



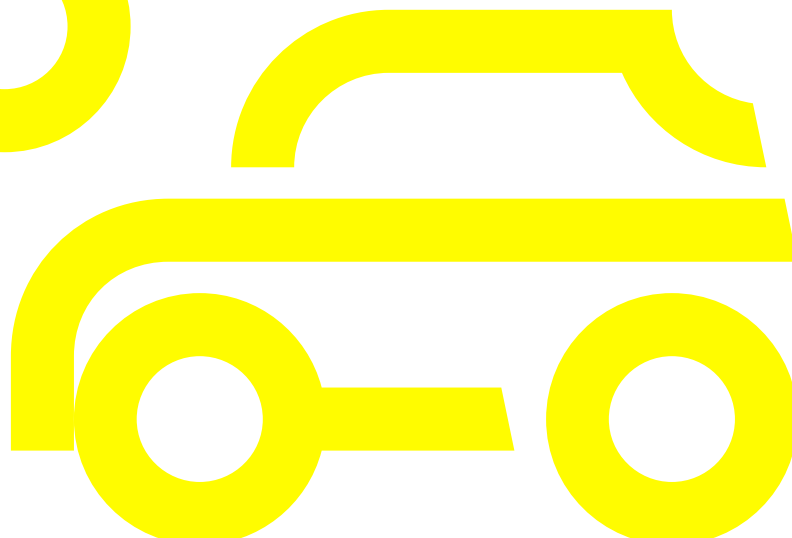
Baden-Württemberg
Ministerium für Verkehr

Anlage 4

Straßenscan

Handbuch

Qualitäts-Straßenbau Baden-Württemberg 4.0
QSBW 4.0



Im Folgenden werden die Grundlagen der Erfassung mit einem Straßenscan sowie die Parameter definiert, die für die abschließende Auswertung erforderlich sind. Darüber hinaus wird beschrieben, wie die Datenaufbereitung zu erfolgen hat.

Die Festlegungen auf Kapitelebene 1 und 2 sind bindend.

In den Kästchen (Kapitelebene 3) finden sich ergänzende Hinweise zum Gesamtverständnis und für die Leistungsbeschreibung und Eignungsbeschreibung.

1. Vermessungstechnische Erfassung der Straßenoberfläche

Die vermessungstechnische Erfassung ist in zwei Projektphasen relevant:

- **Planungsbegleitende Vermessung**
- **As-Built-Dokumentation**

Die **planungsbegleitende Vermessung** dient der Beurteilung der Quer- und Längsneigung sowie der Identifizierung möglicher Verformungen. Sie stellt die Grundlage zur Optimierung der Planung dar. Die Beurteilung der Bestandssituation wird hierdurch erleichtert und eine abschnittsweise Detailplanung kann fachlich fundiert erfolgen. Zudem bildet sie die Grundlage für die sachgerechte Auswertung der Georadaraufnahmen.

Die **As-Built-Dokumentation** dient dem Nachweis der ausgeführten Qualität.

3D Straßenscan



Abbildung 1: Ablauf der Arbeitsschritte für einen 3D-Straßenscan für beide Projektphasen.

Die Leistungen zur vermessungstechnischen Erfassung können gesondert ausgeschrieben oder in Eigenleistung erbracht werden.

2. Geodätischer Raumbezug

Die verbindlichen Regelungen zum Bezugssystem sind im Leistungsverzeichnis bzw. in dessen Anlagen (z. B. AIA bei BIM-Projekten) festzulegen. Die Bezugssysteme sind in die Örtlichkeit zu übertragen. Zunächst sind Festpunkte, Passpunkte und Zwangspunkte zu definieren. Anschließend erfolgt der hochauflösende Straßen-scan. Sämtliche Daten dienen als Grundlage für die spätere Planung des Fräshorizontes. Bei Nutzung einer linearen Referenz sind die Achspunkte gegebenenfalls in die Örtlichkeit zu übertragen.

