

Praxisberichte zum Einsatz fahrzeuggestützter Mobile-Mapping-Systeme für Bestands- und Kontrollvermessungen

Slaven KALENJUK

Amt der Vorarlberger Landesregierung, slaven.kalenjuk@vorarlberg.at

DOI: [10.3217/978-3-99161-070-0-029](https://doi.org/10.3217/978-3-99161-070-0-029), CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

Diese CC-Lizenz gilt nicht für Materialien von Dritten und anderweitig gekennzeichnete Inhalte.

1 Einleitung

Die intensive Auseinandersetzung mit fahrzeuggestützten Mobile-Mapping-Systemen (MMS) begann für den Autor im Jahr 2016 an der Technischen Universität Graz. Die Forschungsfrage lautete, ob mittels Mobile Mapping Neigungsänderungen und Verformungen an Stützkonstruktionen in einem für die Zustandsbewertung relevanten Niveau „im Vorbeifahren“ feststellbar sind. Um die technologischen Grenzen des Machbaren auszuloten, kamen seinerzeit ausschließlich High-End-Systeme zum Einsatz. Die Technologie war zu diesem Zeitpunkt im österreichischen und allgemein im deutschsprachigen Raum noch wenig verbreitet. Der operative Einsatz sowie das Investitionsrisiko lagen fast ausschließlich in den Händen spezialisierter Dienstleister, mit denen für diese Projekte eng zusammengearbeitet wurde.

Doch abseits dieser spezialisierten Überwachungsaufgaben drängten sich für Infrastrukturbetreiber zunehmend weitere Anwendungsfelder auf. Insbesondere die effiziente Bestandsaufnahme langer Straßenzüge unter fließendem Verkehr oder die Dokumentation von Tunnelbauwerken stellten Anforderungen an Sicherheit und Wirtschaftlichkeit, die mit klassischen statischen Verfahren kaum noch zu bewältigen sind.

Durch technologische Fortschritte bei inertialer Messtechnik und Laserscannern aus dem Automotive-Bereich haben sich die Rahmenbedingungen geändert. Die gesunkenen Einstiegskosten machen den Eigenbetrieb von Mobile-Mapping-Systemen mittlerweile auch für Ingenieurbüros wirtschaftlich interessant. Vor diesem Hintergrund widmet sich der vorliegende Beitrag einer zentralen Fragestellung: Inwieweit lassen sich diese modernen, kostengünstigeren MMS-Lösungen tatsächlich qualifiziert für anspruchsvolle ingenieurgeodätische Bestands- oder Kontrollvermessungen einsetzen, und wo liegen im Vergleich zu den High-End-Erfahrungen früherer Jahre die heutigen Grenzen?

2 Technologische Grundlagen und Systemwahl

2.1 Profilscanner und Multi-Beam LiDAR

Bei der Auswahl eines Mobile-Mapping-Systems wird der verbaute Laserscanner häufig als das vermeintlich wichtigste Entscheidungskriterium herangezogen, da seine technischen Kennwerte die Eignung für bestimmte Aufgabenbereiche vorgeben.

Liegt der Anspruch auf höchster Präzision im Nahbereich, dominieren Systeme mit 2D-Phasenvergleichsmessern (z. B. Zoller + Fröhlich 9012¹), wie sie etwa im Siteco Road-Scanner 4 oder im Leica Pegasus:Two Ultimate integriert sind. Für hohe Reichweiten und Filterung von mehreren Returns bieten sich Profilscanner mit Full-Waveform-Analyse von Riegl an (verbaut in eigenen Riegl-MMS oder Systemen der Trimble MX-Serie). Auch Hersteller wie Teledyne Optech (z. B. im Lynx oder Leica Pegasus TRK Neo Reihe) oder Trimble bieten in diesem High-End-Segment etablierte Sensorlösungen an.

Disruption durch Laserscanner für den Automotive-Bereich

Jenseits der klassischen geodätischen High-End-Systeme (vgl. Spezifikationen in Tabelle 1) hat die Massenproduktion von LiDAR-Sensoren für das autonome Fahren eine neue Sensorklasse hervorgebracht. Exemplarisch für diese Entwicklung stehen der Hesai Pandar XT32 sowie dessen speziell für UAV-Mapping optimierte Variante, der XT32M2X. Diese Modelle verdeutlichen eindrücklich, dass kritische Parameter wie das Entfernungsrauschen (Range Noise) und die Kalibrierungsstabilität inzwischen ein Niveau erreicht haben, das auch für geodätische Anwendungen interessant ist.

Im Gegensatz zu konventionellen Einzelsensor-Spiegelscannern basieren diese Systeme auf einem rotierenden Sensorkopf mit einem Array aus 32 Laserdioden (Multi-Beam), welche mittels gepulster Laufzeitmessung Distanzen erfassen. Eine technische Besonderheit betrifft die Winkelbestimmung: Während die vertikalen Abstrahlwinkel durch die feste Anordnung der Kanäle systembedingt fixiert sind, wird der Horizontalwinkel nicht über einen klassischen Winkeldecoder an einem Spiegel, sondern über die Rotationsgeschwindigkeit des Kopfes (z. B. 20 Hz) in Relation zur Zeitstempelung der Messung abgeleitet.

