Terrestrischer Laser Scan und UAV-Photogrammetrie zur Erstellung einer Punktwolke und eines digitalen Geländemodels DGM auf der L 103a Zellwinkler Straße

Einleitung:

Im Rahmen geplanter Felssicherungsmaßnahmen an der L 103a Zellwinkler Straße wurde bei Straßenkilometer 2,0 ein instabiler Abschnitt innerhalb einer bis zu 40 m hohen Felswand festgestellt (Abbildung 1 und Abbildung 2). Neben einzelnen losen Felsblöcken mit Spannungsrissen waren oberhalb einer vorhandenen Böschung stark zerklüftete Felsrippen vorhanden. Aufgrund der unübersichtlichen Topographie war für eine fundierte Planung der geotechnischen Maßnahmen eine flächendeckende, hochauflösende Geländeaufnahme erforderlich. Die Wahl fiel auf eine kombinierte Erfassung mittels terrestrischem Laserscanning und photogrammetrische UAV-Aufnahme durch die Abteilung 9 V.

Abbildung 1: Fels mit Spannungsrissen

Abbildung 2: Felsbereich mit zerklüfteten Felsrippen

Datenerfassung und Auswertung mit der Leica Nova MS60 und der DJI Mavic 3 Pro:

Der terrestrische Scan des Geländes erfolgte mit der Leica Nova MS60, einer Multisensor-Station mit integriertem Laserscanner, die je nach Entfernung bis zu 30.000 Punkte pro Sekunde erfassen kann. Insgesamt wurden drei gezielte Scanbereiche definiert, die sowohl vom Boden aus erreichbaren Positionen, wie z.B. die Straßenoberfläche und der begehbare Böschungsbereich, als auch schwer zugängliche Bereiche, wie z.B. der obere Böschungs- und Felsbereich, umfassten.

Die terrestrischen Scans lieferten eine dichte Punktwolke mit hoher Genauigkeit, konnten aber allein keine vollständige Erfassung - insbesondere in überhängenden oder verdeckten Bereichen - gewährleisten.

Als Ergänzung wurde eine Befliegung mit einer DJI Mavic 3 Pro durchgeführt. Durch die freie Wahl der Flughöhe und des variablen Kamerawinkels konnte die Drohne zusätzliche Bilddaten aus Perspektiven liefern, die vom Boden aus nicht möglich gewesen wären.

Für die Erstellung der Punktwolke des terrestrischen Scans und der photogrammetrischen Aufnahmen wurde die Software Leica Infinty verwendet. Zuerst wurden die freien Stationierungen über die Passpunkte koordinativ bestimmt und daraus die Punkte der Scans berechnet. Die Markierung von gut sichtbaren Passpunkten in ausgewählten UAV-Bildern mit Markern ermöglichte die Verknüpfung mit bekannten Koordinaten und diente als Grundlage, um die aus den Aufnahmen abgeleitete Punktwolke zu georeferenzieren.

Die abschließende Integration der photogrammetrisch erzeugten Punktwolke mit den zuvor erfassten terrestrischen Scandaten erfolgte im Anschluss um eine konsistente, hochauflösende

Gesamtpunktwolke, Abbildung 3, welche die Felsbereiche in ihrer geometrischen Komplexität und räumlichen Ausdehnung vollständig und detailgetreu abbildet.

