

# Generalsanierung eines Autobahnabschnitts mit durchgängig begleitender Vermessung mittels Laserscanning<sup>1</sup>

## General Renovation of a Highway Section with Continuous Surveying Using Laser Scanning

Nikolaus Studnicka, Jacob Zurl

Der Straßenbau hat sich in den letzten Jahrzehnten rasch weiterentwickelt. Die manuelle Arbeit wird größtenteils von Maschinen übernommen und diese arbeiten immer mehr nach 3D-Modellen. So können die Maschinen effizient und ressourcenschonend den jeweiligen Arbeitsschritt ausführen. Grundlage für die korrekte Bauausführung der 3D-Maschinen ist stets die Vermessung. Die häufig 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 durchgesetzt, vor allem, weil es mit der üblichen Fahrgeschwindigkeit durchgeführt werden kann und dabei der Verkehr nicht beeinträchtigt wird. Diese Aufnahmetechnik wurde hier zur anfänglichen Bestandsaufnahme eingesetzt. 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 hochpräzise durchgeführt werden kann. Das mittels Laserscanning gewonnene digitale Oberflächenmodell kann sowohl für eine modellbasierte Abrechnung des Abtrags, für eine Ebenheitsprüfung 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 beschrieben und analysiert. Dabei wird deutlich, dass beim abschließenden 3D-Asphaltpflegen die resultierende Fahrbahn basierend auf den TLS-Daten exakt erstellt werden kann. Die Genauigkeiten der Vermessung und der Fertigung wurden durch Totalstations-Messungen auf die Fahrbahnoberfläche überprüft.

**Schlüsselwörter:** Terrestrisches Laserscanning, Straßenbau

*Road construction has rapidly developed in recent decades. Manual labor is largely being taken over by machines, and these are increasingly working with 3D models. This allows the machines to carry out the respective work step efficiently and in a resource saving manner. The basis for the correct construction of the 3D machines is always surveying. The laser scanning technology often used for this can be applied both from moving vehicles (mobile laser scanning – MLS, also known as mobile mapping) and in the “stop-and-go” mode (terrestrial laser scanning – TLS). Mobile mapping has become widely accepted for surveying kilometers of road, mainly because it can be carried out at normal driving speed and without*

<sup>1</sup> Überarbeiteter und erweiterter Beitrag der Oldenburger 3D-Tage 2024 /Studnicka & Zurl 2024/

disrupting traffic. This recording technique was used here for the initial survey. However, in order to maximize the accuracy of the resulting 3D model of a shorter stretch of road, the use of a terrestrial laser scanner was chosen for the project described in this paper. It shows that the surveying of a few kilometers of highway in a construction site area can be carried out quickly, efficiently and with high accuracy. The surface model obtained by means of laser scanning can be used for a model-based calculation of the excavation, for a flatness test and for automated machine control.

As a practical example, the surveying of a real highway construction site is discussed – from data acquisition to evaluation to the digital terrain model, the processing steps are described and analyzed. It becomes clear that the resulting road surface can be created exactly based on the TLS data during the final 3D asphalt production. The accuracies of the surveying and production have been assessed by total station measurements on the road surface.

**Keywords:** Terrestrial laser scanning, road construction

## 1 BESTANDSAUFNAHME UND ERSTELLEN EINES DECKENBUCHS

Für das hier beschriebene Projekt wurde das Baulos auf der Autobahn A1 zwischen Knoten Steinhäusl und St. Christophen in Niederösterreich/Österreich gewählt. Dieses 8 km lange Baulos sollte einer Generalsanierung unterzogen werden und lässt sich in zwei bauliche Abschnitte teilen. Ein Abschnitt ist mit einer Betondecke versehen, deren Zustand aufgrund langjähriger Nutzung einen Abbruch ver-

langt. Ein weiterer Abschnitt ist asphaltiert. Hier soll zumindest die Deckschicht erneuert werden.

Abb. 1 zeigt die einzelnen Phasen der Vermessung und der Baustellentätigkeit:

- Mobile Bestandsaufnahme mit einem MLS-Laserscanner:
  - Erstellung des optimierten Deckenbuchs (Neuplanung).



Abb. 1 | Einzelne Phasen und Aufnahmesysteme im Bauablauf Mobiler Laserscan vor Baubeginn

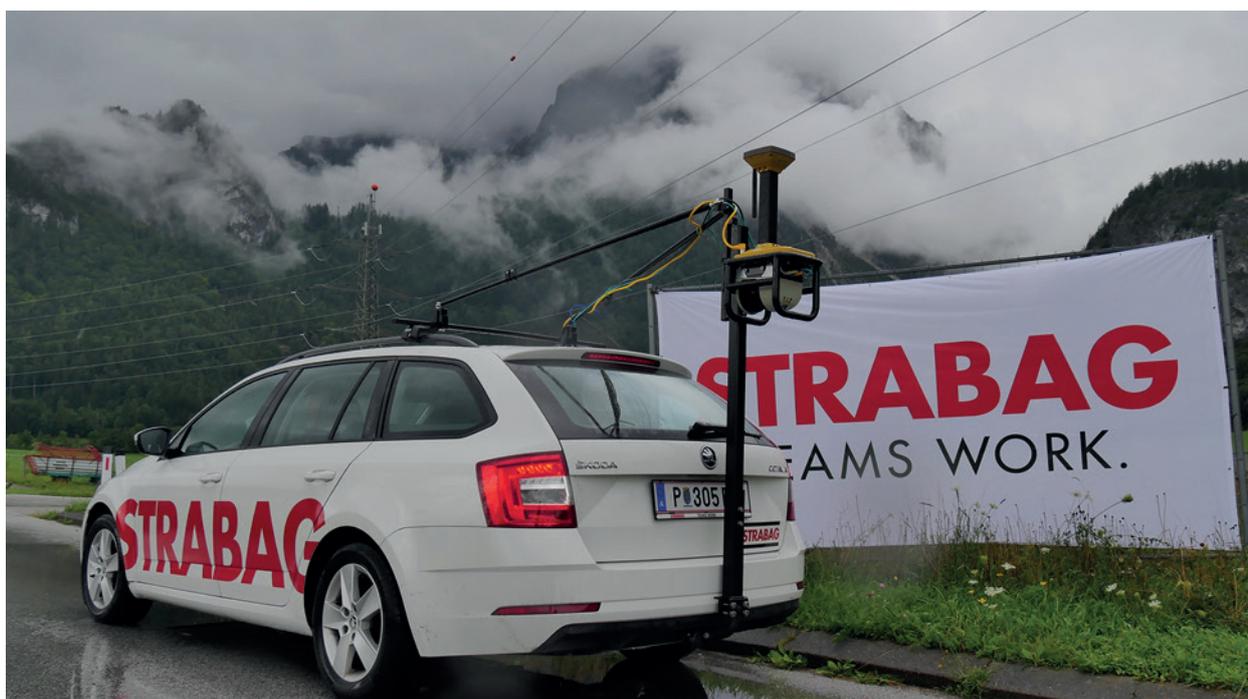


Abb. 2 | Messfahrzeug mit mobilem Laserscanner TOPCON RD-M1

- Bauschnitt 1 – Asphaltdecke 5 km:
  - Prozessieren und Aufbereiten der 3D-Maschinendaten,
  - 3D-Fräsen.
- Bauabschnitt 2 – Betonabtrag 3 km:
  - Abbruch der Betondecke,
  - Bestandsaufnahme mittels TLS-Laserscanner (und Totalstation),
  - Prozessieren und Aufbereiten der 3D-Maschinendaten,
  - 3D-Fertigen (erstmalig innerhalb der STRABAG eingesetzt).
- Leistungsabrechnung über 3D-Modelle aus den Vermessungen von MLS und TLS:
  - Massenermittlung,
  - Qualitätskontrolle,
  - Test: Ebenheitsprüfung anhand der TLS-Daten (erstmalig in RiScan Pro).

