegter Objekte und das Homogenisieren der Scandaten zu einer Gesamtpunktwolke. Die resultierende (homogenisierte) Auflösung der Punktwolke des vermessenen Autobahnabschnitts beträgt typischerweise 10 Millimeter und die Anzahl der Messpunkte beträgt typischerweise mehrere hundert Millionen. Das Exportformat ist üblicherweise das LAS-Format (für eine Gesamtpunktwolke) oder das E57-Format (mit Detailinformationen der einzelnen Scanpositionen).

Tabelle 3: Standardabweichung nach dem Blockausgleich

	dX [m]	dY [m]	dZ [m]
Standardabweichung	0.0045	0.0062	0.0051

Alle Hundert Meter war ein Reflektor an der Leitschiene angebracht. Mit ein paar Bodenpunkten wurde das Festpunktfeld verdichtet. Insgesamt wurden 32 Festpunkte im MGI / Austria Gauß Krüger / Zone Ost 3 (EPSG-Code: 31256) Koordinatensystem verwendet, die Abweichungen (in kurzen Residuen) betragen nach dem Blockausgleich (Multi-Station-Adjustment „MSA“) rund 5-6 Millimeter.

1.3 Datenweiterverarbeitung

Im nächsten Schritt gilt es aus der immens großen Punktwolke ein 3D Modell der Autobahnoberfläche zu generieren. Die Herausforderung dabei ist es jene Punkte der Punktwolke zu löschen, die für die Beschreibung und Struktur vernachlässigbar sind und jene zu behalten, die die Oberfläche präzise beschreiben. In den ebenen Abschnitten verbleiben nach der „Triangulation“ der Datenpunkte relativ wenige große, an Geländekanten relativ viele kleine Dreiecke. Das Ergebnis dieser sogenannten Dreiecksvermaschung wurde in der Software Magnet Collage (Topcon) erstellt und anschließend im .xml Format (Extensible Markup Language) gespeichert. Da die Software der 3D gesteuerten Straßenbaumaschinen bei sehr großen Datenmengen rasch an ihre Leistungsgrenzen kommt, ist hier eine ausreichende Ausdünnung durchzuführen. Je nach Bauosgröße und Anforderung sollte die Dreiecksvermaschung eine maximale Seitenlänge von 10 bis 40 cm aufweisen.

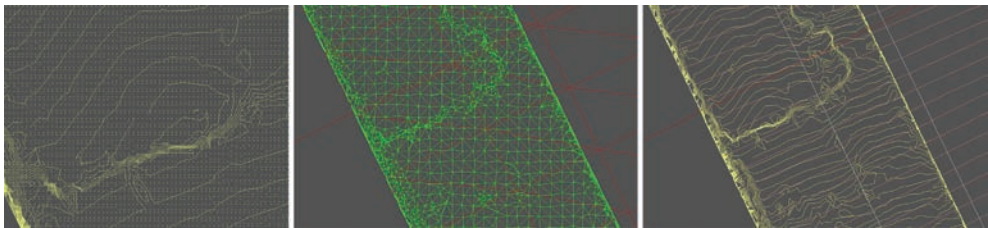


Abb. 4: Links: Die grünen Punkte stellen die Messwerte aus dem Laserscan dar, gelb das ausgedünnte Modell. Mitte: Dreiecksvermaschung der Oberfläche. Rechts: Die Höhenschichtlinien im Zentimeterabstand repräsentieren die Qualität der Vermaschung und das Ergebnis der Oberfläche.

1.4 Modellbasierte Abrechnung

Das resultierende Oberflächenmodell kann für eine modellbasierte Abrechnung herangezogen werden. Dafür wurde das Bestandsmodell (vom mobilen Laserscan MLS) mit dem Abtragsmodell (vom terrestrischen Laserscan TLS) verschnitten. Als Ergebnis wurden 5.450,6 m³ Abtrag auf einer Straßenoberfläche von 21.500 m² ermittelt (Abbildung 5).

