

Anwendung photogrammetrischer Tunnelscans für die geologische Dokumentation

Mag. Stefan Eder - ILF Consulting Engineers Austria GmbH.

DI Heiner Kontrus, DI Nina Müller - Dibit Messtechnik GmbH.

MSc. Manuel Egger, Dr. Gerhard Poscher - geo.ZT GmbH.

Abstract: Die geologische Tunneldokumentation stellt einen wesentlichen Leistungsumfang geologisch-geotechnischer Ingenieurbüros dar. Seit den 90er Jahren wird an der digitalen Vortriebsdokumentation als Unterstützung für den dokumentierenden Geologen gearbeitet und es stehen mittlerweile sowohl verschiedene Aufnahmesysteme als auch Datenbanken und Visualisierungssoftware zur Verfügung. Ein Ansatz besteht darin Daten aus der Tunnelvermessung mittels Scanner für die geologische Dokumentation heranzuziehen. Dadurch ergeben sich Verbesserungen in der geologischen Dokumentation und ein erweitertes Spektrum der Datenanalyse für verschiedene Fragestellungen. Der nachfolgende Artikel beschreibt die Entwicklung und Anwendungen, welche sich aus der Nutzung photogrammetrischer Tunnelscans ergeben haben.

Einleitung

Digitale Ortsbrustaufnahmen werden seit mehr als 20 Jahren durchgeführt (Gaich, A. 2000). Datenbanken und Visualisierungssysteme wurden ebenfalls ab diesem Zeitraum erstmals eingesetzt. Parallel dazu blieben die Anforderungen an die geologische Dokumentation lange Zeit unverändert. Insbesondere Vorgaben zur Aufnahme jeder Ortsbrust – selbst in völlig homogenem Gebirge, schufen zwar vielfach Arbeitsplätze für dokumentierende Geologen, machte aber in weiterer Folge einem Preisverfall in der Dokumentation Platz. Für den dokumentierenden Geologen wurde in einzelnen Projekten das Erreichen der Ortsbrust und Erstellung des „Beweisfotos“ zur wesentlichen Herausforderung. Vor allem wenn die Vortriebe schlecht zu erreichen waren, dominierte dieses logistische Problem, über eine sachverständige Beurteilung des Vortriebsgeschehens. Der Wert der geologischen Dokumentation reduzierte sich auf eine Datenlieferung an den Geotechniker Untertage (GTU) neben den Ergebnissen der Verformungsmessungen. Andere Tätigkeiten wie Berichtswesen, Hydrogeologie, tieferegehende Auswertungen mussten bei entsprechendem geringen Personaleinsatz hintangestellt werden. Während in der geologischen Dokumentation mancher Projekte noch auf handcolorierte Brustbilder Wert gelegt wurde, gab es gleichzeitig vollflächige digitale Aufnahmen. Die Idee einer Optimierung der geologischen Dokumentation mit Hilfe der vorhandenen photogrammetrischen Tunnelscans ergab sich beim Vortrieb der 2. Röhre des Perjuntunnels.

Systementwicklung am Perjuntunnel, Neubau 2. Röhre 2018

Der Perjuntunnel ist ein ca. 3km langer Autobahntunnel an der S16 Arlbergschnellstraße im Tiroler Oberinntal und umfährt die Stadt Landeck. Die 2. Röhre wurde vom Feb. 2017 bis zum Sommer 2018 ausgebrochen und durchörterte kalkalpine Einheiten samt der Störungszone zum Innsbrucker Quarzphyllit. Dibit Messtechnik war bei diesem Projekt mit den geotechn. Messungen (=GTM) inkl. Tunnelscans beauftragt, ILF mit der geologischen Dokumentation (=GD). Durch das Nachsprengverbot wurden vor allem häufig zu Schichtbeginn in beiden Vortrieben gleichzeitig gesprengt, wodurch sich die Gewährleistung der Aufnahmedichte zeitweise als schwierig gestaltete. Die Aufnahmedichte wird je nach Projekt bei 80-75% festgelegt. Beim Perjuntunnel war dies mit dem festgelegten Personaleinsatz machbar, da die Erreichbarkeit beider Vortriebe durch die Bestandsröhre einfach war. Bei anderen Projekten mit mehreren Vortrieben kann dies aber entscheidend für die Geologische Dokumentation sein, da kaum ein Geologe pro Vortrieb abgestellt wird. Vor allem wenn die Ortsbrust aus Sicherheitsgründen vor dem Bogenstellen und Gittern versiegelt werden muss, ist das verfügbare Zeitfenster extrem klein und die Zeit, welche für die Aufnahme der Ortsbrust zur Verfügung ist, steht in keiner Relation zur Anfahrt. Zudem ergibt sich bei derartigen Vortrieben, dass Gefügemessungen im ungeschützten Bereich in der Regel aus Sicherheitsgründen nicht möglich sind.