Noch bevor die Autobahn für die Baustellentätigkeiten gesperrt wurde, hat ein Messfahrzeug mit einem mobilen Laserscanner Topcon RD-M1 /Topcon 2024/ eine Bestandsaufnahme der zu erneuernden Fahrbahnoberfläche durchgeführt (siehe *Abb. 2*). Dabei wurde die Fahrbahn Fahrstreifen für Fahrstreifen befahren und im fließenden Verkehr gescannt. Die Aufnahmegeschwindigkeit betrug 60 km/h und zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit wurde das Messfahrzeug von einem Sicherungsfahrzeug des Autobahnbetreibers begleitet.

Zur Berechnung der Trajektorie verwendet dieses MLS-System eine GNSS-Antenne, eine initiale Messeinheit und ein Odometer. Vor Messbeginn wurde eine GNSS-Basisstation auf dem Baufeld aufgestellt und das Messfahrzeug in einem vorgegebenen Prozedere kalibriert. Im Post-Processing werden die Korrekturdaten der Basisstation sowie die Daten des Scansystems miteinander kombiniert

und die Punktwolke erstellt. Die Lagerung der Punktwolke kann entweder durch Passpunkte auf der Fahrbahnoberfläche oder durch eine Koordinatentransformation erfolgen. Zur Vermeidung von Verkehrsbehinderungen wurde in diesem Fall die zweite Methode eingesetzt, bei der das Festpunktfeld durch manuelle GNSS-Messungen nachgemessen wird. Das zuvor erstellte Festpunktfeld wurde mittels eines terrestrischen Polygonzugs erstellt und durch Reflektorfolien (siehe *Abb. 9*) auf der Lärmschutzwand, Betonleitwand und Leitschiene vermarket.

*Abb. 3* zeigt die Punktwolke des mobilen Laserscans. Die blauen Linien zeigen die Trajektorien der verschiedenen Vermessungsfahrten. Die Punktwolke ist, abhängig von der Datenqualität, von Rot bis Blau eingefärbt. Man erkennt deutlich die hoch reflektierende Bodenmarkierung. Dieser MLS-Scan und die daraus resultierende Punktwolke werden in der Software Autodesk Civil 3D durch eine Triangulierung zu einem Oberflächenmodell vermascht. Dieses Bestandsmodell bildet die Grundlage für die Planung des neuen Autobahnteilstücks. Durch die hohe räumliche Auflösung lässt sich die Fahrbahn ganzheitlich abbilden, Anschlussstellen können klar definiert und Problemstellen im Bestand aufgezeigt werden, wodurch sich das neue Deckenbuch effizient und qualitativ hochwertig planen lässt.

Ein Deckenbuch ist ein technisches Dokument, das die geometrischen und anderen Details zur Fahrbahndecke beschreibt. Es dient als Nachweis über die verwendeten Materialien, Schichtdicken und Verfahren, die beim Bau der Straße angewendet wurden. *Abb. 4* visualisiert den Vergleich der alten Fahrbahnoberfläche mit der Neuplanung. Die farbliche Darstellung zeigt die Höhenveränderung der bestehenden Fahrbahn zum optimierten Deckenbuch. Dies