Die geringe Masse, die niedrigen Systemkosten und die hohe Integrationsflexibilität führten zu einer raschen Adaption des Hesai Pandar XT32 durch Systemintegratoren, zunächst vor allem im nordamerikanischen Raum für das UAV-basierte Mobile Mapping (u. a. Rock Robotics, Phoenix LiDAR oder Inertial Labs). Die dort gesammelten Praxiserfahrungen bestätigten die Einsatzfähigkeit der Sensorik und zogen in der Folge weitere Produktentwicklungen, etwa in Europa (z. B. Lidareto), nach sich. In Kombination mit den reduzierten Einstiegshürden trug diese Entwicklung wesentlich zu einer breiteren Verfügbarkeit und zur Demokratisierung des fahrzeuggestützten Mobile Mappings bei.

¹ Soweit nicht gesondert gekennzeichnet, entstammen alle in diesem Beitrag genannten technischen Leistungsdaten und Spezifikationen den offiziellen Datenblättern und Produktbroschüren der jeweiligen Hersteller (Stand: Januar 2026). Auf eine detaillierte Einzelreferenzierung wird zugunsten der Lesbarkeit verzichtet.

Tabelle 1: Technische Spezifikationen ausgewählter Laserscanner für Mobile-Mapping-Systeme

	Riegl VUX-1HA	Z+F Profiler 9012	Hesai XT32M2X	Teledyne CL-360
Messprinzip	Time-of-Flight (Waveform)	Phasenvergleich	Time-of-Flight	Time-of-Flight
Wellenlänge	1550 nm	1550 nm	905 nm	1550 nm
Strahldivergenz	0,5 mrad	0,16 mrad	3,7 / 0,8 mrad	0,3 mrad
Reichweite (Max)	475 m (300 kHz)	119 m	300 m	750 m
Reichweite (10%)	~150 m	k.A.	80 m	130 - 205 m
Genauigkeit	5 mm	≤ 1 mm (Lin. u. Rauschen)	10 mm	5 mm
Messrate	1,8 Mio. Pkt/sek	1 Mio. Pkt/sek	0,64 Mio. (Single Return)	0,5 Mio. (bis 2 Mio. eff.)
Scanfrequenz	250 Hz (Linien)	200 Hz (Linien)	5-20 Hz (Frame)	250 Hz (Linien)
Gewicht	3,5 kg	4,8 kg	0,49 kg	3,5 kg
Preisklasse	High-End	Mittel/High-End	Einstieg	Mittel/High-End

2.2 Die Inertiale Messtechnik (IMU)

Während der Laserscanner maßgeblich die Auflösung und Reichweite der Punktwolke definiert, entscheidet die Qualität der Inertialen Messeinheit (Inertial Measurement Unit, IMU) über die geometrische Richtigkeit der Trajektorie, insbesondere in Bereichen ohne GNSS-Empfang.

Traditionell dominierten im High-End-Segment (z. B. Applanix POS LV in Riegl-VMX-Systemen oder der Trimble-MX-Serie) faseroptische Kreisel (Fiber Optic Gyroscopes, FOG). Diese Systeme nutzen den Sagnac-Effekt, um Drehraten präzise zu messen. Sie zeichnen sich durch extrem geringes Rauschen und eine hohe Bias-Stabilität (< 0,01°/h) aus, sind jedoch kostenintensiv und unterliegen teils Exportbeschränkungen (iMAR NAVIGATION 2026).

Demgegenüber stehen moderne MEMS-Sensoren (Micro-Electro-Mechanical Systems) auf Silizium- oder Quarz-Basis. Diese messen Drehraten über vibrierende Strukturen unter Nutzung der Corioliskraft (INERTIAL LABS 2025). Obwohl sie physikalisch bedingt ein höheres Rauschen aufweisen, haben sie durch technologische Sprünge massiv an Leistungsfähigkeit gewonnen. Sie erreichen heute den sogenannten „Tactical Grade“ und bilden die Basis kosteneffizienter, aber dennoch präziser MMS-Lösungen.

Die wahre Leistungsfähigkeit einer IMU offenbart sich bei GNSS-Signalausfällen, wie beispielsweise in Tunneln. Da die Positionsbestimmung auf der zweifachen Integration der

Beschleunigungsmesswerte beruht, akkumulieren sich Sensorfehler nicht linear, sondern überproportional.

Besonders kritisch wirkt sich hierbei ein konstanter Fehler in der Orientierungsmessung (Gyroskop-Bias) aus. Dieser führt dazu, dass der Vektor der Erdbeschleunigung fehlerhaft in den Raum projiziert wird. Das Navigationssystem interpretiert diesen Projektionsfehler fälschlicherweise als horizontale Beschleunigungskomponente. Die Folge ist ein Positionsfehler, der mit der dritten Potenz der Zeit (t^3) anwächst (NovATEL 2014).