Der Scan des Rohausbruchs der Laibung ist in Österreich für die Kontrolle der Spritzbetonstärke bei den meisten Projekten Standard. Der Mehraufwand für die Aufnahme der Ortsbrust ist gegenüber der Fahrzeit und Einrichtung des Systems gering. Am Perjentunnel standen durch die photogrammetrische Aufnahme jeder Ortsbrust – sog. Volldokumentation – durch das GTM Team mit einem Hand-Foto-Scanner hochauflösende 3D Daten des gesamten Rohausbruchs inkl. jeder Ortsbrust zur Verfügung. Da dies vertraglich verankert war, war auch die Ausleuchtung und der Support durch die Vortriebsmannschaft hervorragend – und die Verwendung der Scanner-Bilder allein, stellte bereits eine deutliche qualitative Verbesserung der Ortsbrustbilder dar. Entscheidend ist hierbei, dass der Zeitverlust für die Vortriebsmannschaft nur minimal ist.



Abbildung 1 Schemabild Photogrammetrische Aufnahme Rohausbruch und Spritzbeton

Die ursprünglich rein für die Erstellung eines 3D-Modells aufgenommenen Scanner-Bilder standen damit auch für eine geologische Bearbeitung ohne jeglichen Mehraufwand zur Verfügung.

Der Scanner hat die Größe einer Kamera und ist auf einem Stativ fix montiert. Durch das Fischaugenobjektiv des Scanners wird jeweils der Rohausbruch des letzten Abschlags und die Spritzbetonsicherung des nachfolgenden Abschlags (1. Lage) aufgenommen. Der gesamte Scanprozess, vom Aufstellen der Scheinwerfer und des Scanners bis zur Aufnahme des kompletten Scans, dauert nur wenige Minuten. Die Orientierung erfolgt mittels 4 magnetischer Reflektoren, die von einer Totalstation eingemessen werden und vom Scanner automatisch mitaufgenommen werden. Pro Abschlag werden jeweils von 2 verschiedenen Positionen (Prinzip der Stereographie) 3-4 Fotos für die Aufnahme der gesamten Laibung und jeweils 2 Fotos für die Aufnahme der Ortsbrust getätigt.

Nachdem die zur Verfügung stehende Zeit essentiell ist, ist v.a. bei einer nicht gänzlich standsicheren Ortsbrust und der Notwendigkeit des Vorspritzens eine schnelle Abwicklung der Aufnahmen im gesicherten Bereich erforderlich.

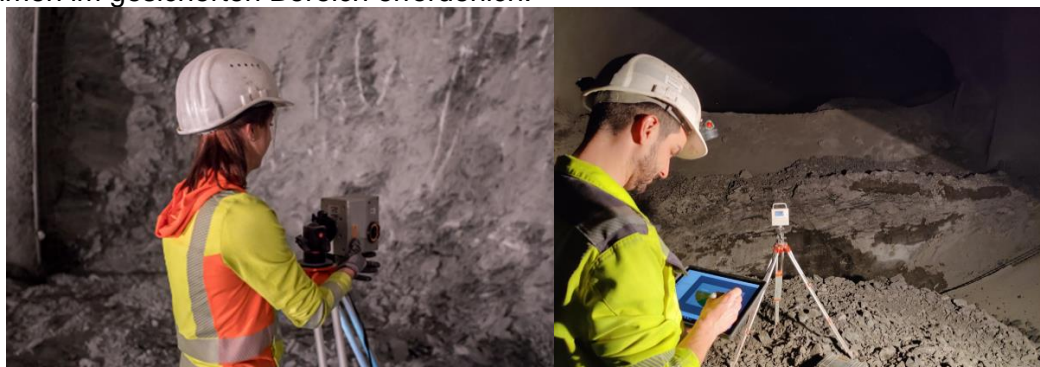


Abbildung 2 Scannereinsatz Perjentunnel – Karawankentunnel

Gegen Ende des Vortriebs wurde am Perjentunnel eine Software zur digitalen, geologischen Aufnahme mit Hilfe der Scannerdaten programmiert. Mittels Tablet oder an einem Stand PC können die Ortsbrustbilder aus den Scans in eine Eingabemaske importiert und die Erstellung der Ortsbrustskizze direkt am Bild durchgeführt werden. Dadurch erfolgt eine Kombination aus Foto und geologischer Ansprache, was die Nachvollziehbarkeit verbessert. Der große Vorteil