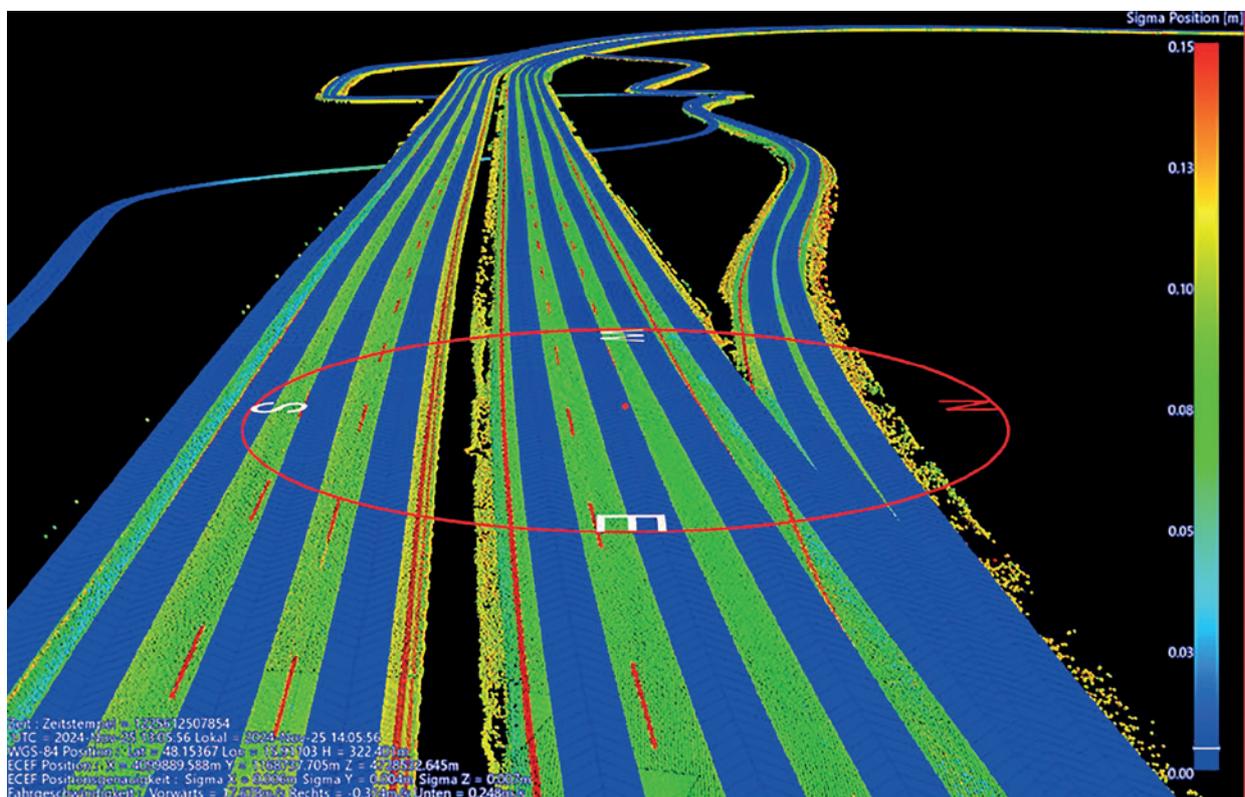


Abb. 3 | MLS-Punktwolke, Screenshot aus der Software TOPCON Magnet Collage

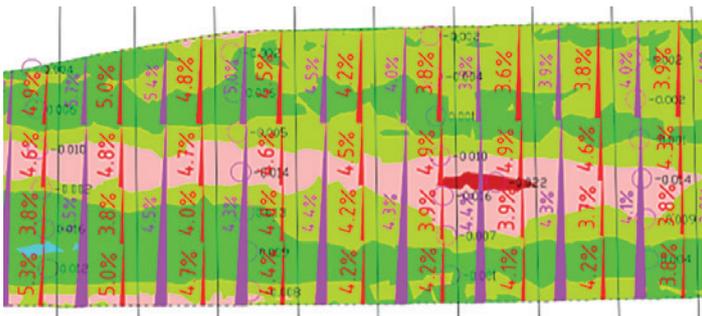


Abb. 4 | Querneigungsanalysen des optimierten Deckenbuchs

gibt Aufschlüsse, ob an Fixstellen wie Entwässerungs- und Leitschiensystemen oder auch an Brückenobjekten richtig angeschlossen wird. Die roten Pfeile zeigen die Querneigung im Bestand und die Pfeile in Magenta die Querneigung des optimierten Deckenbuchs. Beide geben eine Übersicht zur geplanten Ausführung.

## 1.2 3D-Fräsen der bestehenden Asphaltdecke

Auf dem ersten Abschnitt sollte die vorliegende Asphaltdecke gemäß dem geplanten Deckenbuch gefräst werden. Herkömmlich würde der Vermesser mittels Totalstation die Frästhärken messen, die Fräswerte auf die Fahrbahn aufspritzen und der Maschinist mit der Asphaltfräse gemäß diesen Werten die Fahrbahn abfräsen. Dieser Arbeitsschritt ist zeitintensiv und an die Witterungsbedingungen geknüpft. Weiterhin ist zwar der aufgespritzte Fräswert punktuell genau, jedoch bringt das übliche Raster (in Querrichtung gemäß Frästrommelbreite und Längsrichtung alle 10 m) das Problem, das Längs- und Quersetzungen nicht ausreichend berücksichtigt werden können und zudem der Maschinist nach diesen Werten die händische Steuerung der Trommel nicht ausreichend genau realisieren kann.

Eine 3D-Fräse im Straßenbau ist eine hochpräzise Fräsmaschine, die mit 3D-Steuerungstechnologie ausgestattet ist. Sie wird verwendet, um den Straßenbelag gezielt und präzise abzutragen und dabei die Oberfläche nach vorgegebenen digitalen 3D-Plänen zu modellieren. Diese Technologie ermöglicht eine exakte Anpassung an Höhenprofile, Neigungen und spezifische Oberflächenformen. Die Vorteile einer 3D-Fräse sind also Präzision, Effizienz, Qualitätssicherung und Flexibilität.

Durch den Einsatz der 3D-Fräse entfällt obiger Arbeitsschritt. In die Maschinensteuerung wird das Bestandsmodell aus dem MLS-

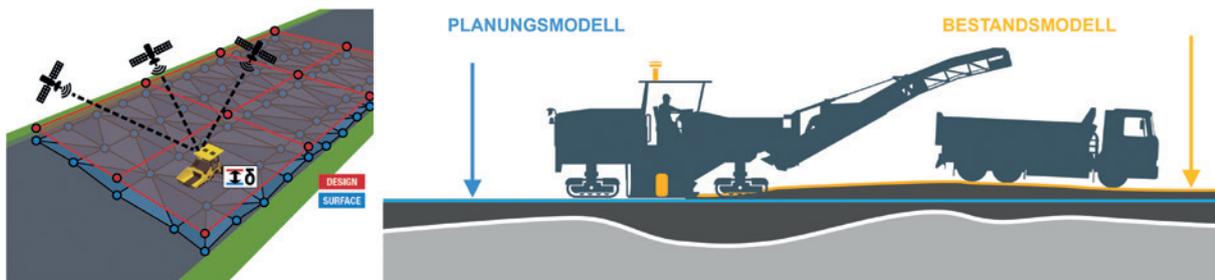


Abb. 5 | Links: Messung der Positionierung der 3D-Fräse über GNSS-Empfänger am Fahrzeug; rechts: Verfahrensprinzip von Differenzfräsen über 3D-Modelle /Bildquelle: Grafik Topcon/

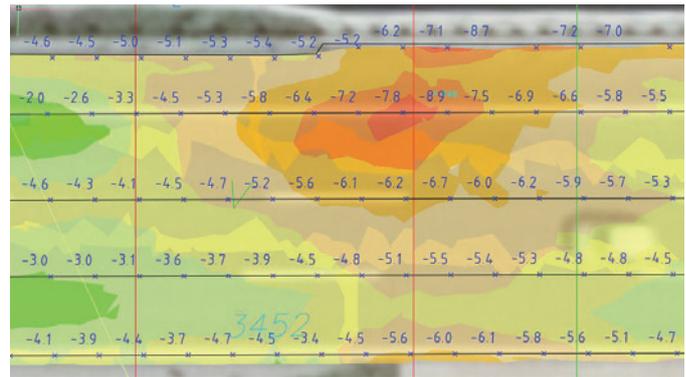


Abb. 6 | Visualisierung 3D-Fräsung mit der abzutragenden Asphalttschichtdicke in Zentimeter

Laserscan und das daraus geplante Deckenbuch als trianguliertes Oberflächenmodell importiert. Mittels zweier GNSS-Antennen am Dach der 3D-Fräse positioniert sie sich in ihrer Lage (siehe Abb. 5, links) und misst nun in den 3D-Modellen für die rechte und linke Seite der Frästrommel die abzufräsenden Werte. Beim Fräsvorgang gewährleistet die Maschinensteuerung automatisch die korrekte Ausrichtung der Frästrommel. Es wird nur dort die Asphaltoberfläche abgefräst, wo sie über dem Planungsmodell liegt (Abb. 5, rechts). Dadurch kann die 3D-Fräse effizient und sehr genau die neue Planungsoberfläche herstellen.

Abb. 6 zeigt den automatischen Asphaltabtrag der 3D-Fräse farblich markiert. Die Farben und Werte zeigen dabei den Niveauunterschied zwischen dem Bestandsmodell und dem neuen Deckenbuch. Durch die lange Nutzungsdauer der Straße gibt es zahlreiche Verdrückungen und Setzungen, die bei der herkömmlichen Arbeitsvariante mit den aufgespritzten Frästhärken nicht vollständig herausgefräst werden können. Die 3D-Steuerung der Fräse ermöglicht eine effiziente und genaue Ausführung und die Realisierung des geplanten Deckenbuchs.