Während High-End-FOG-Systeme diesen Drift durch physikalische Stabilität begrenzen, erzielen moderne MEMS-Lösungen ihre Konkurrenzfähigkeit primär durch die Prozessierung (INERTIAL LABS 2025; BUSINESS GEOMATICS 2024). Entscheidend sind hierbei Dual-Antennen-Konfigurationen, die das Heading extern stützen und eine saubere Initialisierung vor Tunneleinfahrten gewährleisten, sowie Software-Algorithmen (Vorwärts-/Rückwärtsrechnung) zur Rauschminimierung. Durch diese Kombination nähern sich heutige „Tactical-Grade“-MEMS, wie z. B. Epson G370, im Post-Processing Leistungsbereichen an, die lange Zeit ausschließlich Faserkreiseln vorbehalten waren (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Systemspezifikationen unterschiedlicher MMS-Systeme nach 60 s GNSS-Ausfall (Post-Processing)

System	Roll & Ptich RMS [°]	Heading RMS [°]	Positionsgenauigkeit RMS [m]	IMU
Trimble MX9	0.005	0.015	0.1	Applanix AP60
Riegl VMX-2HA	0.005	0.015	0.1	Applanix AP60
Leica Pegasus Ultimate:Two*	0.004*	0.013*	0.01*	iMAR FSAS
Lidarett	0.005	0.012	0.17	Epson G370

*Spezifikation lt. Datenblatt für den GNSS-Ausfall von 10s.

3 Einflussfaktoren im operativen Einsatz

Um die Datenqualität zu bewerten, ist ein Blick auf die Funktionsweise der *direkten Georeferenzierung* vorteilhaft. Die zugrundeliegende Gleichung beschreibt die Transformation eines gemessenen Punktes vom lokalen Scannersystem \mathbf{s} in das globale erdfeste System \mathbf{p} :

$$\mathbf{p} = \mathbf{r}(t) + \mathbf{R}(t) \cdot (\mathbf{R}_b \cdot \mathbf{s} + \mathbf{a}). \quad (1)$$

Dabei setzen sich die Komponenten wie folgt zusammen:

- **Trajektorie ($\mathbf{r}(t), \mathbf{R}(t)$):** Die absolute Position und Orientierung des Fahrzeugs im Raum, bestimmt durch die GNSS/IMU-Einheit.
- **Systemkalibrierung (\mathbf{a}, \mathbf{R}_b):** Der Hebelarm (Offset \mathbf{a}) und die Winkelablage (Boresight \mathbf{R}_b) zwischen Scanner und IMU.
- **Scanner (\mathbf{s}):** Der eigentliche Messwert (Distanz und Winkel) des Laserscanners.

Die Formel verdeutlicht, dass die Koordinate p das Resultat aus dem Zusammenspiel aller Teilkomponenten ist. Selbst ein hochpräziser Scanner (s) liefert ein fehlerhaftes Ergebnis, wenn die Kalibrierung (a, R_b) unzureichend oder die Trajektorie (r, R) verrauscht ist.

3.1 Kalibrierung (Boresight Alignment)

Die Parameter Hebelarm und Boresight beeinflussen systematisch jeden Messpunkt. Da eine Werkskalibrierung nach dem Transport und der Montage am Einsatzort nicht zwingend ihre Gültigkeit behält, ist eine Validierung im Feld ratsam. Während der Hebelarm meist geometrisch konstruiert oder tachymetrisch eingemessen werden kann, erfordert die Bestimmung der Boresight-Winkel eine nachträgliche Analyse der Punktwolken.