der händischen Zeichnung liegt in der abstrahierten Darstellung, in welcher der geologische Bearbeiter seine Interpretation hervorhebt. Sie ist zumeist leicht verständlich, anschaulich, aber weitgehend von den zeichnerischen Fähigkeiten des Bearbeiters abhängig. Die Kombination von geotechnischer Aufnahme relevanter Abschlüge und der Prüfung des Gebirgsverhaltens anhand der Bilder mehrerer Abschlüge, erlaubt eine Zusammenführung der Vorteile händischer und digitaler Dokumentationssysteme. Mit dem Ortsbrustbild im Hintergrund sind die Ist-Daten dokumentiert und durch das Zeichnen direkt auf dem Bild kann die Interpretation von den Ist-Daten jederzeit getrennt werden.



Abbildung 3 Ortsbrustzeichnung

Neben der digitalen Ortsbrustskizze werden in der Software auch sämtliche für den jeweiligen Abschlag geologisch relevante Parameter dokumentiert. Die Verwaltung der gesammelten Daten erfolgt über eine weitgehend standardisierte Datenbank, aus der alle Informationen auch für andere geologische Dokumentationssoftware exportiert werden können. In der Datenbank sind außerdem Vortriebsrelevante Information, wie Achsverlauf, Vortriebsrichtung etc. hinterlegt, wodurch die Orientierung der Ortsbrust an jeder Station bekannt ist. Beim Eintragen von Trennflächenorientierungen mit Hilfe von Müllerfährchen richten sich diese entsprechend der Verschneidung von Trennfläche und Ortsbrust automatisch aus und geben somit eine erste Auskunft zur Plausibilität des eingegebenen Wertes.

Das digitale Ortsbrustbild kann in der Aufnahmesoftware außerdem so vorbereitet werden, dass es in Zusammenhang mit den vom Scanner aufgenommenen Laibungsbildern zu einem 3D-Modell prozessiert werden kann. Im hochauflösenden 3D-Modell von Laibung und Ortsbrust können dann Volumenkörper (Lithologische Einheiten), Flächenelemente (Schichtflächen, Klüfte, Störungen) und Punktinformationen (Wasserzutritte, Proben, Bohrungen, Mineralfunde etc.) eingetragen werden.

Durch die Einfachheit der Bedienung des Hand-Scanners kann der Scan auch durch die Vortriebsmannschaft durchgeführt werden, wie beim Baulos Tulfes-Pfons des Brenner Basistunnels. Dies erlaubt eine umfassende Datenaufnahme auch für die Baufirma, die dann bei Bedarf durch den Geologen gezielt ausgewertet und interpretiert werden kann. Dieser Einsatz erfolgte 2018 im Anschluss an den Perjentunnel und stellte einen ersten Testlauf des neuen Systems dar.

In weiterer Folge wurde das System weiterentwickelt sodass es den vertraglichen Bedingungen der öffentlichen Auftraggeber entsprach. Am Karawankentunnel wurde das System 2018 das erste Mal für ein Angebot bei der österreichischen Autobahngesellschaft Asfinag eingesetzt.

Einsatz bei der geologischen Dokumentation der 2. Röhre des Karawankentunnels

Der 1991 eröffnete Karawankentunnel, der A11 Karawankenautobahn, verbindet das Kärntner Drautal mit dem slowenischen Savetal und ist wegen der Staus in der Urlaubszeit weithin berüchtigt. Gem. Adaptierung der Sicherheitsstandards wurde der Vollausbau ab 2018 in Angriff genommen. Die Abschnitte in Slowenien und Österreich werden getrennt aufgeföhren. Der 4,4km lange österreicherische Abschnitt ist seit Sept. 2018 in Bau. Geologisch werden südalpine Karbonate durchöhrt, wobei vor allem steilstehende Störungszone und horstförmige Strukturen im stark wasserföhrenden Conzendolomit, gipsföhrende Raibler Schichten und die Möglichkeit der Palygorskiteföhung als Besonderheiten hervorzuheben sind. ILF, Dibit und geo ZT sind über Jahre in unterschiedlichen Rollen und Arbeitsgemeinschaften in der Planung und Bau involviert; die geologische Dokumentation wird von der Arge dibit-AFRY durchgeföhrt. Die Leistungen der geo ZT umfassen die Erkundung, geomechanische Planung, Wasserwirtschaftliche Beweissicherung und Hydrogeologische Beratung im Bau, sowie Unterstützung in der geologischen Dokumentation.

