

Strukturelle Kartierung mittels Fernerkundung – eine kritische Gegenüberstellung von Photogrammetrie, TLS und ALS

SANDRA MELZNER¹, ALEXANDER PREH², LEONHARD SCHWARZ¹, EMMANOUIL FLERIS²,
JOACHIM SCHWEIGL³ & MICHAEL BERTAGNOLI³

¹ Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. sandra.melzner@geologie.ac.at;
leonhard.schwarz@geologie.ac.at

² TU Wien, Forschungsbereich Ingenieurgeologie, Institut für Geotechnik, Karlsplatz 13/220-1,
1040 Wien. alexander.preh@tuwien.ac.at; emmanouil.fleris@tuwien.ac.at

³ Niederösterreichische Landesregierung, BD1 Abteilung Allgemeiner Baudienst – Geologischer Dienst,
Landhausplatz 1, Haus 13, 3109 St. Pölten. joachim.schweigl@noel.gv.at;
michael.bertagnoli@noel.gv.at

1. Einleitung

Im Rahmen des Projektes „Gefahrenmodellierung von Sturzprozessen in Niederösterreich“ (NoeTALUS) werden verschiedene Fernerkundungstechniken für die strukturgeologische Kartierung eingesetzt (PREH et al., 2019). Um eine hohe Datenqualität zu gewährleisten, wurden geodätische Experten in das Projekt einbezogen. Im Rahmen des vorliegenden Beitrages werden die unterschiedlichen Erhebungstechniken und die damit erhaltenen Ergebnisse exemplarisch vorgestellt. Die Ergebnisse werden verglichen sowie deren Einsatzmöglichkeiten hinsichtlich unterschiedlicher strukturgeologischer Fragestellungen diskutiert.

2. Methoden

Seitens des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung, Referat Photogrammetrie und technische Vermessung, wurde eine terrestrische LIDAR („light detection and ranging“) Vermessung durchgeführt. Für die Vermessung wurde ein Riegl VZ400 Laserscanner eingesetzt (Abb. 1a). Die Messpunktewolken wurden von 20 bis 30 unterschiedlichen Positionen generiert. Für die Georeferenzierung wurden seitens der Geologischen Bundesanstalt (GBA) Reflektoren in der Felswand angebracht, farblich markiert und nummeriert.

Für die Datenerhebung mittels unbemanntem Luftfahrzeug (UAV) wurden zwei unterschiedliche Systeme von ferngesteuerten Flugsystemen (RPAS) verwendet: von der Firma 3GSM GmbH wurde eine hochauflösende photogrammetrische Vermessung unter Verwendung eines 3D-Bildmesssystem ShapeMetriX-UAV mit einer Kamera Sony A7R (Abb. 1b und 1c) durchgeführt. Das Aufnahmegebiet wurde mit einem Abstand von etwa 40 bis 90 m zur Oberfläche aufgenommen. Es wurde dabei interaktiv geflogen und die Navigation der Drohne mittels Live-Video unterstützt. Bei der Berechnung des 3D-Modells wurden die Fotos mittels Bündelausgleichs in ein einheitliches System gebracht. Das 3D-Modell wurde auf Basis der aufgezeichneten GPS-Koordinaten der Drohne referenziert (GAICH, 2018). Solche 3D-Modelle kann man prinzipiell auch mit Laserdaten kombiniert erstellen, technisch ist dies nichts anderes als ein texturiertes regelmäßiges 3D-Mesh.

Von der Firma Riegl wurden hochauflösende Airborn Laserscan (ALS) Punktwolken mittels einem RiCOPTER und einem terrestrial Laserscanner VUX-1 (Abb. 1d) erhoben. Der Laserscanner wurde speziell für Drohnen entwickelt. Aus dem anfangs geplanten automatischen Flug wurde letztlich ein manuell gesteuerter Flug, um Sicherheitsabstände gewährleisten zu können, da autonome Drohnen im Siedlungsbereich nicht ohne spezielle Genehmigung und ohne Eiverständniserklärung der Grundeigentümer eingesetzt werden dürfen. Weiters ist die maximale Flughöhe über Grund durch die Luftfahrtrechtliche Bewilligungsbehörde AustroControl mit 150 m begrenzt. Die UAV-LIDAR-Daten wurden mit den Terrestrial Laserscan (TLS) Daten von der Landesregierung zusammengeführt. Die flächendeckenden ALS-Daten wurden mit einem Riegl QG80i bzw. Q780 per Flugzeug erhoben. Vorgabekriterien bei den ALS-Daten waren bei der Vergabe 16 Punkte pro m² und ein Laser Footprint (beleuchtete Fläche an der Erdoberfläche, resultierend aus der Strahldivergenz) nicht größer als 30 cm.