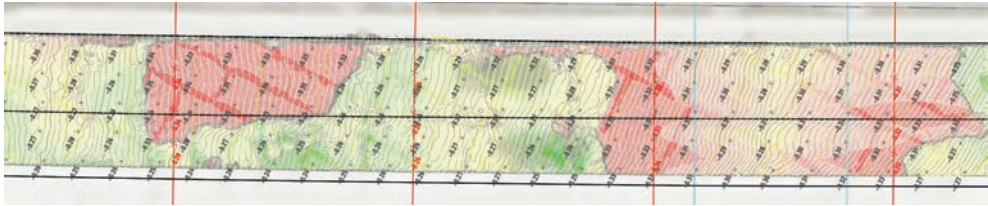


Abb. 5: Mengenverschnitt Bestandsmodell (MLS) & Abtragsmodell (TLS).

Dieses Ergebnis wurde durch einen Vergleich der herkömmlichen Methode mit Profilmessungen überprüft. Der Modellverschnitt vom Urgelände (Profilvermessung vor Baustart durch einen unabhängigen Vermesser) mit dem Vergleichsmodell: (Profilvermessung nach Abtrag durch einen unabhängigen Vermesser) hat auf einer Fläche von 677 m² einen Abtrag von 187,64 m³ ergeben. Auf derselben Fläche ergab der Modellverschnitt vom MLS Modell vor Baustart und dem TLS Modell nach dem Abtrag ein Abtragsvolumen von 185,17 m³.

Der Vorteil der modellbasierten Abrechnung gegenüber der profilbasierten Abrechnung ist die raschere Vermessung vor Ort und die Einbeziehung der gesamten Fläche, und nicht nur der Fahrbahnoberfläche an den Orten der Profile. In diesem Beispiel betrug der Abstand zwischen den Profilen 12,5 m.

2 3D Fräse / 3D Asphaltfertiger für die Autobahn

Ein weiterer Vorteil der schnellen und präzisen Vermessung der Fahrbahnoberfläche durch einen terrestrischen Laserscanner ist die Möglichkeit das resultierende 3D Geländemodell für eine 3D-Asphaltfräse und/oder für einen 3D-Asphaltfertiger verwenden zu können.

Im Gegensatz zur Arbeit mit herkömmlichen Asphaltfräsen ermöglicht der Einsatz der 3D-Technologie eine präzisere und effizientere Profilierung der Straßenoberfläche. Die Verwendung einer 3D-Asphaltfräse trägt dazu bei, den Straßenbau präziser, effizienter und kosteneffektiver zu gestalten, da sie die Notwendigkeit von manuellen Eingriffen minimiert und gleichzeitig genaue Ergebnisse liefert.



Abb. 6: links: 3D-Asphaltfräse, rechts: 3D-Asphaltfertiger.

Ein 3D-Asphaltfertiger ermöglicht einen exakten und effizienten Asphalteinbau und trägt dazu bei, hochwertige Straßenoberflächen mit genauen Profilen zu schaffen. Er verfügt über

ein fortschrittliches Steuerungssystem, das die Höhe und Neigung der Straßendecke in Echtzeit überwacht und steuert. Zusätzlich lässt sich auch die Einbaubreite in 3D steuern. Dies ermöglicht eine präzise Anpassung an die gewünschten Höhen- und Neigungswerte für eine genaue Profilierung der Straße.

2.1 Maschinendaten: 3D-Asphaltfertiger

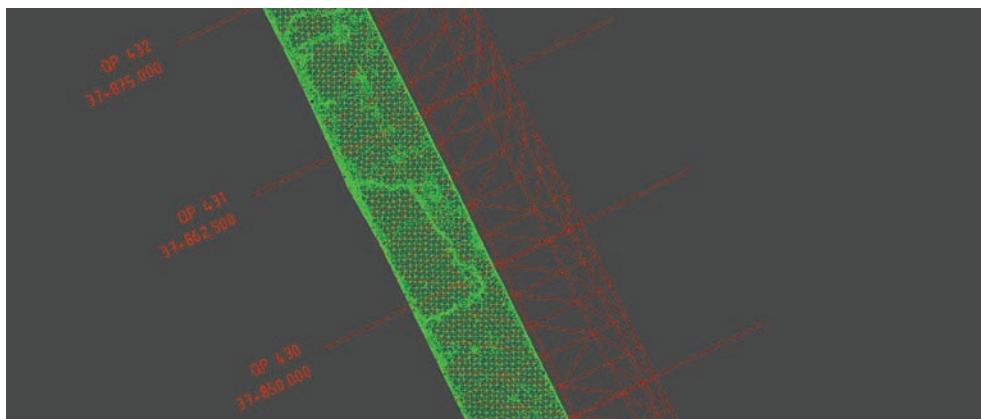


Abb. 7: Grün: Bestandsmodell der zu asphaltierenden Oberfläche. Rot: Planungsmodell der fertigen Asphaltoberfläche. Zusätzlich Querprofillinien als Information für den Maschinisten.