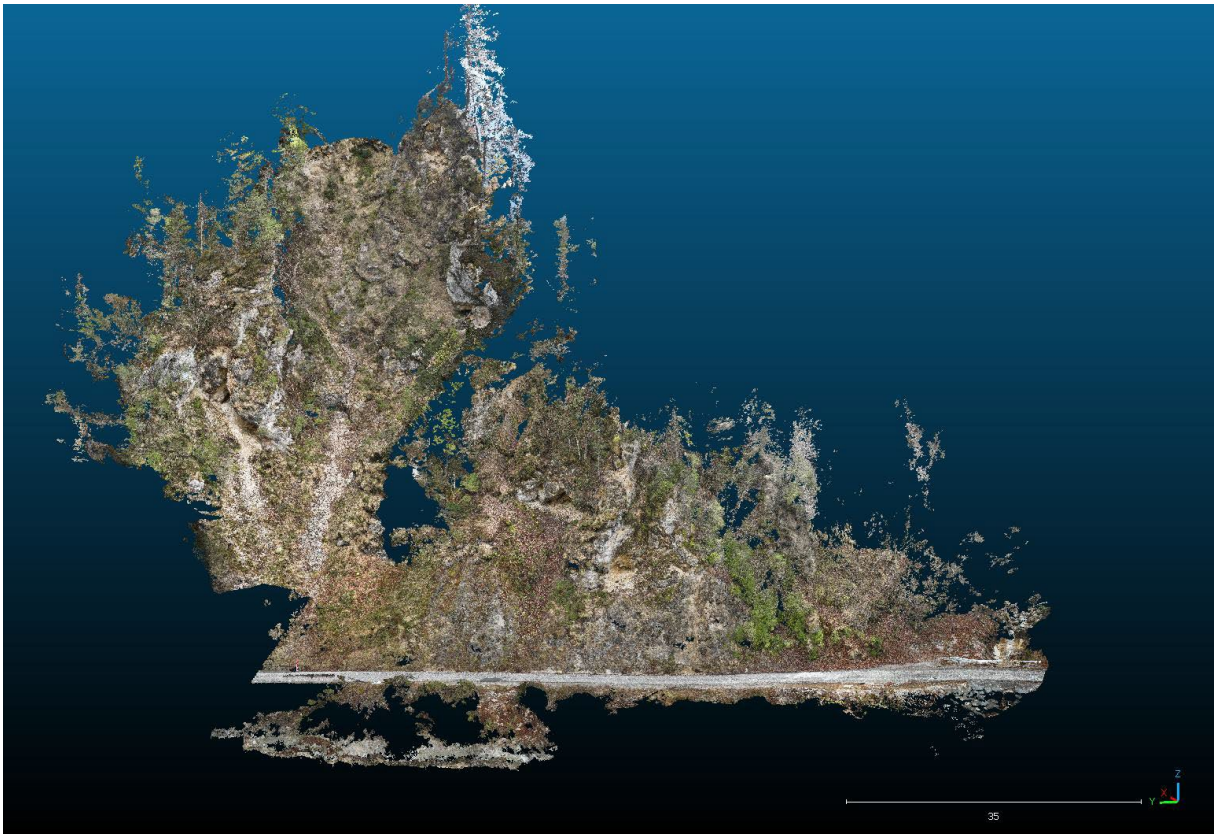

Abbildung 3: Gesamtpunktwolke aus terrestrischem Laserscan und UAV-Auswertung

Punktwolkenverarbeitung und Modellbildung:

Die fusionierte Punktwolke wurde zur Weiterverarbeitung in Leica Cyclone importiert, um eine Klassifikation der Objekte, z.B. Boden, Bewuchs, Fahrzeuge, Gebäude, usw., durchzuführen. Für dieses Testprojekt wurden ausschließlich automatisierte Verfahren eingesetzt. Leica Cyclone bietet hierfür mehrere integrierte Klassifikationsmethoden, u.a. die Trennung der Punkte nach geometrischen Merkmalen wie Punktdichte, Oberflächenneigung, Höhenlage sowie Reflexionsintensität.

Auf Basis dieser klassifizierten Bodenpunkte wurde ein Digitales Geländemodell (DGM) erzeugt, Abbildung 4. Dabei wurde das Delaunay-Triangulationsverfahren angewendet, das ein flächendeckendes Netz aus nicht überlappenden Dreiecken erzeugt und sich adaptiv an die Punktverteilung anpasst. In Bereichen mit steilem Relief oder hoher Punktdichte führte das Verfahren zu einer fein aufgelösten Struktur, wodurch topographische Details wie Böschungsbrüche oder Geländeübergänge präzise abgebildet werden konnten.