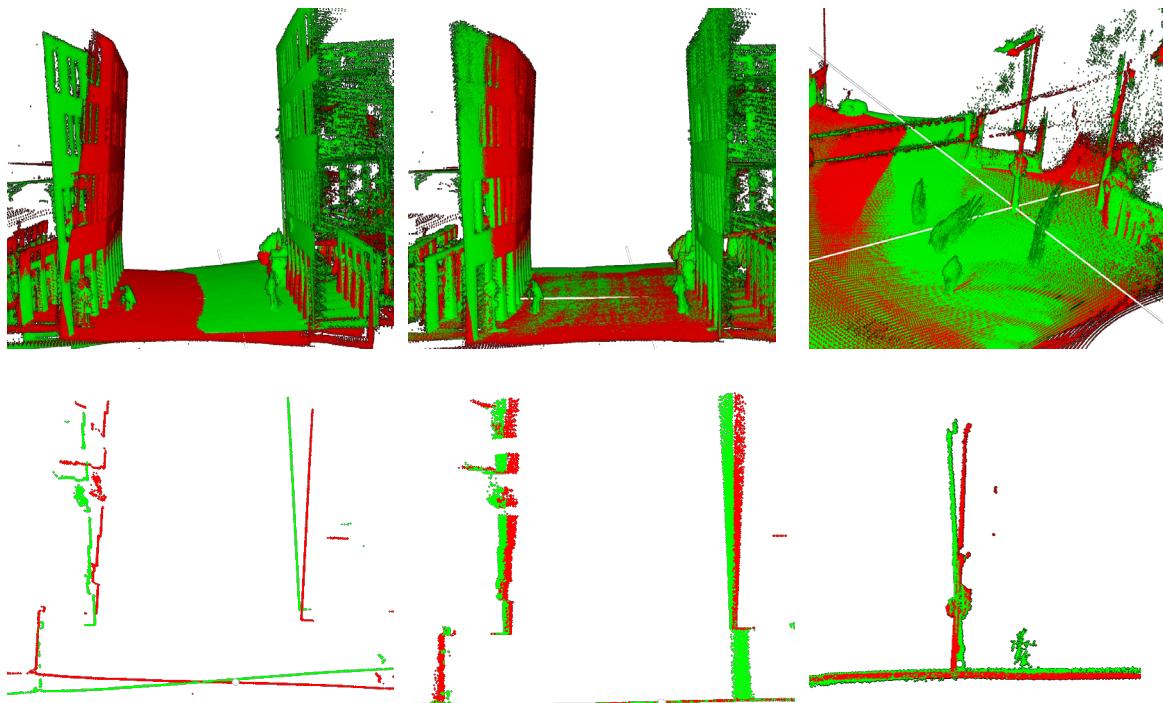


Abb. 1: Visualisierung systematischer Boresight-Fehler in 3D- (oben) und Schnittansicht (unten). Dargestellt sind die Auswirkungen fehlerhafter Rotationen um die Längs- (Roll, links), Hoch- (Heading, Mitte) und Querachse (Pitch, rechts).

In der Praxis hat sich folgendes Vorgehen bewährt: Eine kurze Kalibrierungsfahrt unter guten GNSS-Bedingungen, bei der markante Objekte (Fassaden, Masten) in entgegengesetzter Fahrtrichtung erfasst werden.

Die resultierenden Fehlerbilder äußern sich dabei charakteristisch in Längs- oder Querversätzen (vgl. Abb. 1):

- Roll (Rotation um die Längsachse): Sichtbar im Querschnitt zur Fahrtrichtung (linke Spalte Abb. 1). Bei fehlerhaftem Roll-Winkel verlaufen Boden und Wände der Hin- und Rückfahrt nicht deckungsgleich, sondern sind gegeneinander verkippt.

- Heading (Rotation um die Hochachse): Sichtbar im Querschnitt oder der Draufsicht. Ein falscher Gierwinkel führt zu einem lateralen Versatz an vertikalen Strukturen. Wände erscheinen dadurch „doppelt“ oder unnatürlich dick (mittlere Spalte Abb. 1).
- Pitch (Rotation um die Querachse): Sichtbar im Längsschnitt (in Fahrtrichtung, Abb. 1 unten). Vertikale Objekte (z. B. Laternenmasten) stehen nicht lotrecht übereinander, sondern kippen in entgegengesetzte Richtungen auseinander (rechte Spalte Abb. 1).

3.2 Fahrparameter

Hinsichtlich der Punktverteilung ist beim Hesai Pandar XT32M2X die diskrete vertikale Winkelauflösung der 32 Laserkanäle (ca. $1,3^\circ$) der limitierende Faktor. Um eine hinreichende Längsüberdeckung sicherzustellen, empfiehlt sich daher eine Fahrgeschwindigkeit von maximal 20 m/s (vgl. Tabelle 1). Für konventionelle Profilscanner hingegen ergibt sich der Profilabstand in Fahrtrichtung direkt aus dem Verhältnis von Fahrgeschwindigkeit zu Rotationsfrequenz.

3.3 Genauigkeitssteigerung am Beispiel von Tunnelvermessungen

Die ersten drei MMS aus Tabelle 2 kamen unter anderem zur Vermessung einer Stützmauer unmittelbar nach dem Tanzenbergtunnel entlang der Semmering Schnellstraße S6 bei km 76,8 (RFB Bruck/Mur) eingesetzt (KALENJUK & LIENHART 2022). Im Gegensatz zu den idealisierten Herstellerangaben (vgl. Tabelle 2) ist hier, bedingt durch die Tunnellänge, mit einem GNSS-Ausfall von gut zwei Minuten zu rechnen (markierter Bereich in Abb. 2 links).

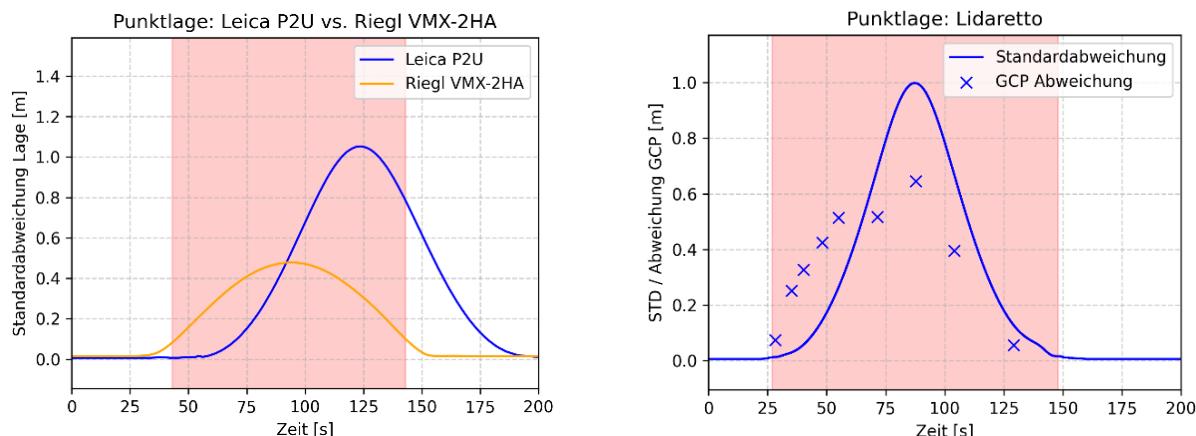


Abb. 2: Geschätzte Punktlagegenauigkeit für zwei High-End MMS während der Aufnahme des Tanzenbergtunnels (links, markierter Bereich ohne GNSS) und der geschätzten Lagegenauigkeit während der Aufnahme bei Warth mit dem Lidarett System (rechts)