Die Geologische Bundesanstalt war mit der Geländekartierung und der strukturgeologischen Analyse der Fernerkundungsdaten betraut



Abb. 1: Übersicht unterschiedlicher Datenerhebungsmethoden. (A) stop-and-go, TLS-Vermessung mit einem Stativ; (B) stop-and-go, TLS-Vermessung mit einem Fahrzeug (MELZNER et al., 2013; SCHILLER & MELZNER, 2017); (C) Hochauflösende photogrammetrische Vermessung unter Verwendung eines ShapeMetriX-UAV (Kamera Sony A7R, Foto: Andreas Gaich); (D) Mobile TLS-Vermessung mit einem RiCOPTER, der mit einem Laserscanner VUX-SYS AP20 ausgestattet ist (Quelle: MELZNER & SCHWARZ, 2019).

3. Einsatzmöglichkeiten und Einsatzpotenziale

Der Einsatz von **LIDAR- und photogrammetrischen Daten** in den Geowissenschaften bietet gegenüber der konventionellen Vermessung und/oder Geländekartierung viele **Vorteile** (SCHILLER & MELZNER, 2017): (i) flächendetaillierte 3D-Informationen sind zeiteffektiv erfassbar; (ii) Generalisierung vor Ort entfällt durch universelle Auswertemöglichkeiten; (iii) Datenerhebung auch in exponiertem Gelände möglich; (iv) Deformationen der Oberfläche (Volumensverschiebungen) sind mittels Laserscannermessungen genauer erfassbar als durch die Messung einzelner diskreter Punkte mittels Tachymeter; (v) in bewachsenen Bereichen bietet der Laserscan in vielen Fällen Vorteile gegenüber anderen Kartiermethoden; (vi) für die Vermessung ist ein Aufenthalt im unmittelbaren Zielgebiet nicht zwingend erforderlich (relevant bei akuter Gefährdung, z.B. durch Steinschlag/Felssturz).

TLS bietet eine ideale Ergänzung zu den vielerorts verfügbaren Airborne Laserdaten, da er genau die besonders steilen Bereiche erfasst, die mittels einem Airborne Laserscanning nicht erfasst werden. Gegenüber der Erfassung mittels UAV entfällt beim TLS die Notwendigkeit für ein aufwendiges Inertialsystem (IMU) und entsprechend komplexe Scannerdatenauswertung.

Die hochauflösenden Fernerkundungsdaten vom **Gebirge** ermöglichen eine qualitative und quantitative geologische Interpretation und Auswertung in verschiedenen Maßstäben, mit verschiedenen Auflösungen und unterschiedlichen Genauigkeiten in Abhängigkeit von Aufnahme- und Auswertungsmethode.

Für die **Kartierung von Lithologien** ist Farbinformation in den Daten notwendig. ShapeMetriX UAV verwendet sogenannte 3D-Bilder: das sind fotorealistische Modelle, welche die geometrische Form der aufgenommenen Oberfläche gemeinsam mit einem digitalen Foto

wiedergeben (Abb. 2a, b). Anhand dieser Daten sind unterschiedliche Lithologien bzw. frische Abbruchbereiche und/oder Bereiche mit häufigen Wasseraustritten gut identifizierbar. Der Unterschied ist, dass man im LIDAR einen zweiten Sensor benötigt (RGB etc.), während die photogrammetrischen Punktwolken aus Bildern abgeleitet werden, mit den entsprechenden Einschränkungen photogrammetrischer Punktwolken (Durchdringung, geometrische Schärfe). Im Falle der LIDAR-Daten können anhand der Intensitätsinformation die LIDAR-Punktwolken mit Falschfarben oder realen RGB-Bildern kodiert werden, welche durch interne oder externe Digitalkameras aufgenommen werden.

Die **Aufnahme des Trennflächengefüges**, wie zum Beispiel die Orientierung der unterschiedlichen Trennflächenscharen (Abb. 2d), Trennflächenabstände (Abb. 2c), Kluffkörpergröße und Auflockerungsgrad (Abb. 2b), kann anhand der LIDAR Punktwolken auch ohne Farbinformation erhoben werden. Je nach Analysesoftware (z.B. Coltop, I-site Studio, Cloud Compare, Discontinuity Set Extractor Software) können die relevanten, strukturgeologischen Parameter manuell oder semi-automatisch extrahiert werden. Parameter, wie z.B. die **Trennflächenbeschaffenheit**, sind anhand der Fernerkundungsdaten schwer ableitbar.

Die photogrammetrische Software ShapeMetrix verfügt über eine sehr übersichtliche Benutzeroberfläche, mit der die 3D-Bilder strukturell einfach ausgewertet werden können. Besonders für die Überblickskartierung von dominanten Strukturen bzw. die Abgrenzung von strukturellen Homogenbereichen ist diese Methodik besonders geeignet (Abb. 2b).

Anhand der Punktwolken der LIDAR-Daten lassen sich sehr gut dominante Störungssysteme mit der Software Coltop (JABOYEDOFF et al., 2007) abgreifen. Wenn ALS-Daten und Orthofotos zur Verfügung stehen, können nach einfachen geometrischen Regeln Orientierungsdaten aus den Geländemodellen abgeleitet werden. Dominante Störungen zeichnen sich im digitalen Höhenmodell (DHM) morphologisch deutlich ab.