Das System läuft seit Vortriebsbeginn weitgehend problemlos. Es erfolgte eine Einbindung in eine Tunneldokumentationssoftware (Redbex der Fa. AFRY) zur Verwaltung der geologischen Daten und Erstellung der Längenschnitte mit Tunnelbändern. Derzeit steht der Vortrieb bei ca. TM 3800 und der Abschluss des Rohausbruchs ist mit Sommer 2021 vorgesehen.

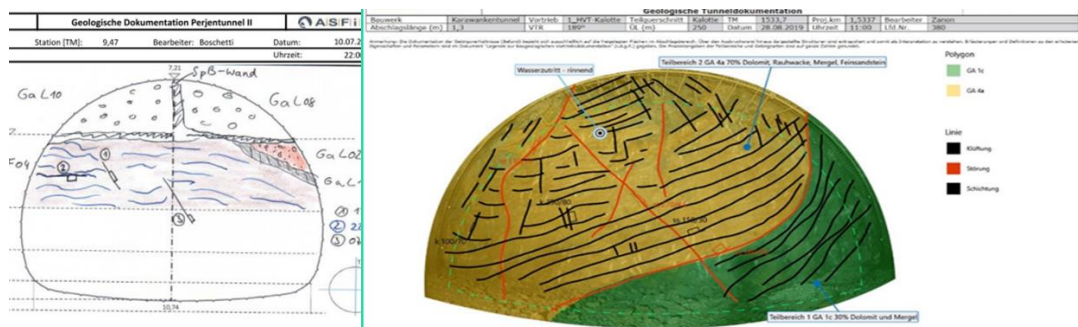


Abbildung 4 Beispiele geologischer Dokumentation, Perjentunnel – Karawankentunnel



Abbildung 5 3D Modell Karawankentunnel

Durch die Verfügbarkeit der Daten der ersten Röhre bietet sich der Neubau der Oströhre auf österreichischem Staatsgebiet für die 3D Planung und als BIM Pilotprojekt (Building-

Information Modell) der Asfinag an. Die Dokumentation, vor allem die abgewinkelte Laibung, wird für die Implementierung in ein BIM aufbereitet und dem BIM-Modellierer iC Salzburg zur Verfügung gestellt. Das 3D Baugrundmodell wurde im Programm Leapfrog von der Firma iC erstellt und laufend mit den aktuellsten geologischen Dokumentationen erweitert

Zur Einführung des Systems kann festgestellt werden, dass es dem Geologen durch die Verfügbarkeit hochauflösender Bilder eine Konzentration seiner Arbeit erlaubt. Selbst wenn der Geologe nicht bei jedem Abschlag vor Ort sein kann, können mit Hilfe der digitalen Daten Änderungen zwischen den Abschlägen festgestellt werden. Die Erstellung der ausführlichen Ortsbrustdokumentation ist dann für Besonderheiten oder repräsentative Abschläge vorgesehen. Des Weiteren kann die Aufnahme im Tunnel fokussiert vorgenommen werden, da nicht jedes Detail sofort aufgezeichnet werden muss. Eine detaillierte Nachbearbeitung der Aufnahme wird durch das Foto deutlich erleichtert. Als letzter Aspekt ist die Erhöhung des Sicherheitsniveaus hervorzuheben, da der ungesicherte Arbeitsraum nicht mehr betreten werden muss. Werden die Scandaten zu einem hochauflösenden 3D-Modell ausgewertet, können sämtliche Trennflächen auch im Nachhinein präzise analysiert und berechnet werden.