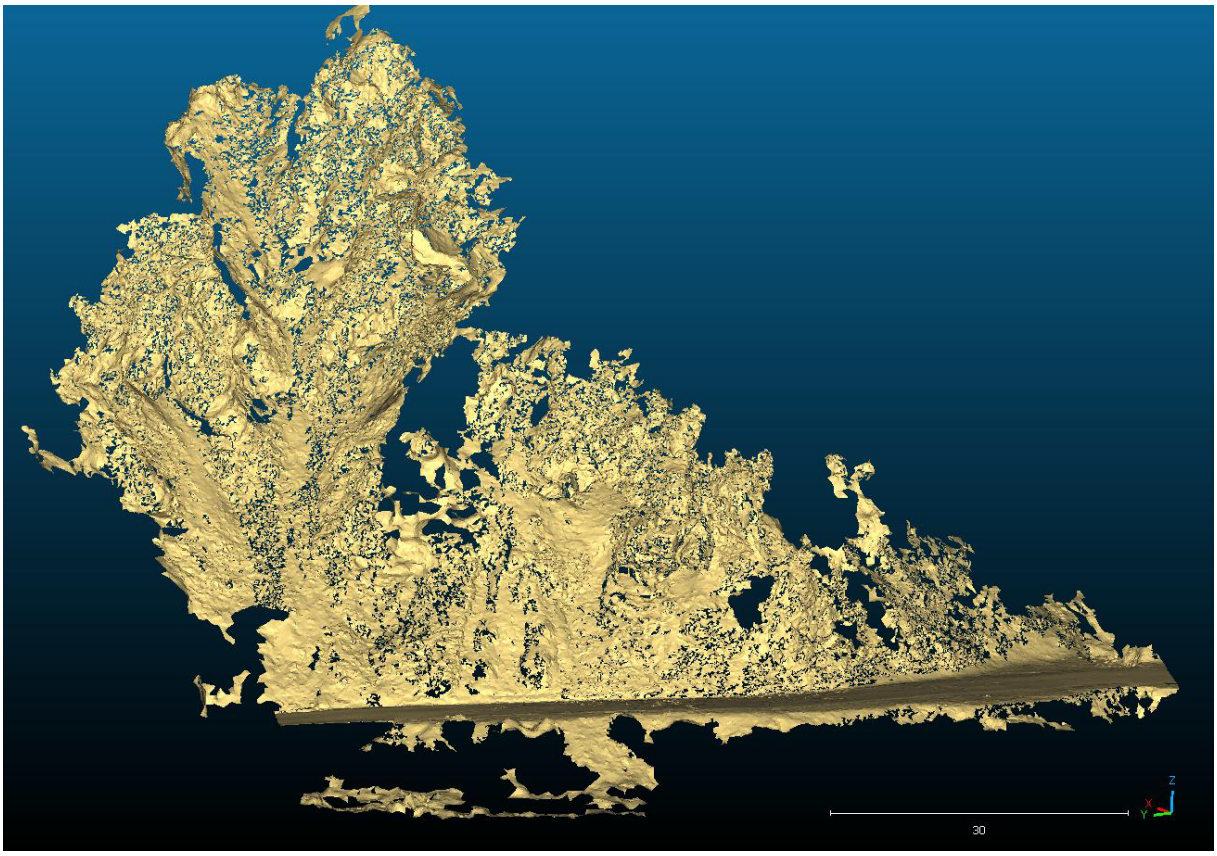

Abbildung 4: Digitales Geländemodell aus Dreiecksvermaschung der klassifizierten Geländepunkte

Das resultierende DGM kann für die weitere Verwendung in verschiedene Formate exportiert, z.B. als texturiertes Mesh für die Visualisierung sowie als Rastermodell für Analyse- und Simulationszwecke, werden.

Alternative Auswertung zu Leica Infinity:

Als alternative Auswertesoftware kamen Agisoft Metashape (https://www.agisoft.com/) sowie 3Dsurvey (https://3dsurvey.si/) zum Einsatz.

Agisoft Metashape bietet ein breites Funktionsspektrum im Bereich der photogrammetrischen Prozessierung, insbesondere zur Erstellung von Punktwolken, Digitalen Geländemodellen (DGM) und Orthophotos. Für geotechnische Fragestellungen und die weitere Verwendung in Bauprojekten - wie z.B. die Vermessung von Geländepunkten und Strecken, die Erstellung von Höhenschichtlinien und Querprofilen, Volumenberechnungen oder die Klassifizierung von Punktwolken - ist Metashape jedoch nur eingeschränkt geeignet.

Die mit 3Dsurvey erzeugte RGB-Punktwolke ist in der Abbildung 5 mit Höhenschichtlinien dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass zu diesem Zeitpunkt noch keine Klassifizierung von Boden und Vegetation durchgeführt wurde.