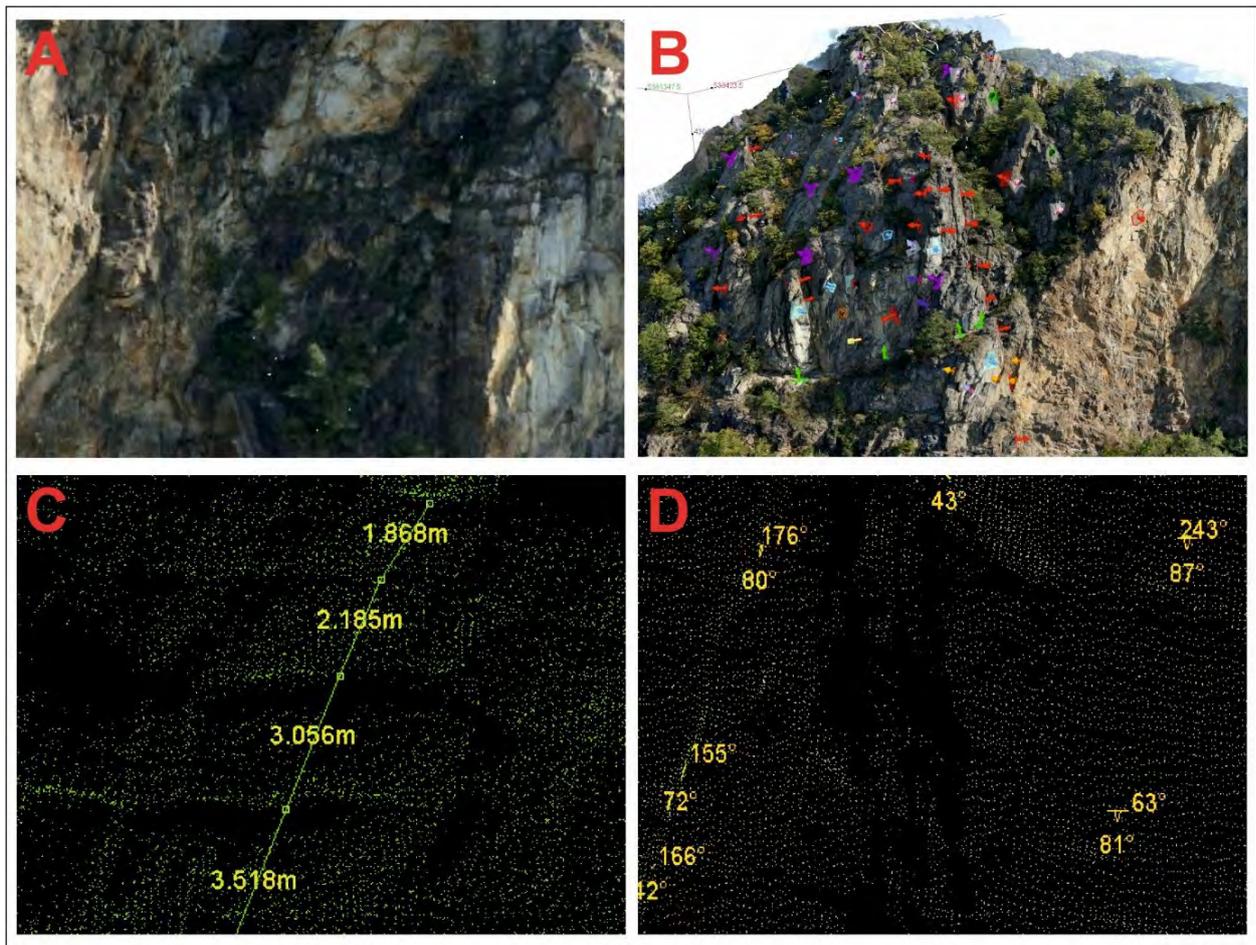


Abb. 2: Anwendungsbeispiele der Erhebung struktureller Parameter mittels photogrammetrischer Aufnahmen (A & B) und TLS-Punktwolken (C & D): (A) Lithologie, (B) Auflockerungsgrad und Orientierung dominanter Strukturen, (C) Trennflächenabstand, (D) Orientierung der Trennflächengefüge (Quelle: MELZNER & SCHWARZ, 2019).

4. Grenzen der Anwendung

Folgende Faktoren sind bei der Verwendung von Fernerkundungsdaten in den Geowissenschaften zu beachten (SCHILLER & MELZNER, 2017): (i) Die Aufnahmekonfiguration ist in vielen Fällen fehlertheoretisch ungünstig mit sehr entfernten Zielobjekten und relativ nahe gemessenen Bezugspunkten (z.B. bei steilen Talflanken). Eine entsprechend sorgfältige Planung der absoluten und der relativen Georeferenzierung mit der Vernetzung mehrerer Standpunkte und gemeinsamem Bündelblockausgleich ist daher Grundvoraussetzung für einen homogenen Datensatz; (ii) Die Realisierung eines übergeordneten Bezugssystems erfordert oft zusätzliche Messungen mit anderen Messmethoden (GPS, Tachymeter) (SCHILLER & MELZNER, 2017). Es hat sich gezeigt, dass die Reflektoren in den Felswänden aufgrund der Punktdichte am Objekt nicht vom RiCOPTER gesichtet werden konnten. ALS- und UAV-Passinformationen werden üblicherweise anhand von geometrischen Körpern ausreichender Größe und nicht aufgrund von Intensitätsschranken ermittelt; (iii) die raumzeitlich variablen Gebietsverhältnisse und Zustände (Feuchteverhältnisse der Oberflächen, Sonneneinstrahlung, Wetter, Bewuchs, Topologie) haben einen Einfluss auf die Qualität des Messergebnisses. Dies kann dazu führen, dass Bereiche nicht von dem LIDAR erfasst werden (Abb. 5) bzw. eine LIDAR-Messung der Oberfläche sogar unmöglich wird, da die Reflektivität des Objektes nicht ausreichend ist.