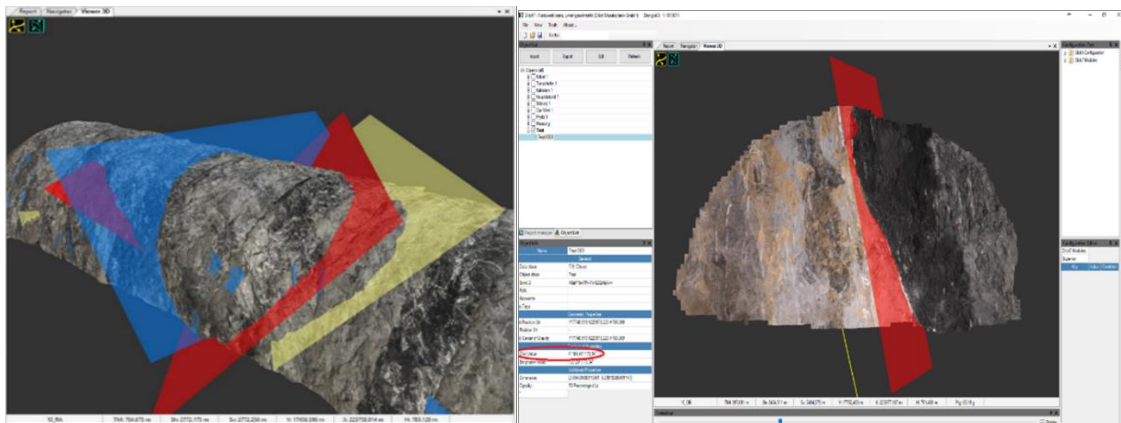


Abbildung 6 Darstellung von Trennflächen im 3D Modell

Weitere Auswertungsmöglichkeiten

Neben den logistischen Vorteilen ergeben sich aus der Zusammenführung der photogrammetrischen Tunnelscans mit der geologischen Dokumentation verschiedene andere Auswertungsmöglichkeiten. Alle Scandaten können, wie bereits erwähnt, zu strukturierten 3D Modellen verarbeitet werden.

Bislang wurden diese v.a. für bautechnische Zwecke verwendet – Vergleich Rohausbruch mit Spritzbetonoberfläche ergibt die Spritzbetonstärke. Damit erfolgt auch eine Kontrolle des Ausbruchprofils und eine Berechnung geologisch bedingten Überprofils. Zuletzt werden die Ebenföchigkeit des Isolierträgers und die Abnahme der Innenschale mit dem System durchgeführt. Sämtliche Daten werden in das Monitoring des Bestands für den Betrieb überführt.

Geologisch ist vor allem die Visualisierung von Problemstrecken mit Überprofil und Mehrausbruch in Zusammenschau mit dem Trennflächengefüge von Interesse. Systematisch kann die Spritzbetonstärke der Kluftorientierung gegenübergestellt werden, ob bspw. bestimmte Trennflächenbestege Auswirkungen auf die Profildmaßhaltigkeit haben.

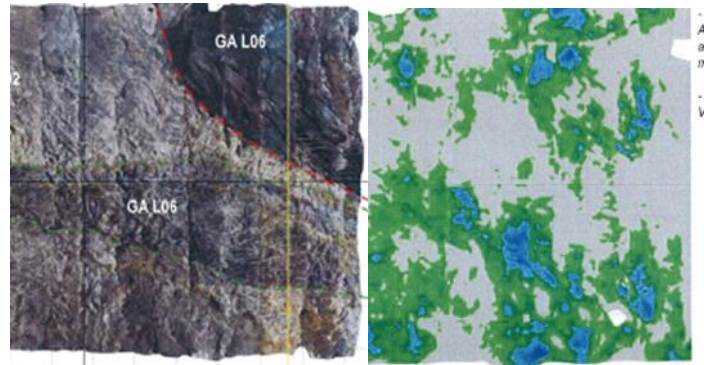


Abbildung 7 Vergleich Geologische Strukturen mit Spritzbetonstärke

Des Weiteren erlaubt die Einführung von Vergleichsebenen eine Skalierung der Rauigkeit – nicht nur für den Abdichtungsuntergrund (Isolierträger) sondern über die Darstellung der Oberfläche der Ortsbrust auch Rückschlüsse auf die Zerlegung des Gebirges. Es können Flächen in verschiedenen Farben dargestellt werden, die sich unterschiedlich weit von einer Vergleichsebene entfernt befinden.