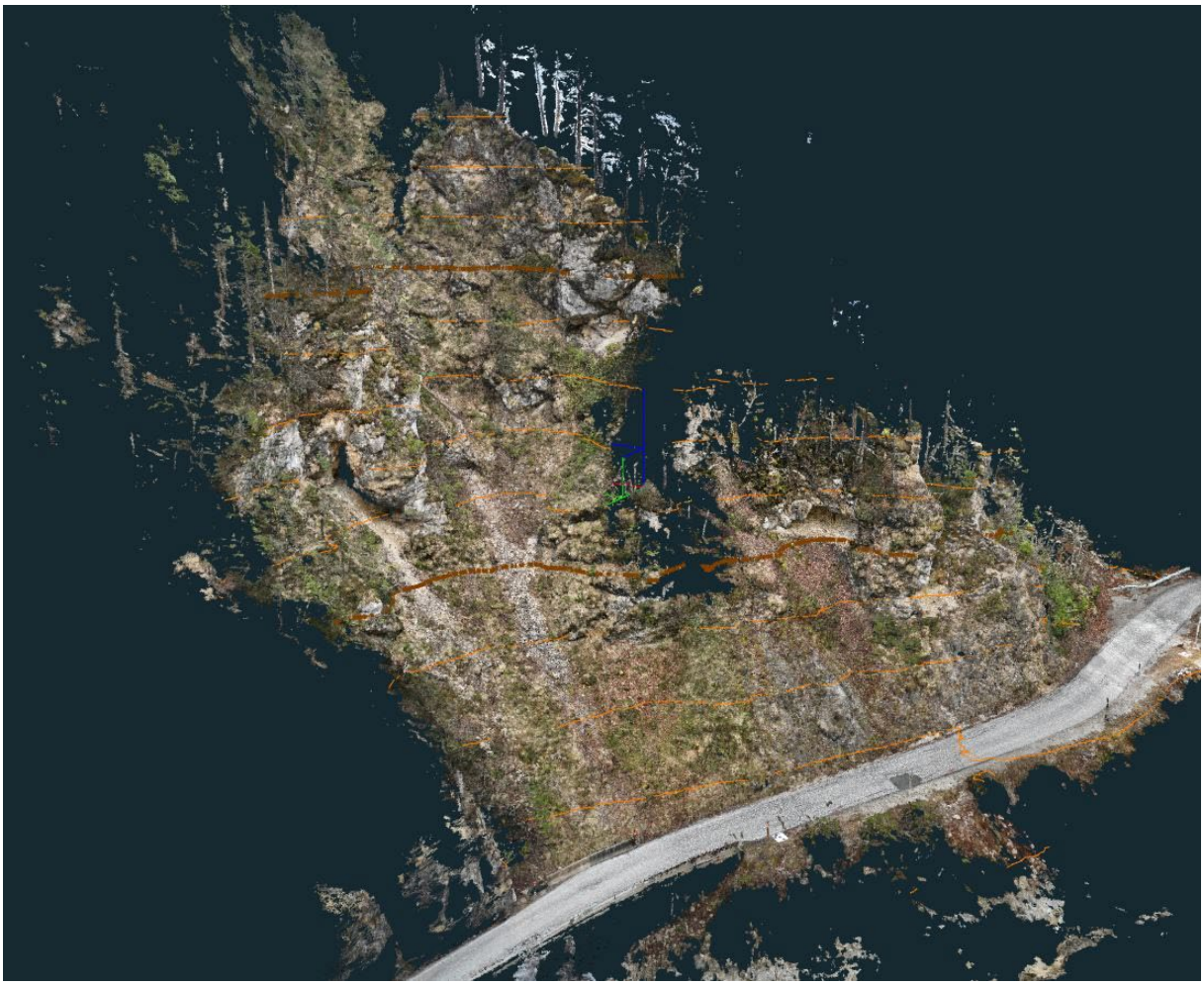

Abbildung 5: Punktwolke mit Höhenschichtlinien

Nach Durchführung der Klassifizierung und Entfernung der Vegetation konnte ein bereinigtes DGM auf Basis eines generierten Gitters erstellt werden. Zur besseren visuellen Analyse wurde das Geländemodell anschließend mit den RGB-Informationen des Orthophotos texturiert, Abbildung 6, sowie in einer farbcodierten Höhenkarte mit Skalierung dargestellt, Abbildung 7.