Die Steilheit des Geländes ist bei der Aufnahme und der Wahl der Analysemethoden problematisch. Beim Scannen werden alle Objekte im Zielgebiet erfasst. Eine nachfolgende Prozessierung inklusive Filterung der Vegetation aus der Punktwolke ist erforderlich. Speziell in Steilwänden sind hier spezielle (z.T. manuelle) Methoden notwendig. Kleinräumige lithologische Wechsel, strukturgeologische Elemente und engständiges Trennflächengefüge sind anhand der Fernerkundungsdaten nicht unbedingt erfassbar (Abb. 3). Besonders bei der Photogrammetrie müssen die Lichtverhältnisse passen.

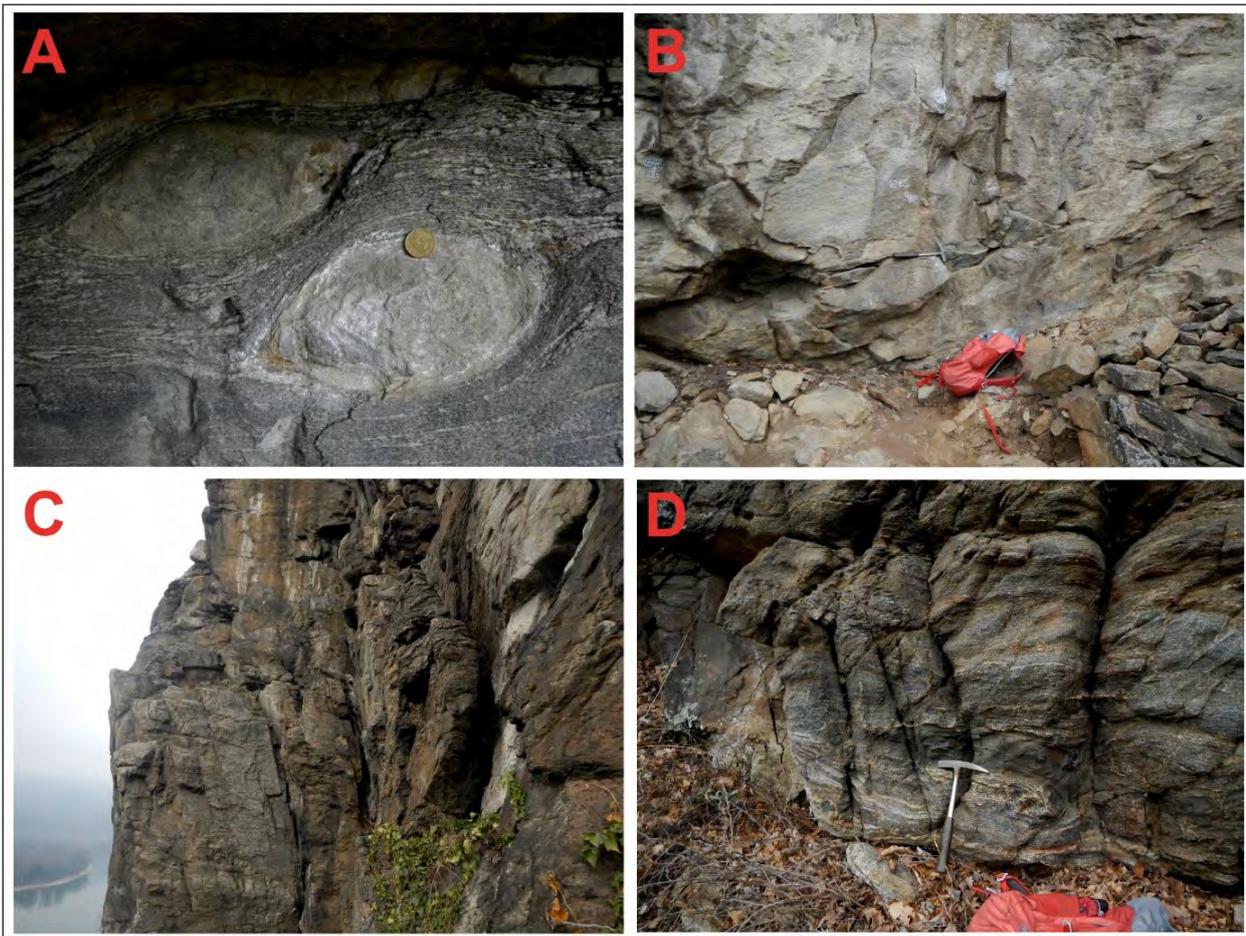


Abb. 3: Grenzen der Anwendbarkeit von Fernerkundungstechniken hinsichtlich der geologischen und strukturgeologischen Kartierung. (A) Tektonische Strukturen, wie Scherzonen, (B) Boudinage, (C) engständiges Kluffgefüge, oder (D) flanking folds entlang von Scherbändern, sind anhand der Fernerkundungsdaten schwer bzw. gar nicht zu identifizieren (Quelle: MELZNER, 2019).