2.1 Bezugssystem Typen

Für die vermessungstechnische Aufnahme der Fahrbahnoberfläche sind zwei geodätische Bezugssystemtypen relevant:

2.1.1 Lineares System

Beispielsweise die Bestandsachse der vorhandenen Fahrbahn als lokales, relatives Bezugssystem. Die Bestandsachse kann auf Grundlage der vermessungstechnischen Aufnahme definiert werden und dient als Bezugssystem für relative Auswertungen sowie Qualitätsbeurteilungen. Alle weiteren Messungen, beispielsweise Georadar oder Fertigungsfortschritt, sind auf dieses lineare System zu transformieren.

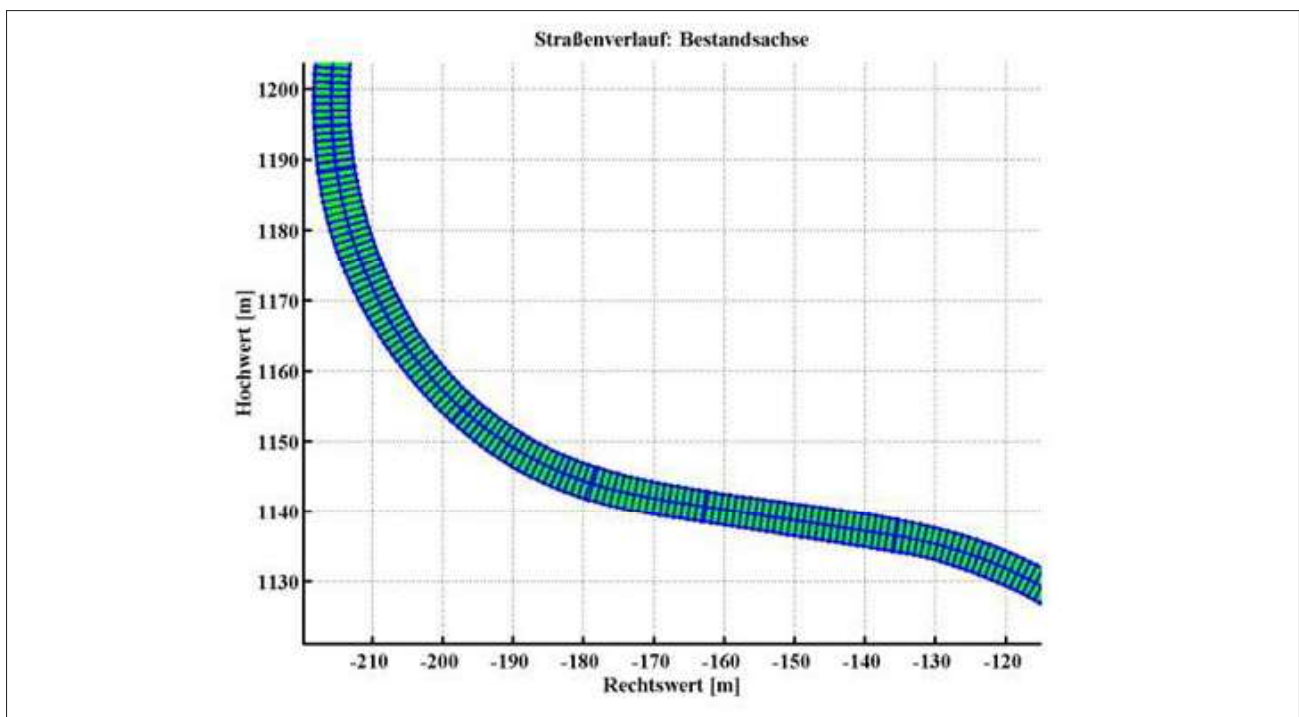


Abbildung 2: Straßenverlauf – Bestandsachse mit Querprofilen

2.1.2 Landeskoordinatensystem

Sofern erforderlich, ist ein Festpunktfeld einzurichten, das einen einheitlichen geodätischen Bezugsrahmen für Planung, Ausführung und Qualitätsprüfung gewährleistet.