Als Resultat weist die Trajektorie in der Tunnelmitte geschätzte Lageunsicherheiten von bis zu 0,5 m (Riegl VMX-2HA) bzw. 1,0 m (Leica Pegasus:Two Ultimate) auf (Abb. 2 links). Die georeferenzierten Punktwolken am Tunnelausgang zeigen zueinander Abweichungen von 5 cm bis 30 cm (KALENJUK & LIENHART 2022). Fehlen Passpunkte, verbleibt als einzige

Korrekturmöglichkeit das sogenannte Multipass-Alignment, bei dem Mehrfachfahrten rechnerisch in Übereinstimmung gebracht werden. Dieses Verfahren ist insbesondere für Anwendungen mit Sub-Zentimeter-Anforderungen relevant (KALENUK & LIENHART 2024).

Das kostengünstige Lidareto System (Tabelle 2) mit dem Hesai PandarXT32M2X (Tabelle 1) zeigt bei einem ähnlich langen Ausfall von knapp zwei Minuten bei Warth in Vorarlberg (Abb. 2 rechts), vergleichbare statistische Maße in der kombinierten Trajektorienlösung (ausgewertet in Inertial Explorer) wie das Leica Pegasus Ultimate:Two mit der iMAR FSAS IMU. Zur Steigerung der erzielten Genauigkeit wurden folgende Schritte gesetzt:

1. Zweifache Befahrung des Abschnitts und relative Angleichung der Punktwolken mittels Multipass-Alignment.
2. Einführung von Passpunkten aus früheren tachymetrischen Bestandsaufnahmen zur Kontrolle und Stützung der absoluten Lage (siehe Abb. 4).

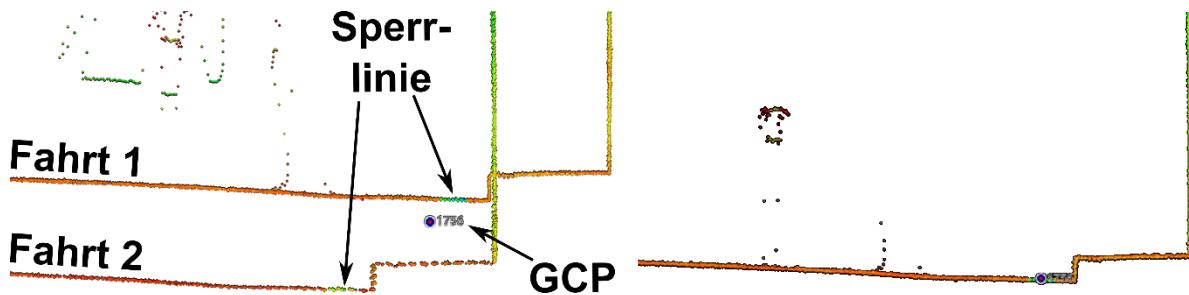


Abb. 4: Darstellung der georeferenzierten Punktwolken zweier Fahrten vor (links) und nach (rechts) der Anpassung mittels Multipass-Alignment und Kontrollpunkten

Die maximale Lageabweichung betrug in der Tunnelmitte ohne diese Stützung circa 65 cm. Auch wenn für die Kampagne beim Tanzenbergtunnel keine Kontrollmessungen vorlagen, sind bei derart langen GNSS-Ausfällen selbst für High-End-Systeme Abweichungen zu erwarten, welche die üblichen Toleranzen in der Vermessung übersteigen. Dies relativiert den wirtschaftlichen Mehrwert hochpreisiger Hardware, da auch diese ohne zusätzliche Passpunktstützung in solchen Szenarien zu ungenau werden.

4 Beispiele für Bestands- und Kontrollvermessungen

4.1 Bestimmung von Durchfahrtshöhen

Lichte Durchfahrtshöhen sind insbesondere für bewilligungspflichtige Sondertransporte (SOTRA) von Relevanz. Hier zählt mitunter jeder Zentimeter, weshalb nach Sanierungsmaßnahmen auch bei vorliegenden Bestandsdaten eine neuerliche Vermessung erforderlich ist. Erfahrungswerte belegen, dass sich lichte Höhen durch Belagsinstandsetzungen oder Brückensanierungen um bis zu 8 cm ändern können. Bislang erfolgten derartige Aufnahmen meist terrestrisch, was in langen Galerien und Tunneln eine Vielzahl an Standpunkten erforderte, um alle Details lückenlos zu erfassen.

Im Januar 2024 wurde die Vermessung der Flexengalerie, eines historischen und markanten Teilstücks der Lechtalstraße mit halboffenen Galerien und Tunneln, angefragt. Ausgehend von der ursprünglich nur drei Meter breiten Trasse und den Erweiterungen der 1930er Jahre wurde die Fahrbahn zuletzt Anfang der 2000er Jahre abgesenkt, um die Strecke für den Schwerverkehr tauglich zu machen. Durch diese stetigen Anpassungen entstand eine komplexe Struktur, in der sich gewachsener Fels mit modernen Betonflächen und zahlreichen Balkenelementen abwechselt (siehe Abb. 5). Aufgrund dieser enormen Detaildichte und der räumlichen Enge wäre eine klassische Vermessung nicht effizient umsetzbar gewesen, zumal der dichte Reiseverkehr in die Skigebiete Warth und Arlberg keine aufwendigen Arbeiten auf der Fahrbahn zulassen würde.