Die Filterung der Vegetation aus der Punktwolke wurde mittels der Open Source Software Cloud Compare (BRODU & LAGUE, 2012) durchgeführt, da diese Software im akademischen Bereich weit verbreitet ist und einen Quasistandard darstellt. Die Erzeugung eines qualitativen DHMs oder Meshs (unregelmäßiges Dreiecksnetz) erfolgt in Cloud Compare (CC) mit Hilfe von Klassifizierungstools und einer Minimumfunktion (zur Identifikation der geringsten Höhe). Diese Vorgangsweise muss aber als nicht zufriedenstellend bezeichnet werden, da eine eindeutige Detektion des festen Untergrundes zumeist nicht möglich ist und dies in weiterer Folge eine manuelle Nachbearbeitung der Punktwolke erforderlich macht. Diese ist im Allgemeinen sehr zeitaufwändig, insbesondere bei komplexer Topografie in Kombination mit dichter Vegetation und großen Datenlücken aufgrund von Abdeckungen (v.a. bei TSL vom Boden aus). Da für die manuelle Filterung mit CC eine vorhergehende Klassifikation (Homogenbereiche ähnlicher Vegetationsdichten etc.) nur eine geringe Arbeitserleichterung darstellt (am ehesten noch im komplexen Terrain mit Abdeckungen), kann auf die Klassifizierung oft verzichtet werden.