2.1.3 Realisierung der Bezugssysteme

Die Bezugssysteme sind in die Örtlichkeit zu übertragen. Zunächst sind Festpunkte, Passpunkte und Zwangspunkte festzulegen. Die Genauigkeitsanforderungen sind im Leistungsverzeichnis zu definieren

2.1.4 Anforderungen Festpunkte

Vor der Durchführung des Straßenscans sind ein Festpunktfeld und Passpunkte zu definieren, welche als Verankerung zur Einbindung der 3D-Vermessung verwendet werden. Hierfür werden Festpunkte auf dem Streckenabschnitt geodätisch eingemessen. Diese sind im Koordinaten- und Höhensystem der Planung zu erfassen und dem Auftraggeber zu übergeben.

Für den Straßenscan ist ein Passpunktfeld mit Passpunkt-Paaren in einem Abstand von ca. 150 m einzurichten. Die Passpunkte sind jeweils am äußeren Fahrbahnrand in beiden Fahrtrichtungen zu setzen. Die Passpunkte sind dauerhaft zu vermarken, z. B. durch einen Nagel. Der Abstand der Passpunkte dient der Sicherstellung der Qualität des Straßenscans. Messtechnisch entspricht der Abstand der Passpunkte einem Zeitintervall, innerhalb dessen das eingesetzte Messsystem gewährleisten muss, dass die Messunsicherheit innerhalb der vorgegebenen Anforderungen bleibt.

Daraus folgt, dass beim 3D-Straßenscan eine Mindestgeschwindigkeit nicht unterschritten werden darf, z. B.:

- 10 m/s (36 km/h)
oder
- 15 s Zeitdifferenz zwischen zwei Passpunkten

Anforderungen:

- Festpunkte außerhalb des Baufeldes
- Abstand ca. 500 m
- Abstand zum Baufeldrand i. d. R. ≤ 10 m
- Messunsicherheit in der Lage (Rechts- und Hochwert): ≤ 1 cm (RVerm $\sigma \leq 1,5$ cm)
- Messunsicherheit in der Höhe: ≤ 1 mm (RVerm $\sigma \leq 0,5$ cm)

2.1.5 Anforderungen an Passpunkte

Die folgenden Anforderungen sind einzuhalten:

- Die Passpunkte sind dauerhaft zu vermarken und zusätzlich optisch zu kennzeichnen.
- Die optische Kennzeichnung dient der sicheren Erkennung und Messung der Passpunkte in den Laserscanner-Messdaten.
- Die Sollmaße der jeweils verwendeten optischen Kennzeichnung müssen bekannt sein (Beispiele siehe Abb. 3).
- Die Dichte der Scanlinien bzw. der Scanpunkte auf dem Passpunkt muss den Anforderungen an die Punktdichte entsprechen.

Beispiel: Ein typischer Vermessungsscanner liefert ca. 1 Mio. Punkte pro Sekunde bei einer Frequenz von 200 Scanumdrehungen/s und 5000 Messpunkten pro Umdrehung. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 10 m/s beträgt der Abstand der Scanlinien ca. 5 cm. In 3 m Entfernung zum Scanner liegen ca. 250 Punkte auf einem 1 m langen Abschnitt einer Scanlinie. Dies entspricht etwa 5000 Punkten pro Quadratmeter.

- Ein Passpunkt sollte aufgrund des Scanlinienabstandes mindestens 5 Scanlinien abdecken und somit mindestens 25 cm groß sein.
- Dies gilt sowohl für Schwarz-Weiß-Markierungen bzw. Tafeln als auch für kreisförmige Markierungen (siehe Abb. 3).
- Da die Passpunktkoordinaten aus den Scannermessungen integral über die Passpunktfläche ermittelt werden, dürfen innerhalb dieser Fläche keine größeren Unebenheiten, Stufen oder Krümmungen vorhanden sein.
- Es ist sicherzustellen, dass kein signifikanter Höhenunterschied zwischen dem Passpunktnagel (z. B. als Höhenbezugspunkt für das Nivellement) und der optischen Passpunktmarkierung besteht Zwangspunkte.