Abb. 5: Strukturelle Details der Flexengalerie. Die komplexe Geometrie und die wechselnden Oberflächen verdeutlichen die hohen Anforderungen an die Bestandsaufnahme.

Datenaufnahme und Auswertung

Mit zweimaliger Sperre von knapp 5 Minuten konnte die Flexengalerie abschattungsfrei und ungehindert in beiden Richtungen aufgenommen werden. Zur Stützung der Trajektorie wurden Messpunkte im Fels aus früheren Vermessungen herangezogen. Die Punktdichte (Multiplass-Alignment) als auch die Genauigkeit (Kontrollpunkte) konnten mit dieser Methode gesteigert werden (siehe Kapitel 3.3).

Die Auswertung von Punktfolge zur Ableitung lichter Durchfahrtshöhen erfolgt nach folgendem Schema:

1. Klassifizierung der Punktfolge in die Kategorien „Boden“ und „Nicht-Boden“
2. Berechnung von Oberflächenmodellen für beide Klassen
3. Ableitung des Differenzhöhenmodells

Diese Berechnung dient als Vorabauswertung zur ersten Einschätzung für die zuständigen Sachbearbeiter des SOTRA-Antrags. Bei besonders knappen Platzverhältnissen sind zusätzlich Parameter wie Einfahrtsrampen, Radstände und Querneigungen relevant. Solche detaillierten Analysen erfolgen im Bedarfsfall in der Software TopoDOT.

Datenbereitstellung

Die Ergebnisse werden als QGIS-Projekt im landesinternen Netzwerk bereitgestellt, bei dem die Differenzhöhenmodelle als GeoTIFF, die Punktfolgen als cloud-optimized point clouds

(COPC) sowie Höhenschichtenlinien als Vektordatensatz einfach eingesehen, analysiert und exportiert werden können (siehe Abb. 6).

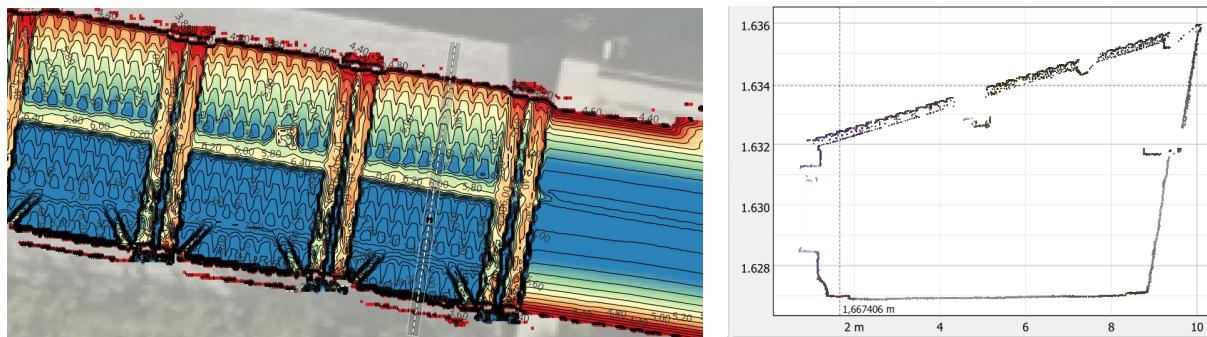


Abb. 6: Bereitstellung der Daten in QGIS als farbkodierte Differenzhöhenmodelle (links) und Punktwolken zur 3D oder Profilansicht (rechts)

4.2 Kontrollvermessungen und Beweissicherung

Stabilitätskontrolle Steinschlichtungen

Die Möglichkeit zur großflächigen Bestandsvermessung bietet für die Überwachung von Infrastruktur- und Schutzbauwerken im alpinen Raum wesentliche Vorteile. Derzeit werden erste Steinschlichtungen in Vorarlberg (siehe Abb. 7) mit einem auf dem Hesai Pandar XT32M2X basierenden System (Lidarett) einer Nullmessung unterzogen, um diese in der Folge zyklisch zu kontrollieren.

Die Duktilität der Bauwerke, d.h. die Eigenschaft, Verformungen bis zu einem gewissen Grad aufzunehmen, rechtfertigt dabei den Einsatz einer kosteneffizienten Mobile-Mapping-Strategie. Eine gänzlich andere Situation ergibt sich bei geankerten Stahlbetonbauwerken. Da diese nur minimale Verformungen tolerieren, ist eine Überwachung mit höchster Präzision erforderlich. Bei diesen Anforderungen stoßen selbst aktuelle High-End-Systeme ohne spezieller Nachbearbeitung an ihre Leistungsgrenzen (KALENJUK & LIENHART 2024).

Die absolute Referenzierung der Steinschlichtungen ist über signalisierte Bodenpunkte und großformatige Zielzeichen vorgesehen. Aufgrund der begrenzten Punktdichte und Datenqualität wird auf ein epochenübergreifendes Multipass-Alignment (vgl. KALENJUK & LIENHART 2022) verzichtet.