Aus den Planungsunterlagen wie Lage- und Querprofilplänen wird ein digitales Geländemodell der fertigen Asphaltoberkante (Deckenbuch) erstellt. Im Magnet Office (Topcon) wird nun das Bestandsmodell aus dem Laserscan und das Planungsmodell (Deckenbuch) als .xml eingelesen und die fertige Datei für den 3D-Asphaltfertiger exportiert.

3 Bauausführung

Erstmals hat die Firma STRABAG (YOUTUBE 2024) im Zuge eines Pilotprojektes die fortschrittliche und innovative Technologie des 3D-Asphaltteinbaus getestet und angewendet. Im Zuge der Sanierung sollte die gesamte Betondecke und alle darunterliegenden beschädigten Asphaltschichten abgetragen werden. Im Sinne von Nachhaltigkeit, Qualität und Kosteneffizienz wurden nach Rücksprache mit der örtlichen Bauaufsicht schadhafte Stellen ausgesucht und nachträglich abgefräst. Wie in Abbildung 1 ersichtlich wies die Oberfläche nach den Abtragsarbeiten ein sehr inhomogenes Bild auf. Im nächsten Arbeitsschritt galt es eine Ausgleichsschicht mit variablen Einbaustärken und konstantem Versatz zum fertigen Deckenbuch herzustellen. Dieser Arbeitsschritt wird auch Profilierung genannt und bei der herkömmlichen Arbeitsmethode durch zeitintensive terrestrische Vermessungen mit Absteckun-

gen nach dem Geländemodell des Deckenbuchs und „Anspritzen“ der variablen Einbaustärken durchgeführt. Auf diesem Streckenabschnitt von 3.1 km wären so ungefähr 20 Aufstellungen mit 930 Höhenpunkten für die variable Asphaltierung notwendig gewesen.



Abb. 8: 3D- Asphaltfertiger.

Durch den auf den erforderlichen Scans basierenden Einsatz des 3D-Asphaltfertigers kann in einem Arbeitsschritt ein exaktes Modell für die Maschine bereitgestellt werden, welches aufgrund des hohen Detailgrades einen viel genaueren Einbau ermöglicht, potenzielle Fehlerquellen des händischen Einbaues verringert und sogar die Arbeitsbelastung der Einbaupartie reduziert. Für den 3D-Einbau wurde ein herkömmlicher Asphaltfertiger von Vögele mit einer 3D-Maschinensteuerung ausgerüstet. Diese umfasst einen Steuerungscomputer mit der Software 3DMC, zwei GNSS-Antennen, zwei Ultraschallsensoren sowie die Anbindung der Topcon-Steuerung in die Maschinensteuerung von Vögele. Letztlich zeigten sich Polier, Einsteller und auch die Asphaltier-Mannschaft von der 3D-Methode begeistert. Ein weiterer Pluspunkt ist, dass mit dem Scan auch die Basis für die Abrechnung gelegt ist und so schnell und genau über 3D-Modelle erfolgen kann.

Die beiden GNSS-Antennen (1) dienen zur genauen Positionierung des 3D-Fertigers in der Lage, die beiden Ultraschallsensoren (2) messen den Bestand und können so der Oberfläche folgen und der Steuerungscomputer (3) verarbeitet die 3D-Modelle und die Informationen daraus und leiten sie weiter an die Steuerungseinheit (4). Das Ergebnis ist ein exakte Bauausführung nach den gewünschten Vorgaben durch das digitale Deckenbuch.



Abb. 9: Ausrüstung des Super 1800-3i Straßenfertiger (WIRTGEN GROUP 2024) von Vögele mit 3D-Maschinenssteuerung.