Abbildung 3: Beispiele für Passpunktmarkierungen

- Links außen: Markierung an einer Betonleitwand
- Links Mitte: Tafel auf einem Steckzapfen bei einer Tunnelvermessung (Bild aus Scannerdaten)
- Rechts Mitte: Bodenmarkierung auf Beton
- Rechts außen: Bodenmarkierung mit Nagel und Kreis aus Sprühkreide

2.1.6 Anforderung zu Stationsangaben von Meilensteinen in Linearen Bezugssystemen

In der Straßenbauverwaltung ist über die Straßeninformationsbank die Referenz der Stationierung geben. Da eine exakte Trasse geometrie nicht zwangsläufig vorliegt bzw. eine Baumaßnahme über mehrere Netzabschnitte ausgedehnt ist, kann eine Baustellenkilometrierung (Stationierung) entlang einer ermittelten Bestandsachse eingeführt werden.

Zum gegenseitigen Überführen der Linearen Systeme ist in diesem Fall die Angabe von gemeinsamen Orten (Meilensteine) jeweils mit Angabe der Station (Lineare Referenz) sowie ggf. eines Maßstabs zwingend erforderlich. Beispielsweise die Bestandsachse (Bau) startet (Kilometer^{Bau}=0,000km) auf dem Netzabschnitt 7419 033 – 7419 044 bei Station^{SIB} 0,200km. Neben der Angabe der Station ist stets auch die Angabe von Koordinaten vorzusehen.

Es können neben den Anfangspunkt auch weitere Meilensteine notwendig bzw. zweckmäßig sein wie z.B. beim Bau über mehrere Netzabschnitte oder die exakte Angabe der Station von Bohrungen.

Die Nutzung der Stationierungskennzeichen entlang der Trasse ist i.d.R. nicht zweckmäßig, da die Genauigkeitsanforderung an die Stationierungskennzeichen und die des Baus nicht identisch sind.

2.2 Erfassung der Zwangspunkte

Zusätzlich zur Aufnahme des Festpunkt- und Passpunktfeldes sind im Streckenverlauf Zwangspunkte zu definieren. Diese sind sowohl im Zuge der Vorbereitung als auch im Rahmen der Planung zu berücksichtigen.

Als Zwangspunkte gelten insbesondere:

- Straßenanschlüsse
- Bauwerke
- Entwässerungseinrichtungen
- Randeinfassungen
- sonstige konstruktive Elemente mit Einfluss auf die Gradienten- oder Querprofilgestaltung

Ausführung

Die Zwangspunkte sind im Rahmen einer geodätischen Erfassung aufzunehmen, sofern diese im 3D-Scan nicht mit hinreichender Sicherheit identifiziert und lage- sowie höhenmäßig bestimmt werden können.

Anforderungen:

- Erfassung sämtlicher Zwangspunkte, die Einfluss auf das Höhenprofil der Strecke haben
- Die Anforderungen an Art, Umfang und Genauigkeit der Erfassung sind im Leistungsverzeichnis bzw. in der Leistungsbeschreibung festzulegen.

3. Ablauf eines Laserscans der Straßenoberfläche inkl. Auswertung

Vor Beginn der Sanierungsarbeiten ist eine detaillierte Oberflächenvermessung der gereinigten Fahrbahn einschließlich der Randbereiche als Laserscan durchzuführen. Die Parameter zur Definition der Genauigkeit sind im Leistungsverzeichnis bzw. in der Leistungsbeschreibung festzulegen. Die endgültige Höhenplanung bzw. das Deckenbuch basiert auf den Ergebnissen der Laserscan-Aufnahme und wird durch den Auftraggeber oder ein beauftragtes Planungsbüro begleitet.

3.1 Festlegungen zum Laserscan

Die Festlegungen zur Qualität des Laserscans bzw. dessen Auswertung (Kap. 3.1.1.) sind im Leistungsverzeichnis bzw. -beschreibung. Der qualifizierte Einsatz der Scan-Technologie (Kap. 3.1.2.) ist im Rahmen der Auswahl der Vermessungsbüros durch Eignungskriterien zu definieren.