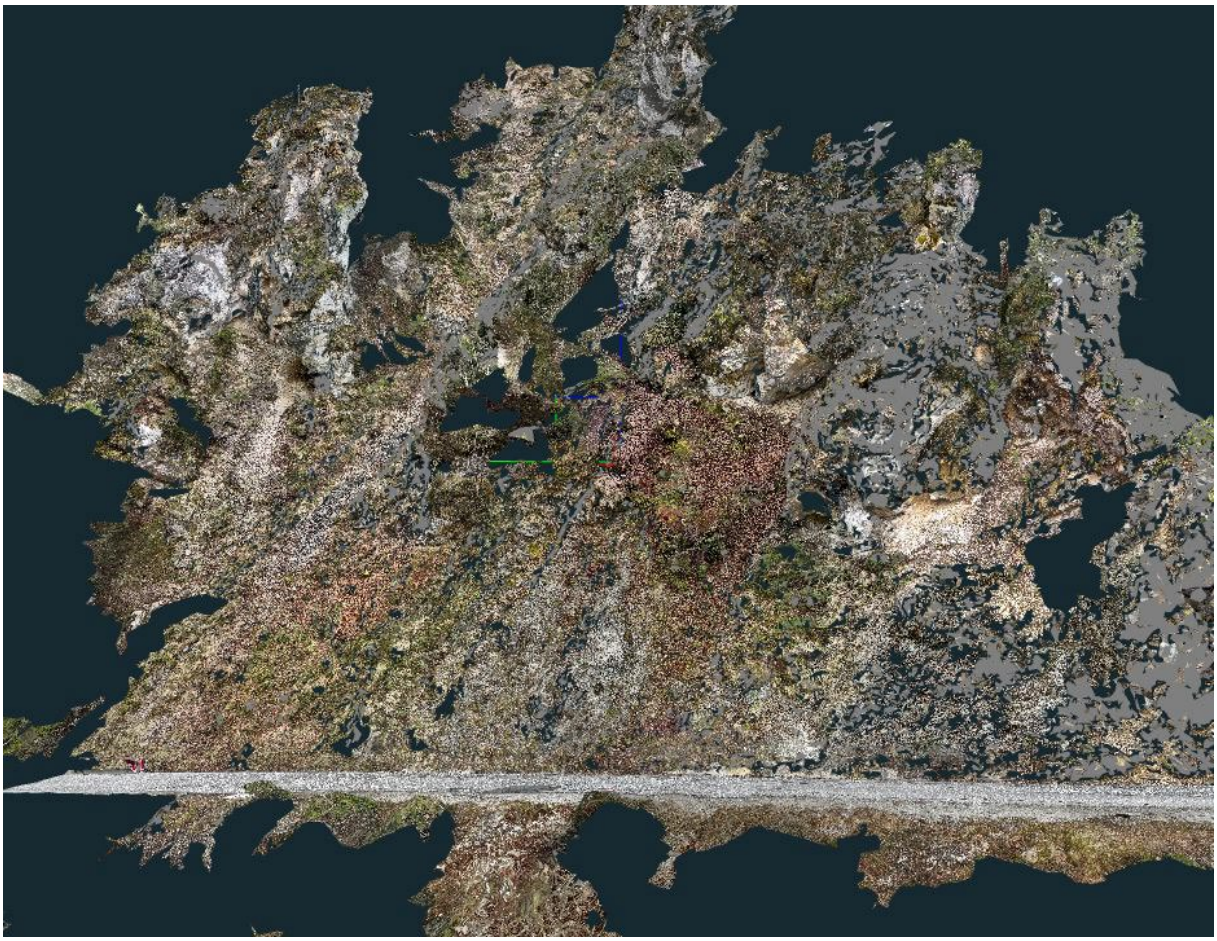

Abbildung 6: Texturiertes digitales Geländemodell

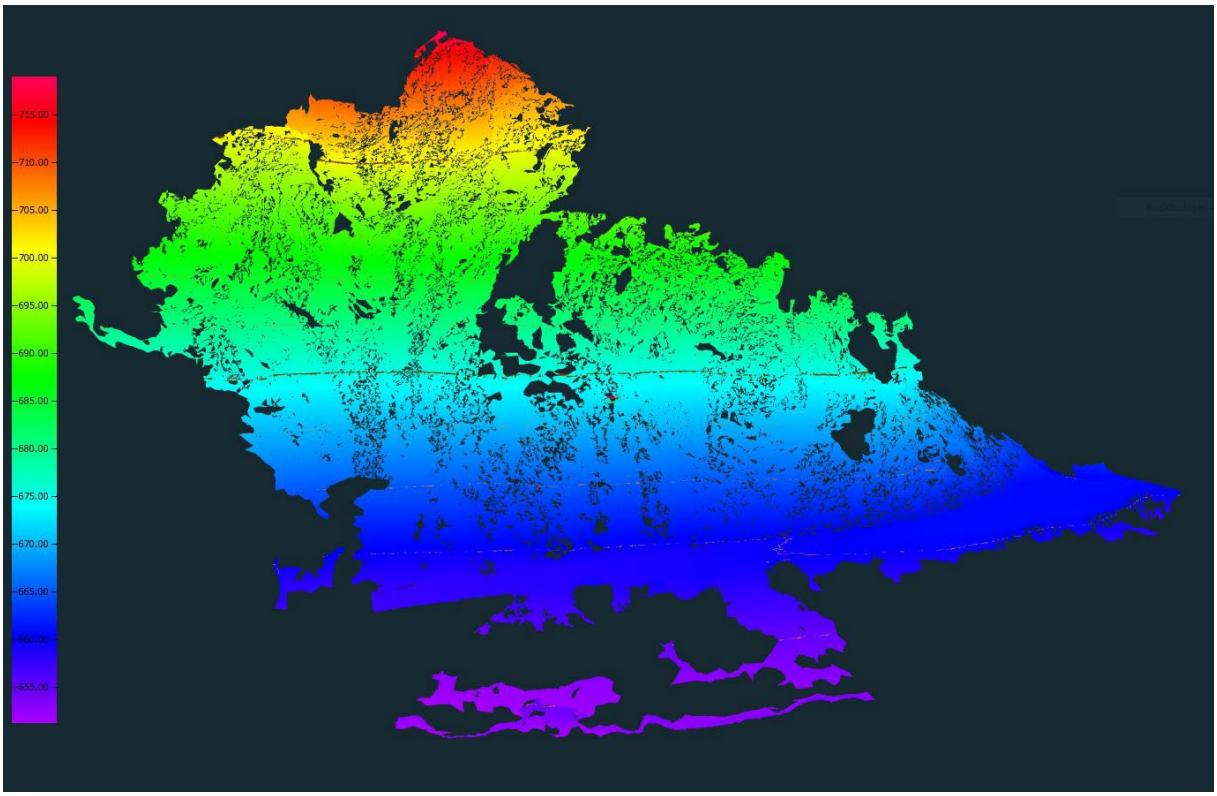

Abbildung 7: Digitales Höhenmodell in Farbskala

Die Abbildung 8 zeigt beispielhaft die Darstellung der Punktwolke in der Arbeitsumgebung von 3Dsurvey. Die Software ermöglicht eine gezielte Auswertung durch direkte Vermessung von Geländeobjekten, Distanzen und Neigungen sowie die Ableitung von Höhenlinien, Querprofilen und Volumina - vollständig innerhalb der Benutzeroberfläche von 3Dsurvey.