## 2 Terrestrischer Laserscanner Riegl VZ-600i

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 Laserscanner Riegl VZ-600i (Tab. 1) ist man in der Lage, bis zu 60 hochauflösende Laserscans pro Stunde aufzunehmen.

Laserscanner-Modell	Riegl VZ-600i
Scangeschwindigkeit	60 Scanpositionen pro Stunde (mit Fotoaufnahme) 2,2 MHz PRR, 400 Scans/s 6 mm Punktauflösung in 10 m Distanz/Scan
3D-Genauigkeit (Standardabweichung $1\sigma$ unter Riegl-Testbedingungen)	3 mm @ 50 m, 5 mm @ 100 m
Scanbereich: horizontal × vertikal	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 Laserscanners Riegl VZ-600i /Riegl 2024/

## 2.2 TLS-Scan nach dem Betonabtrag

Nachdem die Asphaltoberfläche und die darunterliegenden Betonflächen abgebrochen waren, wurde der 3,1 km lange Autobahnabschnitt im September/Oktober 2023 mit dem terrestrischen Laserscanner vermessen. Die präzisen Laserscans erzeugen eine Punktwolke mit ca. 30 Mio. Messpunkten pro Scanposition. Dies entspricht einer Punktauflösung von 6 mm in 10 m Distanz zum Laserscanner. Ein Tastenklick auf den Touchscreen des Scanners startet die Aufnahme einer Scanposition. Die Bewegung des Scanners nach Abschluss der Aufnahme zum neuen Aufstellungsort bewirkt, dass das Gerät automatisch in die nächste Scanposition weiterschaltet. Auf die Aufnahme von kalibrierten Fotos wurde bei diesem Projekt verzichtet, da die abgesicherte Autobahnbaustelle ausschließlich in der Nacht vermessen wurde, wie *Abb. 7* zeigt.

Auf der bereits abgebrochenen Fahrbahnoberfläche wurden etwa alle 15 m „Panorama\_6mm“-Scans aufgenommen. Diese Vorgehensweise ermöglicht

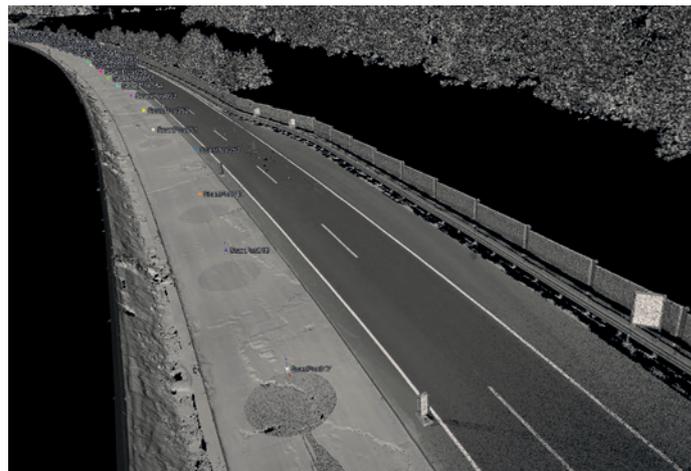


Abb. 7 | Terrestrischer Laserscan einer Autobahnbaustelle mit einem Riegl VZ-600i Laserscanner. Auf der linken Seite erkennt man die abgebrochene Fahrbahn, auf der rechten Seite die noch in Betrieb befindliche Autobahn.

eine zuverlässige und effiziente Vermessung auch von großen Projekten in komplexen Umgebungen. Der Laserscanner Riegl VZ-600i ermöglicht das automatische Registrieren der Scanpositionen schon, während weitere Daten aufgenommen werden.

Die Firmware des Scanners arbeitet automatisiert ohne Einwirken des Benutzers einen mehrstufigen Registrierungsprozess ab /Ulrich & Fürst 2017/. Dieser automatische Registrierungsalgorithmus funktioniert auch im Dunkeln, bei Vegetation oder wenn bewegte Objekte bzw. immer wiederkehrende Strukturen vorhanden sind. Mittels der „Project Map“-App (*Abb. 8*) 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.

In zwei Nächten wurden in knapp fünf Stunden insgesamt 261 Scanpositionen auf einer Autobahnlänge von 3,1 km aufgenommen (siehe *Tab 2*). Pro Scanposition kann man mit etwas mehr als einem halben Gigabyte Speicherbedarf rechnen. Die Daten werden geräteintern sowohl auf einer SSD (Solid-State Drive) gespeichert als auch kontinuierlich auf eine steckbare „CF-express“-Karte synchronisiert. Kreisrunde Reflektorfolien können mit einem dafür entwickelten Reflektor-Messprogramm (mit angepasster Laserleistung) fein abgetastet und für das Ausmessen von Festpunkten verwendet werden, *Abb. 9*.

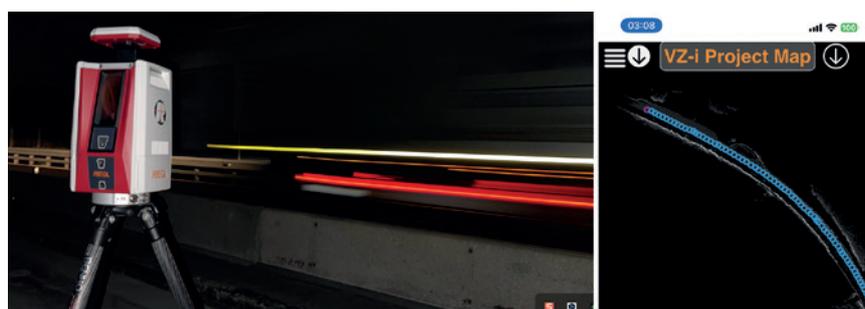


Abb. 8 | Links: Laserscanner Riegl VZ-600i; rechts: „VZ-i Project Map“ am Mobiltelefon mit den bereits registrierten Scanpositionen



Abb. 9 | Links: Feinscan eines Retro-Reflektors; Mitte: Anbringen eines Reflektors auf einem Bodenpunkt; rechts: Verteilung der Reflektoren entlang der Autobahn

Ort	Westautobahn bei Neulengbach/Österreich	
Datum	30.9.2023	16.10.2023
Zeit	01:12–04:12	20:39–22:31
Scanpositionen	157	104

Tab. 2 | Projektdaten des terrestrischen Laserscans

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

## 2.2 TLS-Datenauswertung

Direkt nach Abschluss der Vermessung im Feld wird die „CF-express“-Speicherkarte aus dem Scanner entnommen und in einen Laptop oder PC eingesteckt, 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 (siehe Tab. 3). Die resultierende (homogenisierte) Auflösung der Punktwolke des vermessenen Autobahnabschnitts beträgt typischerweise 10 mm 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).

Alle 100 m war ein Reflektor an der Leitschiene angebracht. Mit durch Vermessungsnägel gekennzeichneten Bodenpunkten wurde das Festpunktfeld verdichtet. Insgesamt wurden 32 Festpunkte im Koordinatensystem MGI/Austria Gauß Krüger/Zone Ost 3 (EPSG-Code: 31256) verwendet, die Standardabweichung der

	$dX$	$dY$	$dZ$
Standardabweichung $1\sigma$	0.0045 m	0.0062 m	0.0051 m

Tab. 3 | Standardabweichung nach dem Blockausgleich

Restklaffungen betrug nach dem Blockausgleich (Multi-Station-Adjustment „MSA“ in RiScan Pro) rund 5–6 mm.