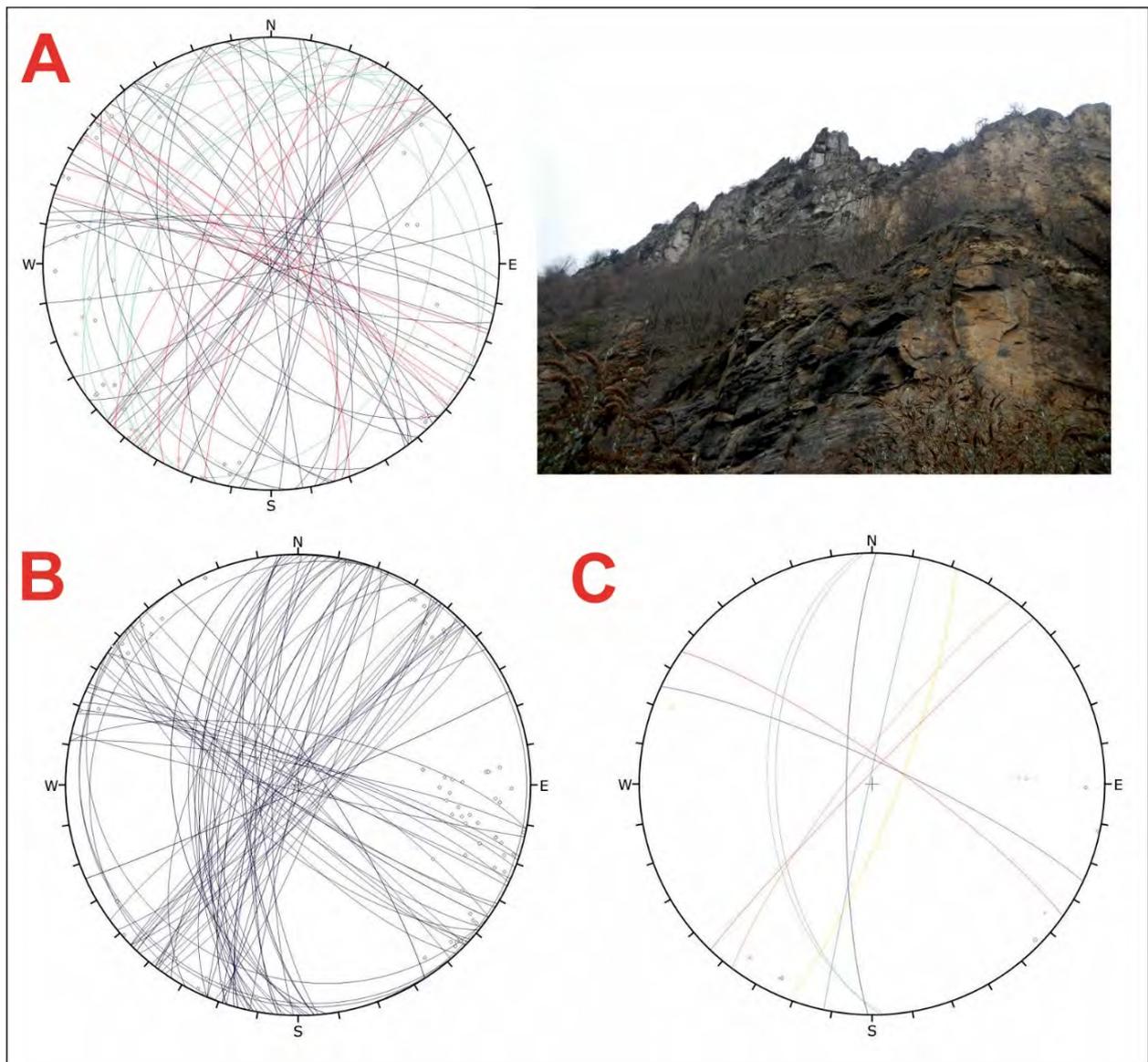


Abb. 4: Vergleich der strukturellen Auswertung von photogrammetrischen Daten mit den Ergebnissen der Geländekartierung in einem Felswandbereich (Foto). Stereographische Projektion der Flächen der dominanten Trennflächen, (A) Trennflächen-Geländekartierung, (B) Trennflächen-Photogrammetrie, (C) Trennflächen-Photogrammetrie eines aktuellen Felssturzbereichs (Quelle: MELZNER, 2019).

Generell gilt bei Auswertung von 3D-Messverfahren, dass ein ansprechendes photorealistisches Modell nicht mit Genauigkeit (exakte Wiedergabe der aufgenommenen Geometrie) gleichzusetzen ist. LIDAR-Daten eignen sich besonders für die Bestimmung von

Volumen/Oberflächengeometrie, Photogrammetrie für die Bestimmung von Oberflächenmaterial und Oberflächenbeschaffenheit. Aussagen auf Basis von TLS-Punktwolken/Geländemodellen basieren auf einer Interpolation/Modellierung und nicht auf der direkten Messung gezielter Punkte. Für die Erfassung von Bewegungsraten und Bewegungsrichtungen sind daher signalisierte Punkte im Beobachtungsgebiet erforderlich, die je nach erforderlicher Genauigkeit im Scan oder genauer, tachymetrisch gesondert gemessen werden.

Der Vergleich der Ergebnisse der Photogrammetrie-Auswertung mit der Geländekartierung (Abb. 4) zeigt, dass mittels der Methoden die gleichen Trennflächenscharen erfasst worden sind. Der Vorteil der Geländekartierung ist, dass Trennflächenarten unterschieden werden können. Mit der Photogrammetrie können jedoch große Gebiete zeitextensiv kartiert werden und zudem ermöglicht diese Methode eine erste Untergliederung in strukturelle Homogenbereiche bzw. einen guten Überblick von sehr weitständigen Strukturen/Trennflächenscharen. In aktiven Felssturzgebieten (Abb. 4c) bietet diese Methode zudem eine hohe Sicherheit, weil sich keine Personen zur Erkundung im gefährdeten Bereich aufhalten müssen. Die strukturelle Analyse von LIDAR-Punktwolken, z.B. mit der Software Coltop, benötigt mehr Übung, um die entsprechenden Punkte den Trennflächenscharen zuordnen zu können. Aktuelle strukturelle Auswertungen und die Validierung mit Geländedaten fokussieren auf der Quantifizierung von Messfehlern und Definition von Qualitätskriterien/Schwellenwerten hinsichtlich der relevanten Parameter mittels der unterschiedlichen Methoden.

5. Qualitätskriterien

Generell kann man sagen, dass es sich bei all den Fernerkundungsdaten um hochaufgelöste Daten handelt. Die Qualität der Daten wird allerdings durch Faktoren wie „Abdeckung der Daten“, „Güte der Filterung der Daten“, „Witterungsverhältnisse bei der Messung“ oder „Bezugssystem“ bedingt.