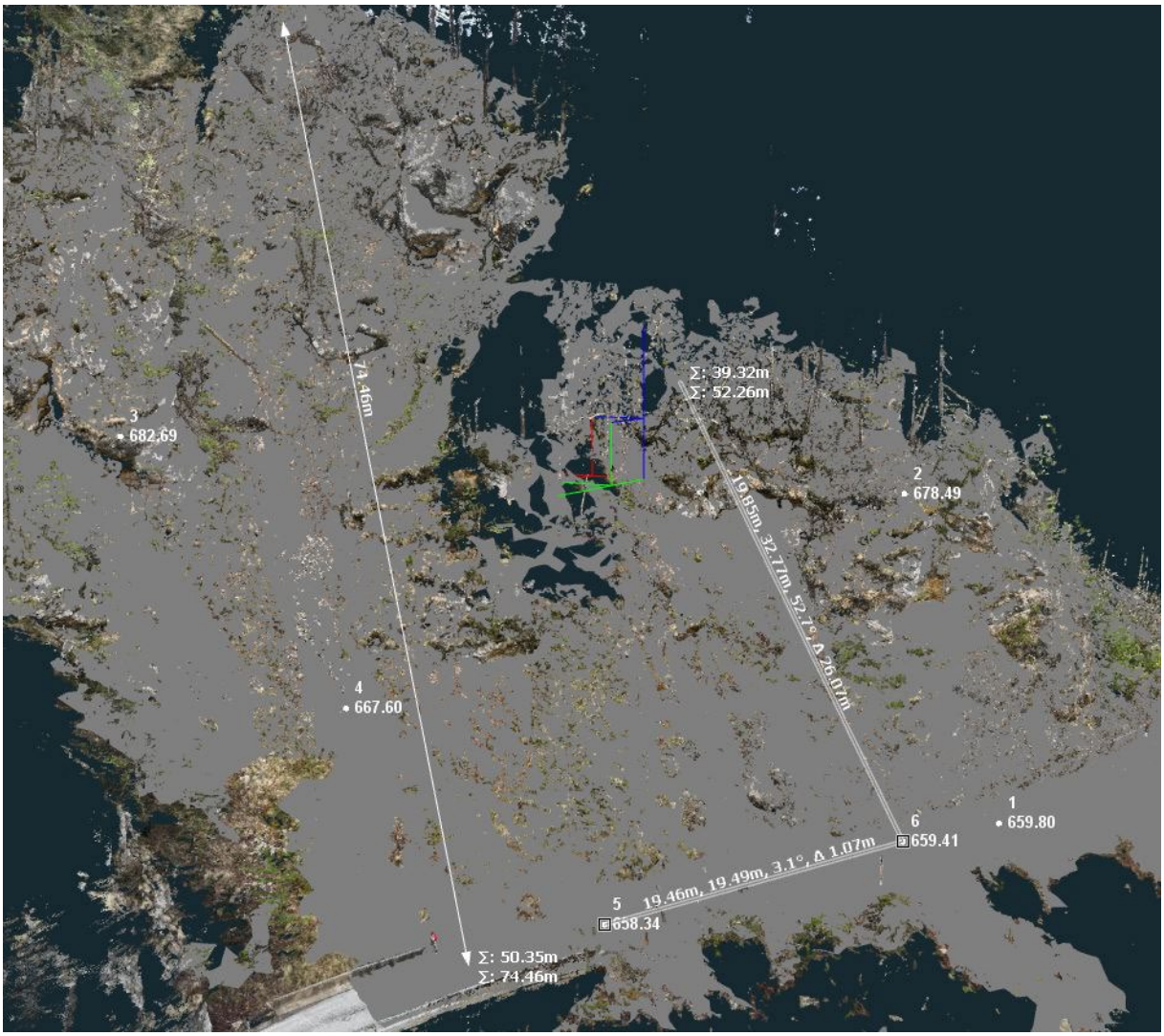

Abbildung 8: Messen und Zeichnen der CAD-Funktion in 3D Survey

Zur Beurteilung der indirekten geometrischen Genauigkeit wurde die mit 3Dsurvey erzeugte Punktwolke mit der Punktwolke aus Leica Infinity verglichen. Letztere weist aufgrund der kombinierten Verarbeitung von terrestrischem Laserscanning und UAV-Photogrammetrie eine deutlich höhere Punktdichte auf und wurde daher als Referenz herangezogen. Die Analyse ergab im Straßenbereich Abweichungen im Millimeterbereich, während im oberen Böschungsbereich Abweichungen von bis zu 10 cm festgestellt wurden. Hauptursachen für diese Abweichungen sind eine unzureichende Bildüberdeckung in diesen Bereichen sowie verbliebene, teilweise dichte Vegetation, die trotz erfolgter Klassifikation nicht vollständig entfernt werden konnte, Abbildung 9.