## 2.3 Datenaufbereitung für die Maschinensteuerung

Im nächsten Schritt galt es, aus der immens großen Punktwolke ein 3D-Oberflächenmodell der Fahrbahn zu generieren. Die Herausforderung ist dabei, jene Punkte der Punktwolke zu löschen, die für die Beschreibung und Struktur vernachlässigbar sind, und jene zu behalten, welche 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) 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 Bauwerksgröße und Anforderung sollte die Dreiecksvermaschung eine maximale Seitenlänge von 10–40 cm aufweisen.

Abb. 10 zeigt auf der linken Seite die grüne Punktwolke, welche in einem engen Rasterabstand von wenigen Zentimetern mittels Dreiecksvermaschung zu einem Geländemodell trianguliert wurde. In der Mitte erkennt man das fertige 3D-Oberflächenmodell, vorbereitet für die Maschinendaten. Das grüne Netz zeigt das ausgedünnte Bestandsmodell aus der TLS-Punktwolke mit reduzierten Dreiecksflächen. Die rote Vermaschung zeigt das optimierte Deckenbuch und die Zielebene für die 3D-Asphaltierung. Auf der rechten Seite sind die fertigen Maschinendaten mit Höhenschichtlinien dargestellt. Sie zeigen trotz der Reduzierung der Vermaschung die korrekte Beschreibung der Oberfläche.

## 2.4 Modellbasierte Abrechnung des Betonabtrags

Das resultierende digitale 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  $5450,6 \text{ m}^3$  Abtrag auf einer Straßenoberfläche von  $21500 \text{ m}^2$  ermittelt. Abb. 11 zeigt den Volumenverschnitt vom

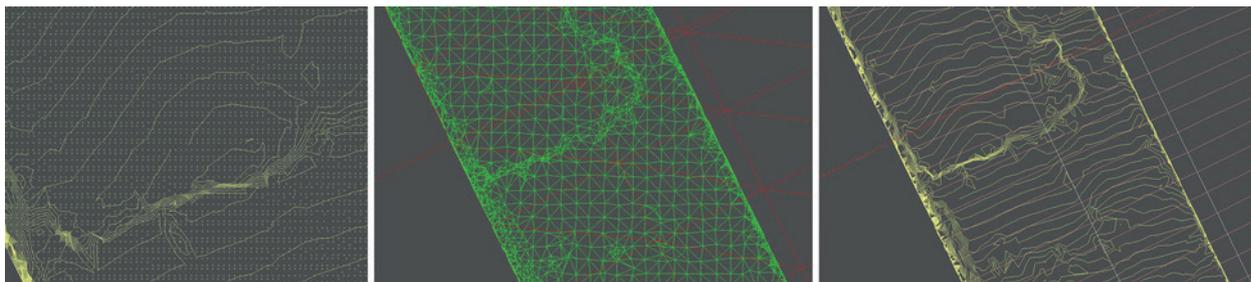


Abb. 10 | Links: Die grünen Punkte stellen die Messwerte aus dem Laserscan dar, gelb das ausgedünnte Modell. Mitte: Dreiecksvermaschung der Oberfläche. Rechts: Die Höhenschichtlinien im Zentimeterabstand repräsentieren die Qualität der Vermaschung und das resultierende Oberflächenmodell

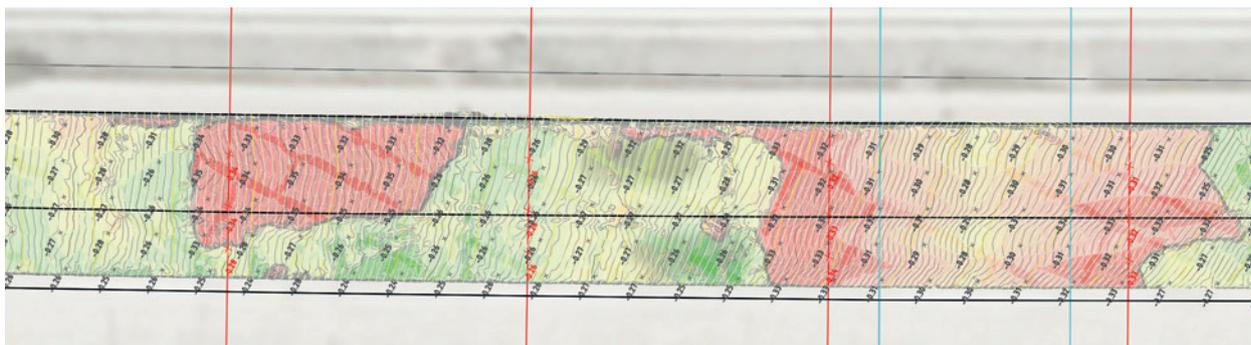


Abb. 11 | Mengenverschnitt Bestandsmodell (MLS) und Abtragsmodell (TLS)

Bestandsmodell aus dem mobilen Laserscanner mit dem Abtragsmodell aus dem terrestrischen Laserscanner nach dem Betonabtrag. Die Höhenkoten zeigen die Abtragsmengen in Metern an. Die farbliche Visualisierung erleichtert die Interpretation, denn mit grünen Farben werden geringe Abtragsmengen und mit rötlichen Farben höhere Abtragsmengen dargestellt. Diese Visualisierung unterstreicht die Wahl der Abrechnungsmethode über 3D-Modelle gegenüber der herkömmlichen profilhaften Aufnahme zu Ermittlung der Kubaturen.

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 m<sup>2</sup> einen Abtrag von 187,64 m<sup>3</sup> ergeben. Auf derselben Fläche ergab der Modellverschnitt vom MLS-Modell vor Baustart und dem TLS-Modell nach dem Abtrag ein Abtragsvolumen von 185,17 m<sup>3</sup>.

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.

### 3 3D-ASPHALTFERTIGUNG DER PROFILIERUNGSSCHICHT

Erstmalig hat die Firma STRABAG /Zurl 2023/ im Zuge eines Pilotprojekts die fortschrittliche und innovative Technologie des 3D-Asphalteinbaus getestet und angewendet. Im Zuge der Sanierung sollten die gesamte Betondecke und alle darunter liegenden beschädigten Asphalt-schichten abgetragen werden. Im Sinne von Nachhaltigkeit, Qualität und Kosteneffizienz wurden nach Rücksprache mit der örtlichen Bauaufsicht schadhafte Stellen ausgesucht und nachträglich abgefräst.