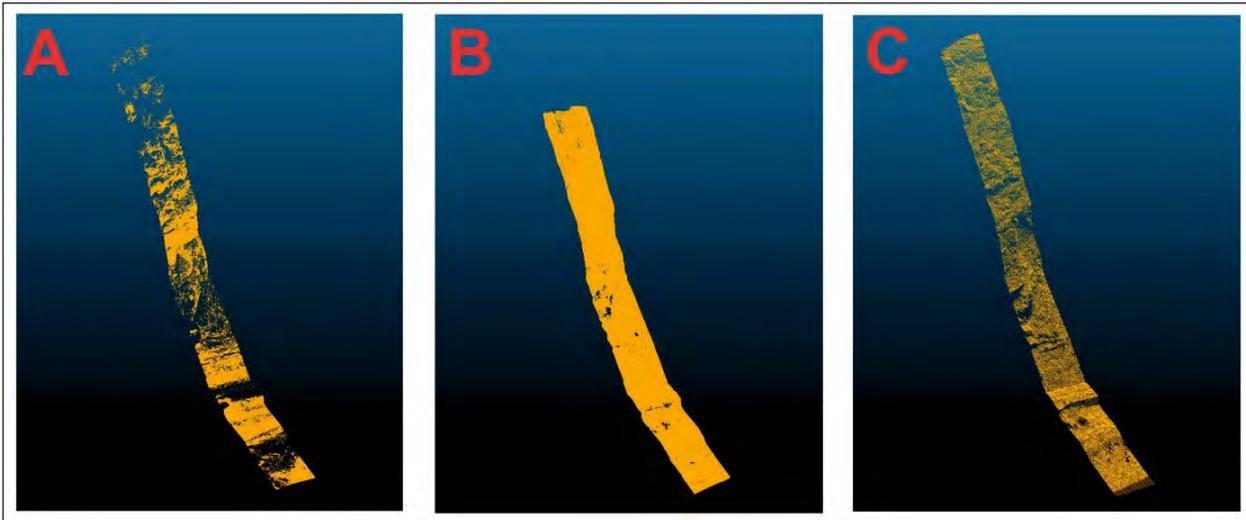


Abb. 5: Definition von Qualitätskriterien von Fernerkundungsdaten. Abdeckungsgrad der gefilterten LIDAR-Punktwolken von (A) TLS- (statisch), (B) ALS- (UAV) und (C) ALS-Daten (Quelle: MELZNER & SCHWARZ, 2019).

Beim Vergleich der unterschiedlichen LIDAR-Daten (Abb. 5) wird sehr schön deutlich, dass die unterschiedliche Aufnahmemethodik einen entscheidenden Einfluss auf den Abdeckungsgrad der Daten hat: bei der statischen TLS-Vermessung (Abb. 5a) werden vor allem die Felswände und die den Scanner umgebenden Bereiche und weniger die flacheren Hangbereiche erfasst, bei der LIDAR-Vermessung (Abb. 5b) mittels UAV werden die Felswände und flachere Hangbereiche gleichermaßen abgedeckt und bei der ALS-Vermessung (Abb. 5c) sind vorwiegend die flacheren Hänge und kaum die Felswände erfasst worden.

Aufnahmerichtung, Hangneigung, Exposition, Scanschatten, Anzahl der Scannerpositionen oder Distanz zum Scanner bedingen die Charakteristiken der LIDAR-Punktwolke, wie z.B. Punktverteilung und Punktdichte, die einen direkten Einfluss auf die Qualität der daraus abgeleiteten Aussage haben (SCHILLER & MELZNER, 2017).

Qualitätskriterien zur Beurteilung von resultierenden LIDAR-Punktwolken können beispielsweise sein:

- Durchschnittliche(r) Punktdichte/Punktabstand.
- Vollständigkeit der Abdeckung (Vorhandensein von Datenlücken).
- Räumliche Verteilung der Punkte (Homogenität der Punktdichte).
- Relative Punktgenauigkeit (Genauigkeit innerhalb der Punktwolke).
- Absolute Punktgenauigkeit (Genauigkeit hinsichtlich des Koordinatensystems).

Die Qualitätskriterien „durchschnittliche Punktdichte“ und „räumliche Verteilung der Punkte“ wurden im folgenden Beispiel zum Vergleich zwischen den gefilterten Punktwolken von ALS und statischem TLS herangezogen (Tab. 1). Die durchschnittliche Punktdichte wurde als Punktzahl/m² mittels zweier verschiedener Berechnungsmethoden ermittelt: Punktdichte I wurde auf die gesamte Geländeoberfläche bezogen (Datenlücken > 1 m sind hier berücksichtigt). Punktdichte II wurde auf die angrenzende Geländeoberfläche jedes Punktes in 0,5 m Umgebung bezogen (Datenlücken > 1 m sind hier ausgenommen), wodurch die Dichte räumlich differenziert werden kann. Die räumliche Verteilung der Punkte wurde daher über die Standardabweichung der Punktdichte II erfasst. Deutlich ist die höhere Datenqualität im stationären TLS gegenüber dem ALS hinsichtlich der Punktdichte zu erkennen. Bei Punktdichte I zeigt in beiden Fällen der Transportbereich v.a. aufgrund der geringeren Abdeckung höhere Dichten als der Ablösebereich. Hinsichtlich der räumlichen Verteilung erweist sich jedoch die ALS-Punktwolke als homogener und somit qualitativ höher. Dies zeigt gut auf, dass zur Beurteilung der Punktwolkenqualität mehrere Qualitätskriterien (s.o.) notwendig sind und die Punktdichte alleine hierfür bei Weitem nicht ausreicht.

Hangklasse	Punktdichte I [P/m ²]	Punktdichte II [P/m ²]	Standardabweichung der Punktdichte II
ALS-Ablösebereich	10,4	13,9	5,0
ALS-Transportbereich	18,2	19,7	4,8
Statischer TLS-Ablösebereich	37,0	108,6	45,2
Statischer TLS-Transportbereich	43,1	100,9	41,1

Tab. 1: Qualitätskriterien durchschnittliche Punktdichte (Punktdichte I bezogen auf gesamte Geländeoberfläche, Punktdichte II bezogen auf angrenzende Geländeoberfläche) und räumliche Verteilung der Punkte (Standardabweichung der Punktdichte II) (MELZNER & SCHWARZ, 2019).