Abb. 7: Foto der Vermarkung diskreter Einzelpunkte für die tachymetrische Aufnahme (links) und vollflächige Information der abgewickelten RGB-Punktwolke (rechts).

Die Ergebnisübergabe erfolgt konventionell mittels technischer Berichte. Hierfür wird die Punktfolge entlang der Trassenachse abgewickelt und grafisch in das Dokument eingebunden. Die Darstellung erfolgt dabei wahlweise in Echtfarben (RGB) oder als Falschfarbenansicht zur Visualisierung der Verformungen.

Beweissicherung Straßensetzung

Im Zuge von Baumaßnahmen auf einem angrenzenden Privatgrundstück entstand der Verdacht einer unzureichenden Hangsicherung. Es bestand die Sorge, dass diese Eingriffe die Stabilität des Untergrunds beeinträchtigen und Setzungen des Straßenkörpers verursachen könnten.

Wie sich herausstellte, wurde der betroffene Bereich bereits zehn Tage zuvor im Rahmen der Durchfahrtshöhenbestimmung (Abb. 8 links) erfasst. Dies unterstreicht den Mehrwert des „Capture Once, Use Many“-Prinzips: Einmal erhobene Daten lassen sich effizient für unvorhergesehene Fragestellungen nutzen (Olsen et al. 2013). In diesem konkreten Fall wurden die MMS Daten durch statische Einzelpunktmessungen ergänzt.



Abb. 8: Zustandserfassung mittels Panoramakamera (links) und Orthofoto und Punktfolge des Straßenbereichs mit Neubau (rechts)

4.3 Planungsgrundlagen und Dokumentation

Im Zuge von Bauprojekten dienen Aufnahmen des Naturstands einerseits als Planungsgrundlage vor Baubeginn und andererseits zur Dokumentation nach der Fertigstellung. Bei komplexen Straßenverhältnissen erweist sich die Vermessung jedoch als zeitintensiv und birgt entlang stark oder schnell befahrener Abschnitte (vgl. Abb. 9) ein Sicherheitsrisiko für das Personal.

Zwar verspricht die Vermessung im fließenden Verkehr eine deutliche Steigerung von Effizienz und Sicherheit, doch darf ein wesentlicher Aspekt nicht vernachlässigt werden. Da Baumaßnahmen meist mit Grundablösen verbunden sind, ist ein Abgleich zwischen dem Naturstand und dem Kataster erforderlich. Aus diesem Grund sind beim Einsatz von Mobile Mapping zwei Punkte zu berücksichtigen:

1. Anschluss an das amtliche Festpunktfeld
2. Überführung der vollflächigen, dreidimensionalen Bestandsaufnahme in eine klassische planliche Darstellung gemeinsam mit dem Katasterstand

Analog zu punktuellen, GNSS-gemessenen Punkten, erfolgt der Anschluss beim Mobile-Mapping über eine Transformation, die über die nächstgelegenen Festpunkte bestimmt wird. Die Höhenkomponente wird dabei über GNSS-gemessene Punkte mit bekannter Gebrauchshöhe in die Bestimmung der Transformationsparameter integriert (2D+1D). Da gängige Softwarelösungen eine solche spezifische Transformation für Punkt wolken oft nicht unterstützen, wurden die entsprechenden Algorithmen in eigens entwickelten Programmen implementiert.

Im Anschluss an die Georeferenzierung folgt die Auswertung, in der aus der vollflächigen Punkt wolke die planungsrelevanten Kanten und Objekte extrahiert werden. In der Praxis erweist sich dieser Schritt als der zeitaufwändigste Teil der Prozesskette. Die Wahl geeigneter Auswertesoftware ist daher kritisch, denn Funktionen wie halbautomatische Kantenextraktion, das Fitten vordefinierter Templates oder dynamische Profilansichten sind maßgeblich, um diesen Prozess wirtschaftlich abwickeln zu können.

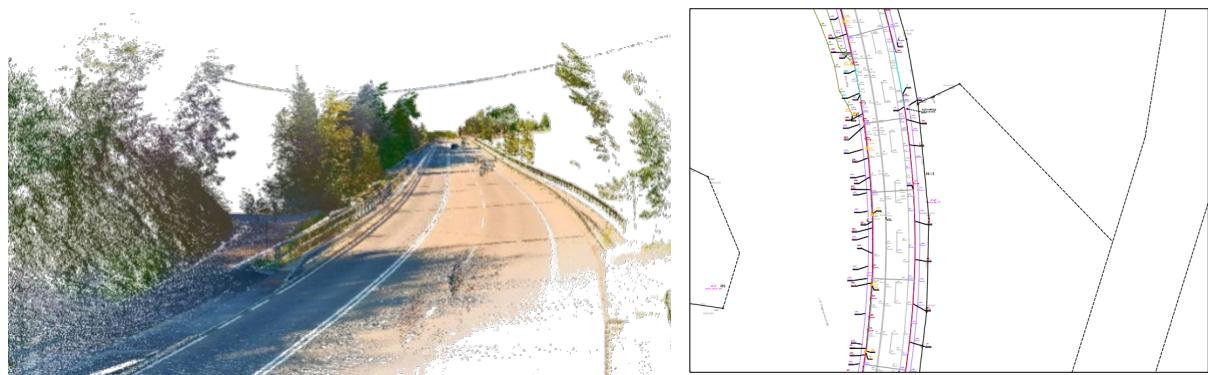


Abb. 9: Bestandsaufnahme nach Sanierung der Hangbrücken Tuppen in Egg. Links ist die eingefärbte Punkt wolke, rechts die Plandarstellung der extrahierten Informationen mit Katasterstand