3.2 Hinweise zur Ausführung

In der Leistungsbeschreibung sind die zu erfassende Objekte einschließlich der geforderten Genauigkeiten zu benennen. Die Qualitätssicherung ist zu beschreiben. Das Oberflächenmodell ist mit definierter Schnittstelle und Genauigkeit zu fordern.

3.2.1 Qualifikation der eingesetzten Messsysteme und Auswerteprozesse

Die eingesetzten Messsysteme haben ihre Qualifikation schriftlich nachzuweisen.
Der Nachweis darf nicht älter als 1 Jahr sein.

Solange keine einschlägigen Prüfvorschriften oder unabhängigen Prüforgane für Mobile-Mapping-Systeme definiert sind, kann der Auftragnehmer den Nachweis selbst führen.

Der Nachweis muss mindestens folgende Kriterien enthalten:

- Art und Anzahl der eingesetzten Sensoren (GNSS, Inertialsystem, Scanner) mit Typ, Baujahr und Herstellerspezifikation
- Messunsicherheiten in Lage und Höhe anhand einer Stichprobe von mindestens 10 koordinatenmäßig bekannten Punkten aus einer Kontroll- oder Kalibriermessung über ca. 500 m
- Nachweis der Einhaltung der Messunsicherheit bei Überfahrt eines Hindernisses (z. B. Sleeping Policeman)
- Mehrfacher Nachweis der Messunsicherheit über eine Aufnahmebreite von 12–15 m
- Nachweis der zulässigen Messunsicherheit der Querneigung des Messfahrzeuges
- Nachweis der Drift in Lage und Höhe bei drei unabhängigen Fahrten über 1 km ohne GNSS-Stützung durch Vergleich mit Passpunkten (ca. alle 150 m)
- Nachweis der Homogenität der Punktwolken nach Homogenisierung
- Bei Systemen mit mehreren Scannern: Nachweis der Abweichungsfreiheit zwischen den Scannern durch Vergleich geeigneter Quer- und Längsprofile

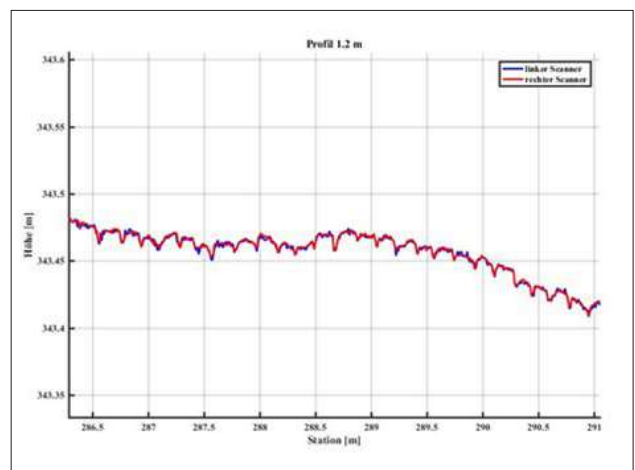
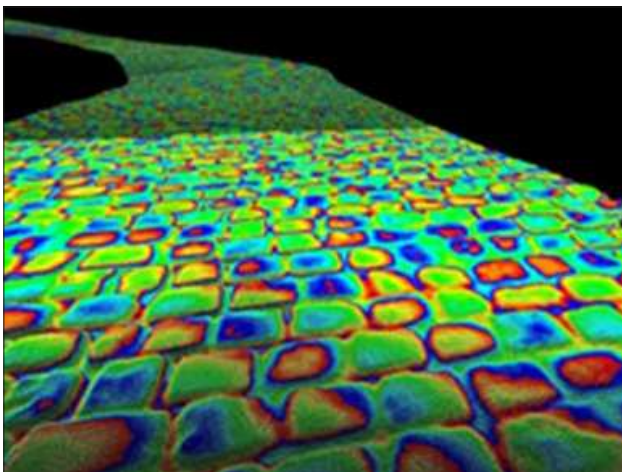


Abbildung 6

links: Laserscannerdaten einer Kopfsteinpflasterstrecke (eingefärbt nach Höhe)

rechts: Prüfung der Übereinstimmung der Punktwolken von Scanner 1 und Scanner 2 im Längsprofil

3.2.2 Durchführung des Straßenscans

Voraussetzung ist eine trockene und saubere Fahrbahn.