Ein 3D-Asphalzfertiger im Straßenbau ist eine hochmoderne Maschine, die mit einem 3D-Steuerungssystem ausgestattet ist, um Asphaltbeläge präzise nach digitalen dreidimensionalen Modellen aufzutragen. Diese Technologie ermöglicht die exakte Einhaltung von

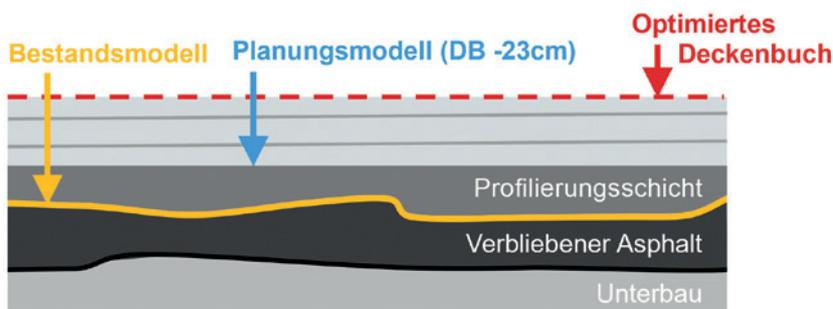


Abb. 12 | Grundprinzip: Längsschnitt durch die Fahrbahn, auf der verbliebenen Asphaltoberfläche wird mit dem 3D-Asphalzfertiger eine Profilierungs- oder Ausgleichsschicht aufgetragen. Danach wurden (ohne Maschinensteuerung) drei konstant dicke Asphalt-schichten gefertigt, um die geplante Oberfläche des optimierten Deckenbuchs zu erreichen.

## MC-Max Asphalt Paver – RD-MC



Abb. 13 | 3D-Asphaltfertiger: „SUPER 1800-3i Raupenfertiger“ /Wirtgen Group 2024/



Abb. 14 | 3D-Asphaltfertige Ausrüstung des Super 1800-3i Straßenfertigers (Wirtgen Group 2024) von Vögele mit 3D-Maschinensteuerung

Höhen, Neigungen und Querprofilen ohne den Einsatz von traditionellen Schnurgerüsten oder Referenzdrähten.

Abb. 12 zeigt stilisiert den Längsschnitt durch die Fahrbahn. Das Bestandsmodell besteht aus der Oberfläche der verbliebenen Asphaltdecke, die mit dem terrestrischen Laserscanner Riegl VZ-600i vollflächig vermessen wurde. Die neue Asphaltdecke wird in mehreren Schichten aufgetragen. In der ersten Schicht (Profilierung) wird eine Asphaltdecke 23 cm unter dem optimierten Deckenbuch hergestellt. Anschließend wurden bei dieser Baustelle drei weitere Asphaltdecken in konstanter Stärke aufgetragen – jedoch ohne Einsatz einer 3D-Steuerung des Asphaltfertigers.

Dieser Arbeitsschritt der Profilierung wird bei der herkömmlichen Arbeitsmethode durch zeitintensive terrestrische Vermessungen mit Absteckungen nach dem Geländemodell des Deckenbuchs und „Anspritzen“ der variablen Einbaustärken durchgeführt. Auf diesem Streckenabschnitt von 3,1 km wären so ungefähr 20 Aufstellungen mit der Totalstation mit 930 Höhenpunkten für die variable Asphaltierung notwendig gewesen.

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

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 Detailgrads einen viel genaueren Einbau ermöglicht, potenzielle Fehlerquellen des händischen Einbaus verringert und sogar die Arbeitsbelastung der Einbaupartie reduziert. Für den 3D-Einbau wurde ein herkömmlicher Asphaltfertiger von Vögele mit einer 3D-Maschinensteuerung ausgerüstet, Abb. 13 und Abb. 14. 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) (siehe Abb. 14) 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 leitet sie weiter an die Steuerungseinheit (4). Das Ergebnis ist eine exakte Bauausführung nach den gewünschten Vorgaben durch das digitale Deckenbuch.

Abb. 15 macht die Arbeit des eingesetzten 3D-Asphaltfertigers sichtbar. Die Asphaltdecke ist unterschiedlich stark, die resultierende Fahrbahnoberfläche aber sehr glatt und eben.



Abb. 15 | Ausführung der Asphaltaufbringung (Profilierungsschicht) mithilfe des 3D-Asphaltfertigers. Man erkennt rechts die variable Schichtdicke von 3–12 cm.

#### 4 KONTROLLE BAUAUSFÜHRUNG/ EBENHEITSPRÜFUNG

Zur Kontrolle und Überprüfung der Einbaugenauigkeit wurde ein größerer Abschnitt des Bauloses terrestrisch vermessen und mit dem digitalen Deckenbuch verschnitten.

Abb. 16 zeigt auf der rechten Seite diese Kontrollmessungen mit der Ein-Mann-Totalstation Leica MS60. Auf der linken Seite erkennt man den Modellverschnitt der terrestrischen Kontrollmessungen mit

dem Deckenbuch, der vom 3D-Asphaltfertiger bei der Ausführung zu berücksichtigen ist. Die Höhenkoten zeigen den vertikalen Abstand von der geplanten Oberfläche in Metern an. Die grüne Einfärbung visualisiert eine Einbaugenauigkeit in der Höhe von < 1 cm und die gelbe Einfärbung eine Einbaugenauigkeit von 1–2 cm für diesen Arbeitsschritt. Die Einbaugenauigkeit lag zu 93 % unter 1 cm und auch die restlichen 7 % lagen unter 2 cm – obwohl die Profilierungsschicht zwischen 3 cm und 12 cm variiert.



Abb. 16 | Links: Überprüfung der Profilierungsschicht und damit der Einbaugenauigkeit des Bauloses; rechts: Vor-Ort-Überprüfung der Oberfläche der Profilierung mit einer Ein-Mann-Totalstation

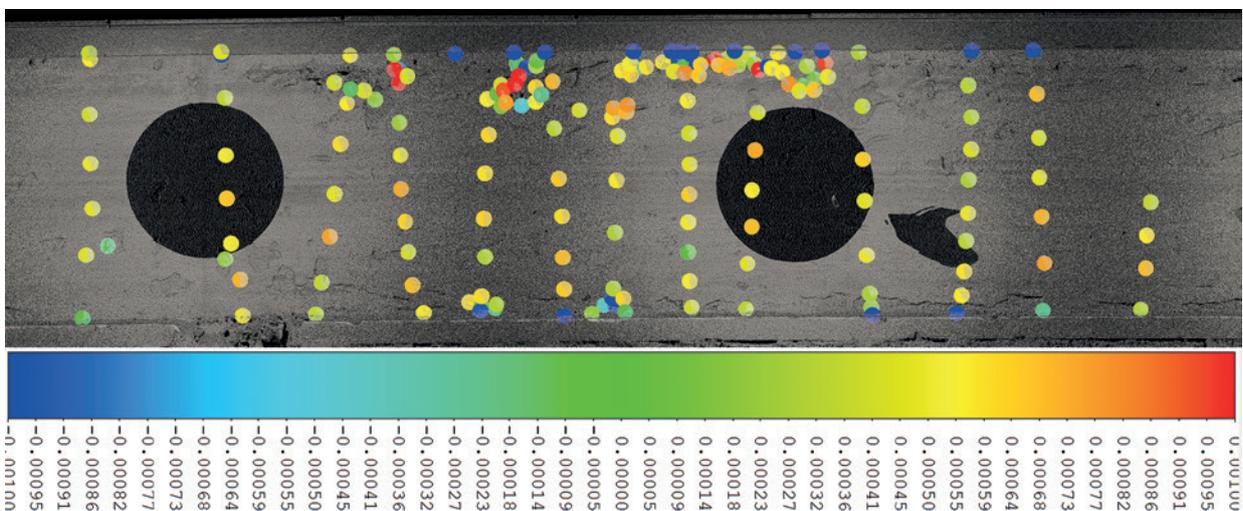


Abb. 17 | Höhen-Differenzmessung von Totalstation und 3D-Laserscanner Riegl VZ-600i von Rot (+1 cm) bis Blau (-1 cm) eingefärbt