5 Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Beitrag wurden Erfahrungswerte mit High-End- und kostengünstigen Mobile-Mapping-Systemen (MMS) für Bestands- und Kontrollvermessungen geteilt. Die Ausführungen verdeutlichen, dass sich inzwischen insbesondere die kosteneffizienten Einstiegssysteme als eine valide und gewinnbringende Option für ingenieurgeodätische Bestandsvermessungen erweisen, sofern einige systembedingte Grundsätze beachtet werden.

Grundlage für diesen Qualitätssprung ist weniger die Hardware allein, sondern die Kombination aus modernen MEMS-Sensoren auf Quarz-Basis und einer ausgeklügelten Prozessierung (Vorwärts- Rückwärtsberechnungen, Integrationen von Dual-Antennen-Setups) in etablierter Software wie Inertial Explorer. Damit nähern sich diese Systeme einer Performance an, die lange Zeit ausschließlich dem High-End-Segment vorbehalten war.

Für den operativen Erfolg sind jedoch drei technische Parameter zu berücksichtigen:

- **Fahrgeschwindigkeit:** Sie muss auf die Rotationsfrequenz und die vertikale Winkelauflösung der Sensoren abgestimmt sein, um eine homogene Punktdichte in Fahrtrichtung zu gewährleisten.

- Passpunkt-Intervalle: Eine externe Stützung der Trajektorie bleibt essenziell. Die Erfahrungen zeigen, dass die zeitlichen Abstände in GNSS-abgeschatteten Bereichen (z. B. Tunnel) idealerweise unter 5 Sekunden liegen sollten, während bei guter Satellitenverfügbarkeit Intervalle von 10 Sekunden oder mehr realisierbar sind.
- Kalibrierung: Systematische Fehler (Boresight) sind idealerweise vor jeder Messfahrt durch Befahrungen in entgegengesetzter Fahrtrichtung zu kontrollieren.

Trotz der 3D-Datenerfassung bleibt der 2D-Lageplan ein zentrales Produkt, insbesondere wenn ein Abgleich zwischen Natur- und Katasterstand gefordert ist. Hierbei hat sich eine hybride Strategie bewährt, bei der grenzrelevante Punkte weiterhin statisch kontrolliert werden.

Der entscheidende Faktor für die Wirtschaftlichkeit liegt in der Prozessierung. Der Einsatz von Mobile Mapping führt zu einer Verlagerung der Arbeitslast vom Außen- in den Innendienst. Dieser Shift ist jedoch nur dann effizient, wenn die Auswertesoftware entsprechende Werkzeuge (z. B. halbautomatische Kantenextraktion, dynamische Profilansichten) bereitstellt. Andernfalls droht der Zeitgewinn auf der Straße durch einen unverhältnismäßig hohen manuellen Aufwand im Büro verloren zu gehen. Zudem korreliert der technologische Wandel mit einem angepassten Anforderungsprofil an das Personal: Die Qualitätssicherung und Interpretation der Daten setzen ein entsprechendes fachliches Know-how voraus. Sind diese Voraussetzungen erfüllt, lassen sich neben klassischen Plänen auch große Punktwolken (als COPC) und Derivate in interdisziplinären Prozessen integrieren.

Literatur

- BUSINESS GEOMATICS (2024). FOG-Leistung zum MEMS-Preis. <https://www.business-geomatics.com/fog-leistung-zum-mems-preis/> (09.01.2026)
- iMAR NAVIGATION GMBH (2026). Exporthinweise. <https://www.imar-navigation.de/de/kontakt/exporthinweise> (09.01.2026).
- INERTIAL LABS (2025): MEMS vs. FOG - What inertial system should you choose? White Paper. <https://inertiallabs.com/mems-vs-fog-what-inertial-system-should-you-choose/> (09.01.2026)
- KALENJUK, S. & LIENHART, W. (2022). A Method for Efficient Quality Control and Enhancement of Mobile Laser Scanning Data. In: Remote Sensing, 14(4), Artikel 857.
- KALENJUK, S. & LIENHART, W. (2024). Drive-by infrastructure monitoring: a workflow for rigorous deformation analysis of mobile laser scanning data. In: Structural Health Monitoring, 23(1), S. 94-120.
- NovAtel Inc. (2014): IMU errors and their effects. Application Note APN-064. <https://shop.novatel.com/s/contactsupport/article/IMU-Errors-and-Their-Effects-application-note> (09.01.2026).
- OLSEN, M. J., ROE, G. V., GLENNIE, C., PERSI, F., REEDY, M., HURWITZ, D., WILLIAMS, K., TUSS, H., SQUELLATI, A., & KNODLER, M. (2013): Guidelines for the use of mobile LIDAR in transportation applications (NCHRP Project 15-44). Transportation Research Board of the National Academies.