Bei der Definition der Qualität von Photogrammetrie-Daten ist besonders der Einfluss der Tiefenschärfe (Blende und Belichtungszeit) auf die Auflösung und Lagegenauigkeit von Relevanz.

Das ShapeMetrix 3D-Modell wurde auf Basis der aufgezeichneten GPS-Koordinaten der Drohne referenziert. Es ist aus diesem Grund auch keine absolute Modellgenauigkeit quantifizierbar. Sollte eine spätere Verfeinerung der Lagegenauigkeit erforderlich werden, so ist eine nachträgliche Vermessung markanter Punkte in der Wand denkbar (durch externen Vermesser). Zuvor durchgeführte Bewertungen (Messungen) können in ein neues Koordinatensystem mittransformiert werden, es muss daher nicht erneut kartiert werden (GAICH, 2018).

6. Schlussfolgerungen

Die Vermessung mittels Fernerkundung ist in zwei Phasen durchzuführen: in der ersten Phase könnten die vermessungstechnisch problematischen Bereiche in den Messungen identifiziert werden, in der zweiten Phase könnten eben jene Problembereiche nachgearbeitet werden.

Für die Unterstützung der Geländekartierungen eignet sich besonders die photogrammetrische Software ShapeMetrix, da sie leicht anwendbar ist und die 3D Daten einen guten Überblick über die geologische Situation bieten.

Das Entfernen der Vegetation aus LIDAR Daten ist schwierig und definitiv kein Standardprozess. Vor allem in steilem, nahezu vertikalem Gelände werden die meisten Filtertechniken und Softwarelösungen keine akzeptablen Ergebnisse liefern, ohne die räumliche Auflösung zu beeinträchtigen. Dort kann die Geländekartierung nicht ersetzt werden.

7. Danksagung

Die Autoren möchten ganz herzlich folgenden Personen und/oder Institutionen für die Unterstützung des Projektes danken: der Gemeinde Dürnstein und den Anrainern für die Unterstützung der Projektarbeiten, Gerhard Pfahler und Boris Stummer (Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Referat Photogrammetrie und technische Vermessung) sowie Hannes Polt, Peter Muschawek und Philipp Amon (Firma Riegl GmbH) für die LIDAR-Vermessungen und inspirierenden Fachdiskussionen, Andreas Gaich (3GSM GmbH) für die photogrammetrische Vermessung und Fachdiskussionen, Gregor Schiller (Vermessung Schmid) für Fachdiskussionen, Alfred Michl (Polizeiinspektion Weißenkirchen) für die Unterstützung des Projektes sowie Manfred Linner von der FA Kristallingeologie und Michael Lotter von der FA Ingenieurgeologie der GBA für die Fachdiskussionen.

Literatur

- BRODU, N. & LAGUE, D. (2012): 3D terrestrial lida data classification of complex natural scenes using a multiscale dimensionality criterion: applications in geomorphology. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **68**, 121–134, Amsterdam.
- GAICH, A. (2018): Bericht über ShapeMetric UAV, Befliegung und 3D Modell-Dürnstein, November 2018, Graz.
- JABOYEDOFF, M., METZGER, R., OPPIKOFER, T., COUTURE, R., DERRON, M.-H., LOCAT, J. & TURMEL, D. (2007): New insight techniques to analyze rock-slope relief using DEM and 3D-imaging cloud points: COLTOP-3D software. – In: EBERHARDT, E., STEAD, D. & MORRISON, T. (Eds.): *Rock mechanics: Meeting Society's Challenges and Demands*, Volume 1, 61–68, Vancouver (Taylor & Francis).
- MELZNER, S. (2019): NoeTALUS: Bericht zum AP 1.2: Geologische Detailkartierung im Gföhler Deckensystem, Gemeindegebiet Dürnstein. – Unveröffentlichter NoeTALUS Projektbericht, Wien.
- MELZNER, S. & SCHWARZ, L. (2019): NoeTALUS: Bericht zum AP 1.2: Vergleich unterschiedlicher Fernerkundungsmethoden auf der Hangskala, Gemeindegebiet Dürnstein. – Unveröffentlichter NoeTALUS Projektbericht, Wien.
- MELZNER, S., DOWD, C., SCHILLER, G. & KOÇIU, A. (2013): The use of TLS and ALS data for engineering geological mapping in a narrow alpine valley. – Poster im Rahmen des Geoforum Umhausen, 16.–18. Oktober 2018, Umhausen, Tirol.
- PREH, A., MELZNER, S. & MARLOVITS, N. (2019): Forschungsprojekt NoeTALUS- Gefahrenmodellierung von Sturzprozessen in Niederösterreich. Entwicklung und Beurteilung von Methoden zur Erstellung von Gefahrenkarten für Sturzprozesse. – Unveröffentlichter 1. Zwischenbericht NoeTALUS, Wien.
- SCHILLER, G. & MELZNER, S. (2017): Terrestrial Laser Scanning in den Geowissenschaften – Chancen und Herausforderungen. – In: WIMMER-FREY, I., RÖMER, A. & JANDA, C. (Red.): *Arbeitstagung 2017 – Angewandte Geowissenschaften an der GBA*, 126–131, Wien.