Bankett und Fahrbahnrande sind vorab freizulegen. Lücken in den Scandaten, z. B. durch überholende Fahrzeuge, sind zu minimieren. Der Auftraggeber kann Lückenfreiheit fordern. In diesem Fall ist jede Fahrspur separat zu befahren.

3.2.3 Passpunktanpassung

Für die Passpunktanpassung sind die Scanpunkte integral über die jeweilige Passpunktfläche auszuwerten. Die Abweichungen der Trajektorien zu den Passpunkten sind vor und nach Anpassung zu dokumentieren. Für jeden Passpunkt ist die Messunsicherheit in Lage und Höhe anzugeben.

3.2.4 Längsprofile

Die Extraktion des rechten und linken Fahrbahnrandes sowie der Fahrbahnmitte hat als Längsprofil auf Grundlage der homogenisierten und passpunktangepassten Punktwolke zu erfolgen. Die Längsprofile sind stationsbezogen entlang der Baustellenkilometrierung zu erzeugen.

3.2.5 Darstellung von Querneigungswechseln

Im Bereich von Querneigungswechseln ist eine gesonderte Auswertung vorzunehmen. Die Darstellung hat in regelmäßigen Abständen von **1,0 m** zu erfolgen.

Die Auswertung beginnt 15 m vor und endet 15 m hinter dem jeweiligen Querneigungswechsel.

Darzustellen sind mindestens folgende Parameter:

- Stationierung
- Höhe rechter Fahrbahnrand
- Höhe linker Fahrbahnrand
- Höhe Fahrbahnmitte
- resultierende Querneigung

Die Darstellung ist so aufzubereiten, dass der geometrische Verlauf des Querneigungswechsels eindeutig nachvollziehbar ist.

3.2.6 Datenbereitstellung

Die Übergabe an den Auftraggeber erfolgt digital als:

- PDF-Datei
- OKSTRA-XML ggf. nach Freigabe durch den AG
- DWG-Format (Version 2018 oder älter)
- LandXML-Format (DGM) zur verlustarmen Weiterverarbeitung der Achs- und Profildaten.

3.3 Kontrollmessung

Kontrolle der flächendeckenden 3D-Vermessung mittels Totalstation in einem Raster von ca. 50 × 50 m. Die geforderten Messunsicherheiten, insbesondere in der Höhe, sind einzuhalten.

3.4 Auswertung des Oberflächenmodells

Auswertung bezogen auf die Bestandsachse auf Grundlage der homogenen, passpunktangepassten Punktwolke mit Fokus auf kurz- und langwellige Unebenheiten. Art und Umfang der Auswertung bestimmt der Auftraggeber. Typischerweise ausreichend: Raster 50 × 50 cm mit einer Höhenauflösung von 1 mm oder besser. Grafische Darstellung des IST-Zustandes als Draufsicht mit farblicher Kennzeichnung der Abweichungen („Headmap“) zum Ideal-Design.

Bereitstellung als PDF sowie im LandXML-Format; optional zusätzlich im DWG-Format (Version 2018 oder älter).

3.5 Planung auf Basis der Punktwolke

Die Planung erfolgt durch den Auftraggeber oder ein Planungsbüro.
Eine Beauftragung der ausführenden Firma ist nicht zweckmäßig.

3.6 Detailplanung Fräsen und Belag

- Erstellung eines Ideal-Designs auf Grundlage des Oberflächenmodells
- Überlagerung der Bohrkerndaten mit dem Auf- und Abtragsmodell („Headmap“) zur Festlegung der Frästiefen, sodass keine dünnen Fräsreste (< 6 cm) verbleiben
- Abstimmung des finalen Designs mit dem Auftraggeber und Vorstellung der Ergebnisse

3.7 Ausführungsplanung

Erstellung des finalen Designs und Umwandlung in ein 3D-Modell zur Maschinensteuerung von Fräse und Belagsarbeiten.