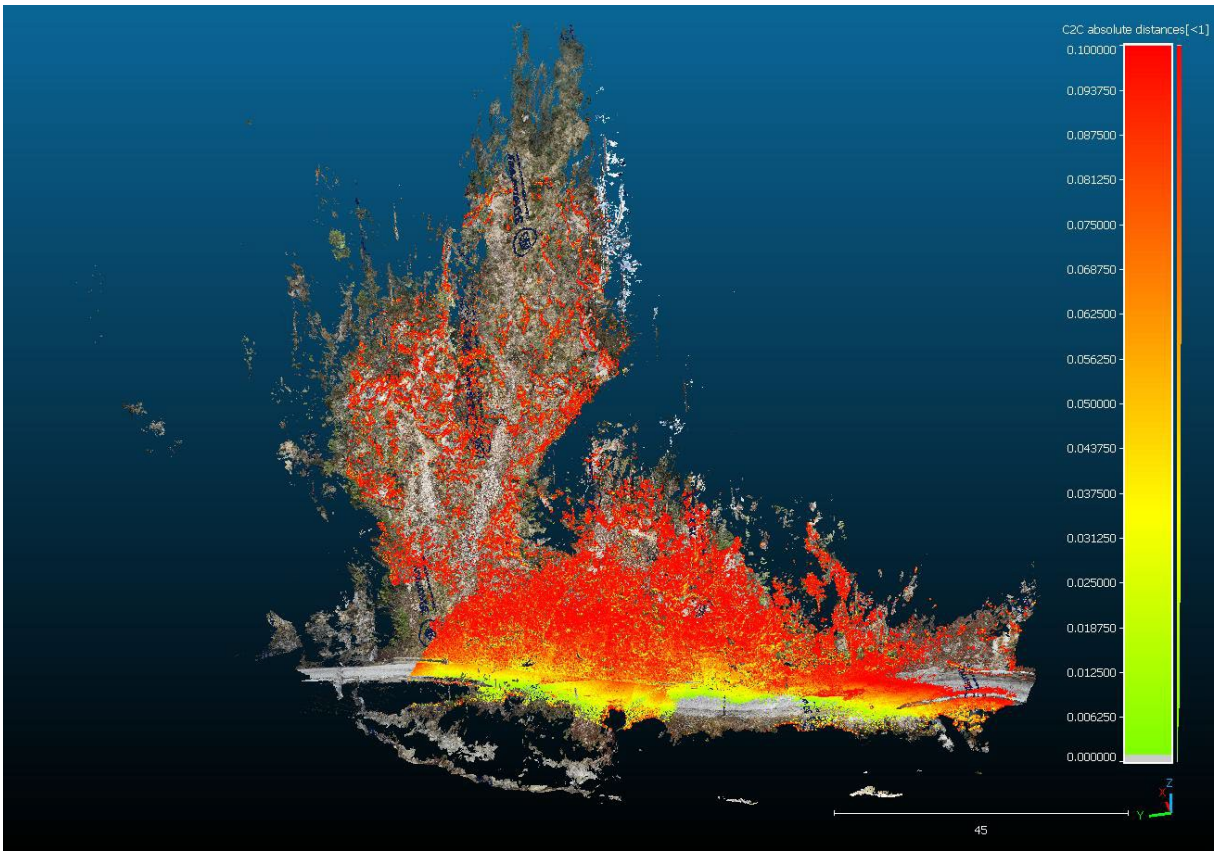

Abbildung 9: Punktwolkenvergleich - Referenzpunktwolke aus Leica Infinity

Zur Weiterverarbeitung können die Ergebnisse in eine Vielzahl gängiger Dateiformate exportiert werden, was eine nahtlose Integration in Planungs-, CAD- und GIS-Systeme ermöglicht.

Fazit:

Durch die Kombination von terrestrischem Laserscanning und UAV-Photogrammetrie konnte der Felsbereich der L 103a präzise und vollständig erfasst werden. Gerade in schwer zugänglichem Gelände ergänzen sich die beiden Verfahren ideal. Die gewonnenen Daten bilden eine verlässliche Grundlage für die weitere Planung. Bei zukünftigen Projekten kann die Genauigkeit durch hochauflösende Scans von mehreren Standpunkten und eine dichte Bildabdeckung weiter gesteigert werden. Voraussetzung dafür ist ein leistungsfähiger Rechner zur Verarbeitung der großen Datenmengen. Der Mehrwert zeigt sich vor allem in einer höheren Planungssicherheit und Effizienz.

Artikel aus dem 9er Mitarbeitermagazin der Abt. 9 – Straßen und Brücken – September 2025 Ausgabe Nr. 14