In Abb. 17, welche in der TLS-Scannersoftware RiScan Pro erstellt wurde, wird der Fahrbahnabschnitt von Scanposition 79 bis 82 gezeigt. Die nach der Reflektanz (Reflectance) des rückgestreuten Laserimpulses in Graustufen eingefärbten Punkte erkennt man im Hintergrund. Die bunten Kreise zeigen überlagert die Höhen-Differenzmessungen von Totalstation zum Laserscan. Die Höhe der Fahrbahnoberfläche wurde aus der TLS-Punktwolke gemessen, indem in einem Radius von 5 cm um die jeweiligen  $X/Y$ -Koordinaten der einzelnen Kontrollmessungen der Totalstation die TLS-Scanpunkte an der Fahrbahnoberfläche gemittelt wurden (Median). Die Differenzen (Totalstation–Laserscan) sind zwischen  $\pm 1$  cm (rot bis blau) eingefärbt. An den roten und blauen Kreisen ist zu erkennen, dass nur am Straßenrand diese Differenzen mehr als einen Zentimeter betragen.

Werden nur jene Messungen auf der Fahrbahnoberfläche berücksichtigt, beträgt die Standardabweichung der Höhendifferenzen zwischen den Totalstationsmessungen und den Höhenmessungen aus den Laserscannerpunkten lediglich 3 mm. Dieses Ergebnis zeigt, dass in weiterer Folge der Laserscanner Riegl VZ-600i gut für eine Ebenheitskontrolle einer stetigen Fahrbahnoberfläche geeignet ist.

Im Folgenden wurde die Messung der Ebenheit einer Straßenoberfläche untersucht. Die Anforderungen zur Ebenheit sind in der RVS 08.16.01 „Anforderungen an Asphalttschichten“ /RVS 2019/ definiert. Diese legt fest, welche Toleranzen einzuhalten sind. Ein übliches Verfahren ist das sogenannte Messlattenverfahren: Eine 4 m lange Messlatte wird auf die Straßenoberfläche aufgelegt. Ein

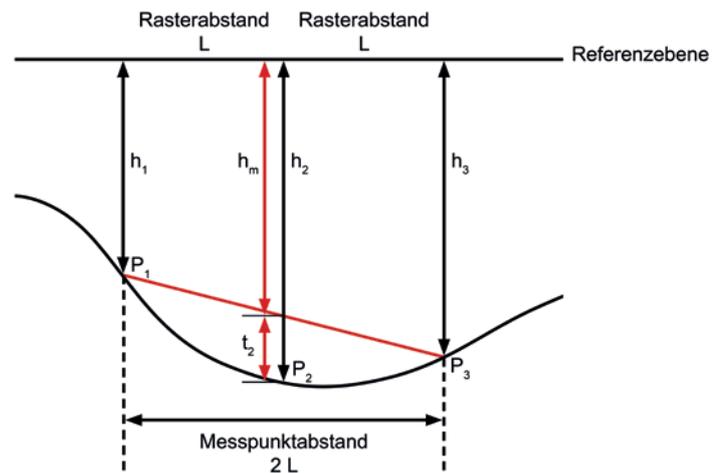


Abb. 18 | Rechnerische Ermittlung des Stichmaßes  $t_2$  mittels Raster-Nivellement, die Messlattenlänge ( $2L$ ) beträgt 4 m und der Rasterabstand beträgt 2 m