3.8 Qualitätskontrolle Fräsen

Nach dem Fräsen erfolgt ein grafischer IST-/SOLL-Abgleich. Zusätzlich ist eine Kontrollmessung mittels Totalstation im Raster 50×50 m durchzuführen. Dies bildet die Grundlage für die Freigabe zum Asphaltbau.

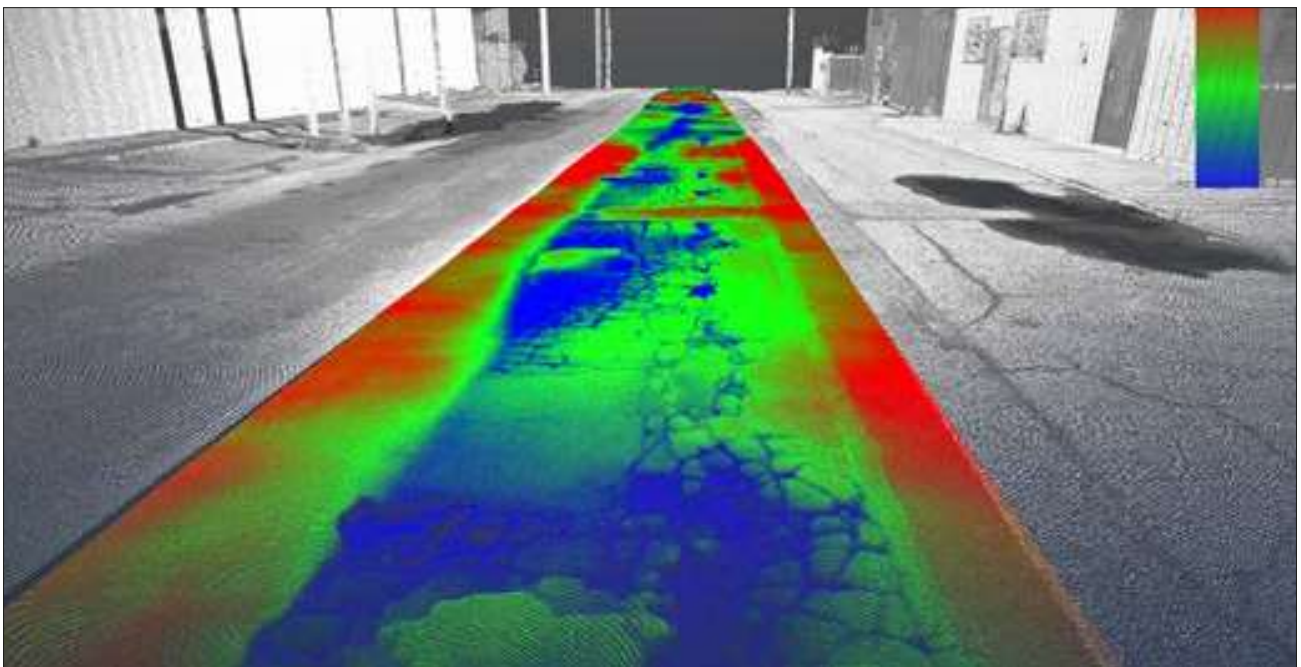


Abbildung 7: Graphische Darstellung der Differenzen Soll-IST eines hochauflösenden Oberflächenmodells zur geplanten Fahrbahn

3.9 As-Built-Dokumentation

Nach Asphalteinbau ist ein erneuter Scan der Deckschicht mit IST-/SOLL-Abgleich durchzuführen.

- Passpunktanpassung und Auswertung wie zuvor beschrieben
- Extraktion der Längsprofile mit Darstellung der Querneigungswechsel (XXX m; ± 15 m)
- Bereitstellung als PDF und OKSTRA-XML / ggf. LandXML (für DGM) Punktwolke LAZ
- Ermittlung des finalen Oberflächenmodells

Typischerweise: Raster 10×10 cm mit 0,1 mm Höhenauflösung. Analyse von Längs- und Querebenheit, z. B. durch Simulation eines Planographen (Längsprofil) und einer 2 m oder 4 m Latte (Querprofil). Vergleich der Ist-Oberfläche mit der geplanten Oberfläche und geeignete graphische Darstellung. Die Qualitätsbewertung erfolgt nach TP-Ebenheit. Bei identifizierten Qualitätsdefiziten ist eine vertiefte Prüfung vor Ort mit geodätischen Mitteln (z. B. TLS) durchzuführen.