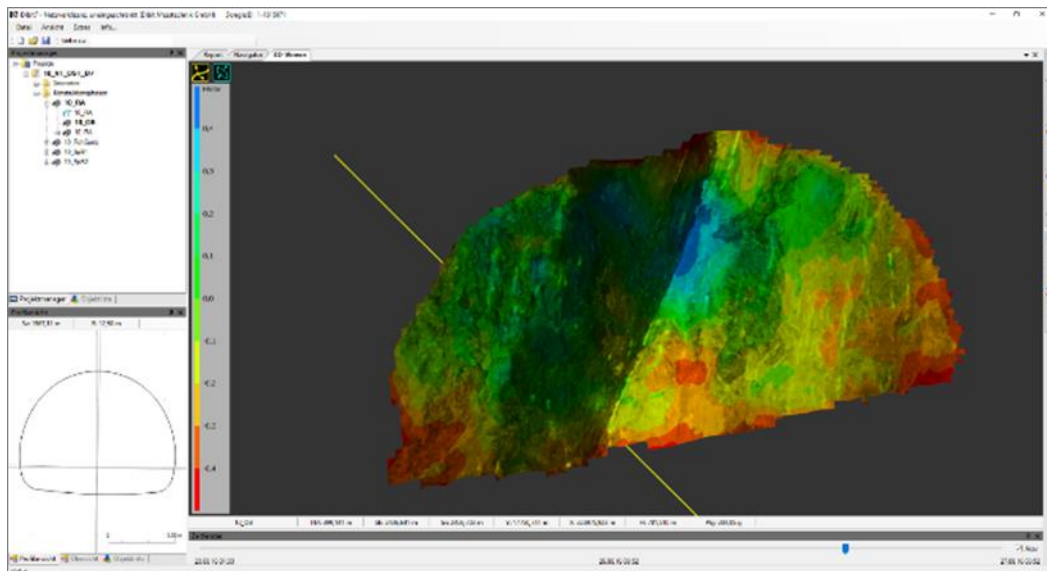


Abbildung 8 Auswertung der Ortsbrustraugigkeit

In weitgehend standfestem Gebirge z.B. bei maschinell aufgefahrenen Stollen erlaubt die Aufnahmetechnik ein durchgehendes 3D Bild mit Darstellung sämtlicher Details bis in den mm-Bereich.

Steht ein 3D Modell des Rohausbruchs zur Verfügung so können im Rahmen des baubetrieblichen Monitorings Veränderungen einfach vom Bau bis in den Betrieb nachvollzogen und geologisch bedingte Ursachen für z.B. Risse, Feuchtstellen etc. dokumentiert und analysiert werden.

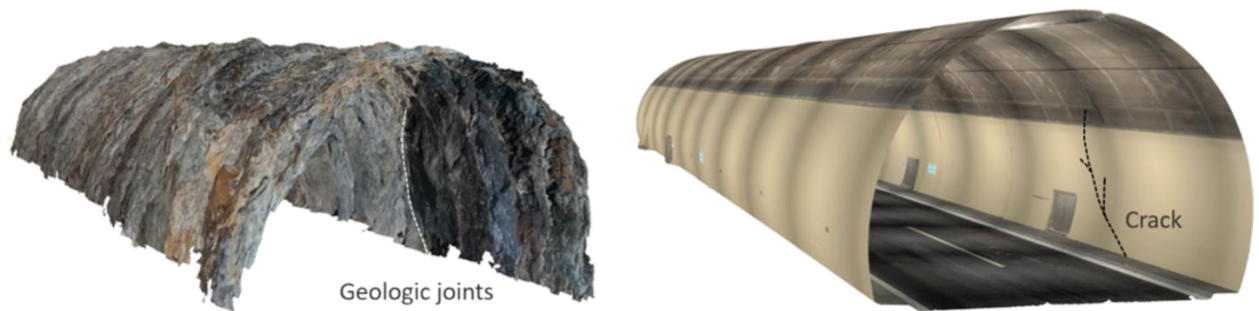


Abbildung 9 Auswertung der Rohausbruch für Monitoring im Betriebszustand

Zusammenfassung

Die permanente Weiterentwicklung von Aufnahme- und Datenverwaltungssystemen erweitert auch das Spektrum der im Tunnel tätigen Geologen. Durch Heranziehen photogrammetrischer Daten aus den Tunnelscans kann einerseits die geologische Dokumentation optimiert und sicherer gestaltet werden, andererseits ergeben sich neue Möglichkeiten für Trennflächenanalysen, Profilkontrollen und Darstellung geologischer Strukturen. Mittlerweile wurde das System nach den Testphasen bis 2018 an 5 Großbaustellen eingesetzt, wobei die Aufnahme von Baufirmen, Vermessern und Geologen erfolgte. Die Anwendungen reichen von Verkehrstunneln bis Wasserstollen und Felsböschungen. Auch unter den Bedingungen in Entwicklungsländern wie Laos konnten zufriedenstellende Resultate erzielt werden.