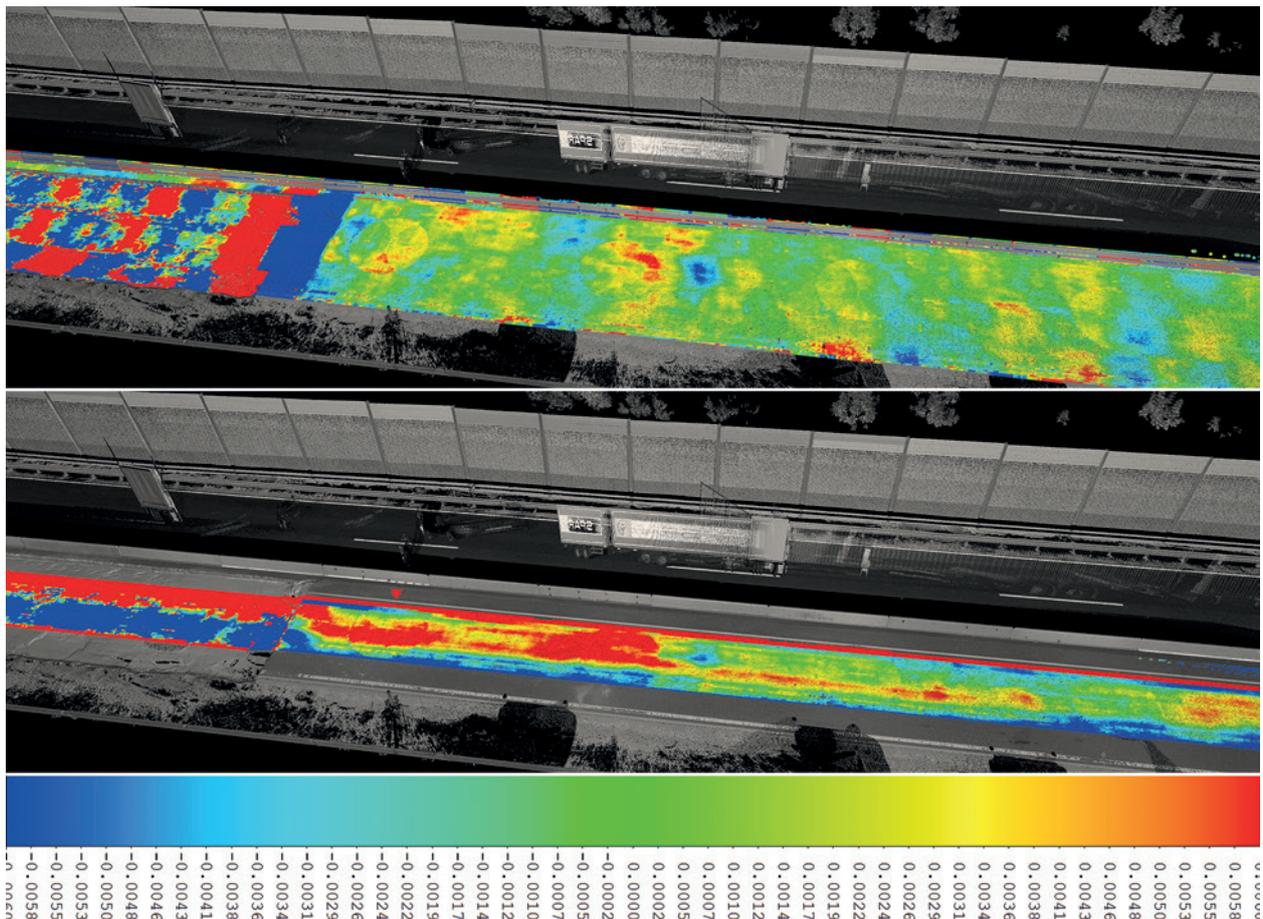


Abb. 19 | Ebenheitsabweichung am Beginn der Baustelle (links nach dem Betonabbruch, rechts vor dem Asphaltabtrag). Die Scanpunkte sind nach dem Stichmaß von Blau ( $-6$  mm) bis Rot ( $+6$  mm) eingefärbt.

Messkeil wird verwendet, um das Stichmaß (den Abstand zwischen der Lattenunterseite und der höchsten Vertiefung der Fahrbahnoberfläche) zu ermitteln. Das Stichmaß darf für die Deckschicht der Straßenoberfläche den Sollwert von 6 mm nicht überschreiten. Für den Test wurde das Verfahren des Raster-Nivellements (Abb. 18) angewendet. Für den Messpunkt Abstand von  $2L = 4$  m wird die Fahrbahnoberfläche mit einem einheitlichen Rasterabstand von  $L = 2$  m überzogen. Das Stichmaß  $t_2$  am Punkt  $P_2$  wird rechnerisch an jeweils drei benachbarten Punkten  $P_1$ ,  $P_2$  und  $P_3$  ermittelt. Die Höhenkoten  $h_1$ ,  $h_2$  und  $h_3$  wurden in der Software RiScan Pro durch Höhen-Mittelung (Median) der Punktwolke an den jeweiligen  $X/Y$ -Orten der Rasterpunkte berechnet. Für diese Mittelung wurden alle Laserscanner-Messpunkte in der kreisrunden Umgebung um die Rasterpunkte mit dem Radius von 5 cm berücksichtigt.

$$t_2 = h_2 - h_m, \quad (1)$$

$$h_m = \frac{1}{2}(h_1 + h_3). \quad (2)$$

Beispielhaft wurde das Stichmaß am Beginn der Baustelle (Scanposition 2 bis 11) gemessen. In Abb. 19 ist auf der linken Seite zu erkennen, dass die Betondecke bereits abgebrochen wurde. Auf der rechten Seite lässt sich die alte Fahrbahnoberfläche erkennen. Mithilfe des rechnerisch ermittelten Stichmaßes wurden die Rasterpunkte von  $-6$  mm (blau) bis  $+6$  mm (rot) eingefärbt. Die Stichmaß-Auswertung wurde sowohl in Fahrtrichtung als auch quer dazu durchgeführt. Um die Auflösung zu erhöhen, wurde das 2-m-Raster um jeweils 10 cm verschoben und das Stichmaß neu berechnet.

## 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. Eine zuverlässige Ebenheitsüberprüfung scheint ebenfalls möglich. Sowohl eine 3D-Asphaltfräse als auch ein 3D-Asphaltfertiger sind heute bereits in der Lage, intelligent ausgedünnte Geländemodelle zu verwenden. Mit dem hier beschriebenen Workflow ist also eine exakte Bauausführung bei gesteigerter Effizienz möglich. Aus der Sicht der Autoren wird die begleitende Laserscanner-Vermessung im Straßenbau in Zukunft immer wichtiger. Die Einbaugenauigkeit, die Geschwindigkeit der Bauausführung, die Genauigkeit der Mengenermittlung und der Qualitätskontrolle können so weiter gesteigert werden.

## LITERATUR

Riegl (2024): Datenblatt Riegl VZ-600i. [http://www.Riegl.com/uploads/tx\\_pxriegldownloads/RIEGL\\_VZ-600i\\_Datasheet\\_2024-11-13.pdf](http://www.Riegl.com/uploads/tx_pxriegldownloads/RIEGL_VZ-600i_Datasheet_2024-11-13.pdf) (13. 11. 2024).

RVS (2019): Anforderungen an Asphalttschichten 08.16.01. <https://www.fsv.at/shop/produktliste.aspx?ID=76b8e427-d3b2-4c25-8baa-00ae618e258e> (02/2019).

Studnicka, N.; Zurl, J. (2024): Straßenvermessung mit dem Riegl VZ-600i Laserscanner. In: Luhmann, T.; Sieberth, T. (Hrsg.): Photogrammetrie – Laser-

scanning – Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage und des BIMtages 2024. Wichmann, Berlin/Offenbach, 158 – 167.

Topcon (2024): Broschüre RD-M1. [https://www.topconpositioning.com/content/dam/topcon\\_digital\\_asset\\_hub/collateral/brochures/RD-M1\\_Broch\\_T124DE\\_TEAM\\_DE\\_DE\\_HiRes.pdf.coredownload.pdf](https://www.topconpositioning.com/content/dam/topcon_digital_asset_hub/collateral/brochures/RD-M1_Broch_T124DE_TEAM_DE_DE_HiRes.pdf.coredownload.pdf) (17. 03. 2017).

Ullrich, A.; Fürst, Ch. (2017): Vollautomatischer Ansatz für die Onboard-Datenregistrierung im terrestrischen Laserscanning. In: Beiträge zum 165. DVW-Seminar Fulda 2017. Wißner, Augsburg.

Wirtgen Group (2024): Datenblatt SUPER 1800-3i Raupenfertiger. [https://www.wirtgen-group.com/binary/full/o229662v89\\_SUPER\\_18003\(i\)\\_SprayJet\\_Datasheet\\_deDE.pdf](https://www.wirtgen-group.com/binary/full/o229662v89_SUPER_18003(i)_SprayJet_Datasheet_deDE.pdf) (09. 2022).

Zurl, J. (2023): Video STRABAG: Scannen und 3D-Fräsen. <https://www.youtube.com/watch?v=KiRgflFzFYw> (25. 05. 2023).

## AUTOREN



**Dipl.-Ing. Nikolaus Studnicka**

RIEGL LASER MEASUREMENT  
SYSTEMS GMBH

Riedenburgstraße 38 | 3580 Horn | Österreich  
nstudnicka@riegl.com | <http://www.riegl.com>



**Jacob Zurl**

VERMESSUNGSTECHNIKER  
STRABAG AG – HOCH- INGENIEUR-  
UND VERKEHRSWEGEBAU

Wiener Straße 15 | 8644 Kindberg-Mürzhofen | Österreich  
jacob.zurl@strabag.com | ORCID: 0009-0005-3097-0651