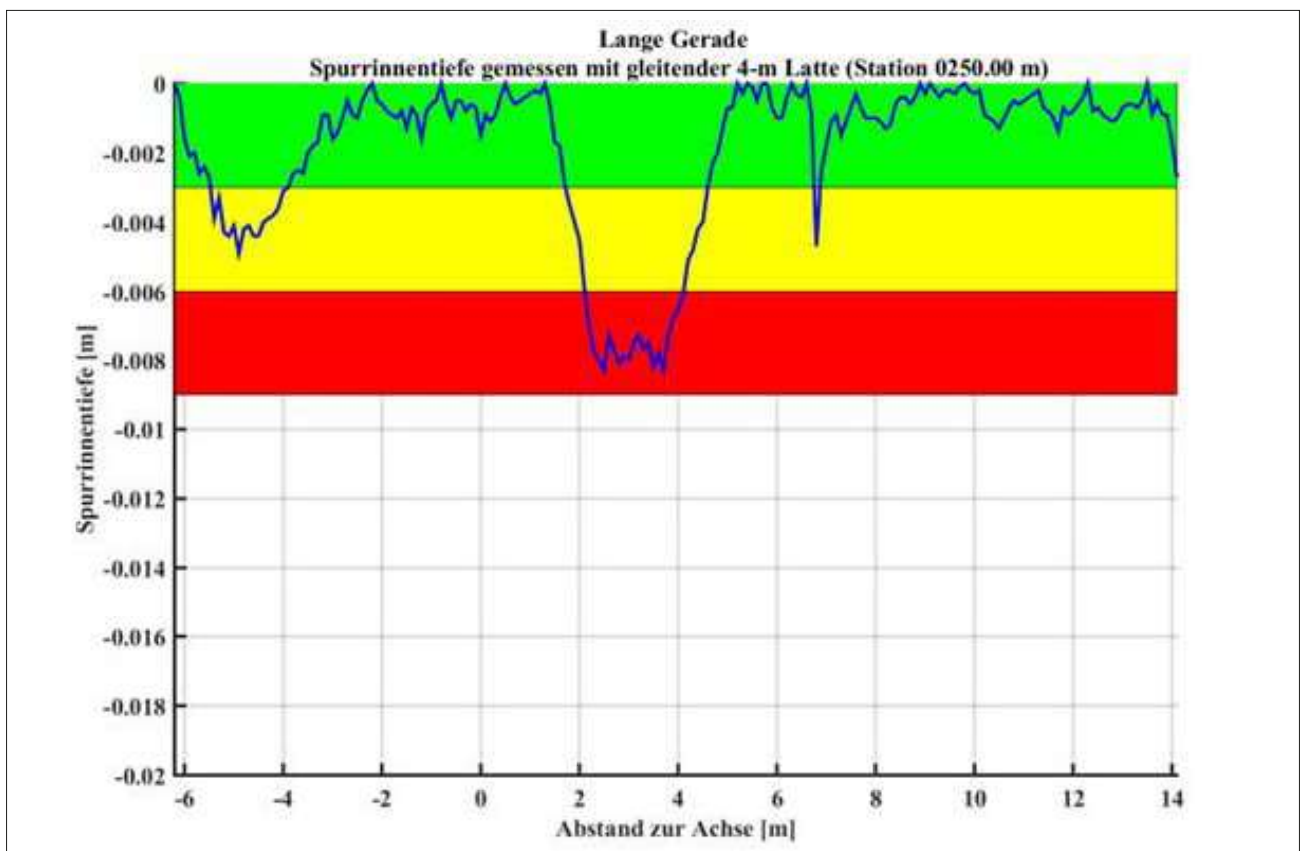


Abbildung 8: Analyse der Spurrinnentiefe einer simulierten 4 m Latte