Abbildung 10 macht die Arbeit des eingesetzten 3D-Asphaltfertigers sichtbar. Die Asphalt-schicht ist unterschiedlich stark, die resultierende Fahrbahnoberfläche aber sehr glatt und eben.

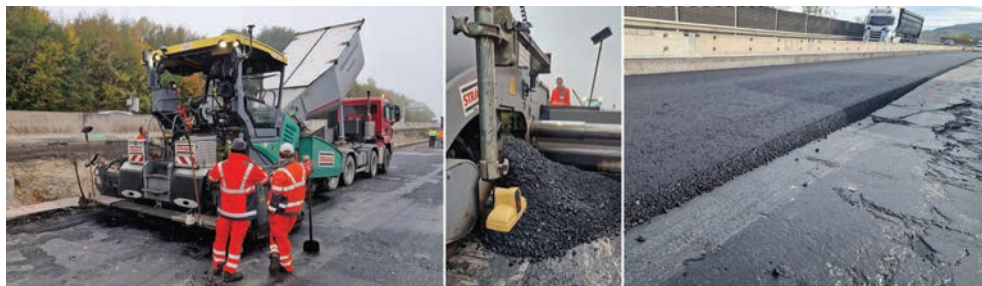


Abb. 10: Ausführung der Asphaltaufbringung mithilfe des 3D-Asphaltfertigers.

4 Kontrolle Bauausführung

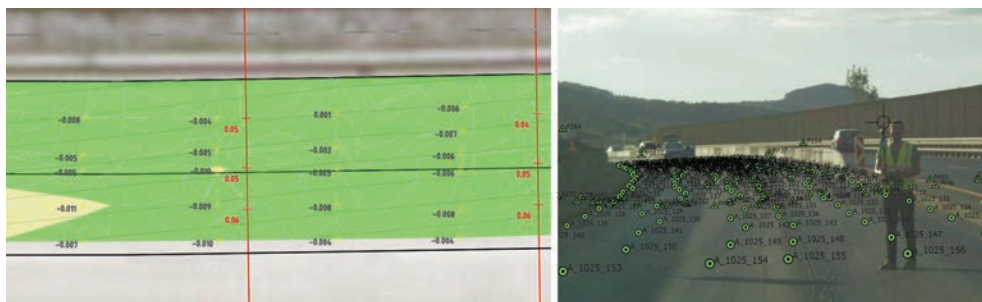


Abb. 11: Links: Überprüfung der Einbaugenauigkeit des Bauloses. Rechts: Vor-Ort-Überprüfung mit einer Ein-Mann-Totalstation.

Zur Kontrolle und Überprüfung der Einbaugenauigkeit wurde ein größerer Abschnitt des Bauloses terrestrisch vermessen und mit dem digitalen Deckenbuch verschnitten. Dabei lag die Einbaugenauigkeit – trotz der variablen Einbaustärken zwischen 3 und 12 cm – zu 93% unter 1 cm und auch die restlichen 7% lagen unter 2 cm.

5 Zusammenfassung

Der Einsatz des schnellen terrestrischen Laserscanners *RIEGL VZ-600i* hat gezeigt, dass eine 3 km lange Autobahnbaustelle rasch und effizient vermessen werden kann. Das aus dieser Vermessung gewonnene Oberflächenmodell kann im Straßenbau sowohl für die modellbasierte Abrechnung, als auch für die automatisierte Maschinensteuerung verwendet werden. Sowohl eine 3D-Asphaltfräse also auch ein 3D-Asphaltfertiger sind heute bereits in der Lage intelligent ausgedünnte Geländemodelle zu verwenden. Mit dem hier beschriebenen Workflow ist eine exakte Bauausführung bei gesteigerter Effizienz möglich.

Literatur

- RIEGL, RIEGL VZ-600i* Datenblatt, (2024): http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegl-downloads/RIEGL_VZ-600i_Preliminary-Datasheet_2023-05-24.pdf, letzter Zugriff 02/2024
- 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.
- YouTube Video (2024): „*STRABAG: Scannen und 3D-Fräsen*“ <https://www.youtube.com/watch?v=KiRgflFzFYw>
- WIRTGEN GROUP (2024): „*SUPER 1800-3i Raupenfertiger*“ <https://www.wirtgen-group.com/ocs/de-de/voegele/super-1800-3i-204-p/>