

Masterarbeit

zum Erwerb des akademischen Grades

Diplomingenieur (Dipl.-Ing.)

der Studienrichtung Rohstoffgewinnung und Tunnelbau

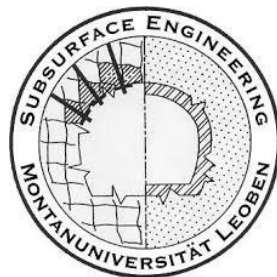
Schwerpunktfach Geotechnik und Tunnelbau



ausgeführt am

Lehrstuhl für Subsurface Engineering

an der Montanuniversität Leoben



Gerhard Six

Leoben, im Jänner 2018

Thema:

**„Logistische Herausforderungen bei dem Einsatz
eines kamerabasierten Aufnahmesystems zur
Erfassung der Ortsbrust eines TBM-Vortriebes“**

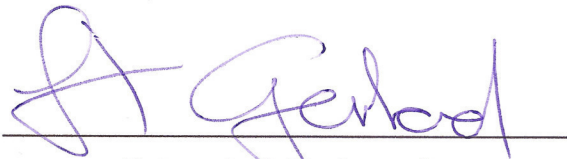
Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfsmittel bedient habe.

Affidavit

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

Datum: 14.01.2018



Unterschrift Verfasser/in
Gerhard, Six
Matrikelnummer: 00435120

Danksagung

An erster Stelle bedanke ich mich bei meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. Robert Wenighofer für seine unentbehrliche Mithilfe bei dieser Arbeit. Seiner durchgehenden Erreichbarkeit, egal zu welcher Tages- und Nachtzeit, sowie seiner stetigen Findung von Problemlösungen in welcher Art auch immer gilt mein besonderer Dank. Ohne seine Mithilfe und die Unterstützung des Lehrstuhls für Subsurface Engineering unter der Leitung von Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert Galler wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Ich bedanke mich bei der BBT SE und allen Beteiligten der ARGE Tulfes-Pfons, bestehend aus der Strabag AG und Salini-Impregilo S.p.A. für die Möglichkeit der Durchführung der Ortsbrustaufnahmen in diesem Projekt. Mein besonderer Dank gilt dem Projektleiter Herrn Ing. Christian Kaiser, dem Bauleiter Dipl.-Ing. Sebastian Grüllich und der Schichtbauleiterin Dipl.-Ing. Marina Zanetti für die tatkräftige Unterstützung auf der Baustelle. Des Weiteren danke ich allen Vortriebsmannschaften, den Wartungsschichten samt Hilfsmeistern und Elektrikern und der Werkstatt für den helfenden Einsatz bei allen Ortsbrustaufnahmen.

Ein weiterer Dank gilt den Geologen Dr.rer.nat. Ralf J. Plinninger und Dr. Andreas Töchterle für den regen Gedankenaustausch bezüglich der Anforderungen an ein kamerabasiertes Aufnahmesystem.

Für die Begleitung durch das Studium und die damit verbundenen schwierigen sowie vor allem auch schönen Abschnitte danke ich meinen langjährigen StudienkollegInnen.

Meiner Familie, im Besonderen meinen Eltern Gerhard und Rosalia sowie meiner Schwester Martina, danke ich für die Geduld und die durchgehende Unterstützung während meiner Ausbildungs- und Studienzzeit. Ein besonderer Dank gilt meiner Freundin Angelika, die mir während meines Studiums hindurch zur Seite gestanden ist, und mir in schwierigen Situationen den nötigen Rückhalt gegeben hat

Kurzfassung

In dieser Arbeit wird die Durchführung einer neuen Messtechnologie zur Dokumentation der Ortsbrust eines Hartgestein TVM Vortriebes am Baulos Tulfes-Pfons des Brenner Basistunnel beschrieben. Den Zuschlag für dieses Baulos erhielt die Bietergemeinschaft ARGE Tulfes Pfons, bestehend aus der österreichischen Strabag AG und der italienischen Salini-Impregilo S.p.A.

Die Ortsbrustdokumentation erfolgt mit einem kamerabasiertem Aufnahmesystem, das im Rahmen eines F&E-Projekts TBMonitor in Zusammenarbeit mit der Geodata GmbH und dem Institut für Subsurface Engineering der Montanuniversität in Leoben entwickelt wurde. Das Kamerasystem liefert hochauflösende Bilder und farbcodierte Reliefdarstellungen einer vollflächigen Ortsbrust. Um die beste arbeitsergonomische Reihenfolge der Kamerapositionen zu erhalten, wurden in der zirka 20-monatigen Einsatzzeit mehrere Montagemöglichkeiten getestet. Dabei haben sich 5 bzw. 4 Kamerapositionen, von denen die Ortsbrust während der Drehung des Bohrkopfs ohne Anpresskräfte aufgenommen wird, zur vollflächigen Erfassung bewährt. Für die Montage des Systems bedarf es keines Umbaus oder Adaptierung des Bohrkopfes, da Diskenkästen zur Montage der Kamera genutzt werden.

Diese Aufnahmen ermöglichen eine ingenieurgeologische Bewertung der Ortsbrust und somit eine Kontrolle der Richtigkeit des geologischen Modells. Durch diese Dokumentationen ergibt sich eine für Auftraggeber wie –nehmer objektivere Beurteilungsgrundlage der Ortsbrust und soll somit einen durch weniger Komplikationen behinderten Vortrieb gewährleisten.

Im speziellen Fall des ohne festgelegte Wartungsschicht durchgeführten TBM-Vortriebes, stellt sich die Koordination durch die bauausführende Arbeitsgemeinschaft für eine erfolgreiche Durchführung einer Ortsbrustaufnahme als überaus wichtig heraus, um die logistischen Herausforderungen rund um den Kameraeinsatz zu bewältigen und den Vortrieb nicht zu behindern. Vorausplanbare und unerwartete Stillstandzeiten wie aufgrund von Reparaturen erfordern eine stetige Einsatzbereitschaft des Kamerasystems und werden in der vorliegenden Arbeit im Hinblick darauf kategorisiert, parallel zu den Ortsbrustaufnahmen durchgeführt werden zu können. Zudem erweist sich in der mehrmonatigen Einsatzzeit das Gebirge als wesentlicher Faktor, der die Aufnahmen sicherheitstechnisch sowie hinsichtlich der Bewegungsfreiheit des Bohrkopfs erlaubt oder verunmöglicht. Die Arbeit stellt Anwendung, Durchführung der Ortsbrustaufnahmen und Auswertung vor und kann als Leitfaden zum Einsatz einer neuen Messtechnologie dienen.

Abstract

This master thesis addresses the implementation of a new measurement technology for the documentation of the tunnel face of a hard rock TBM driving realised at the Tulfes-Pfons construction lot of the Brenner Base Tunnel constructed by ARGE Tulfes Pfons, a bidding consortium of Strabag AG and Salini Impregilo S.p.A.

The documentation of the tunnel face is done using a camera-based recording system, which was developed as part of TBMonitor a R & D project in cooperation with Geodata GmbH and the Chair of Subsurface Engineering of the University of Leoben. The camera system provides high-resolution images and colour-coded relief images of the full face. To get the most ergonomic order of the camera positions, several mounting options were tested in the approximately 20-month operating time. Here are 5 or 4 camera positions, from which the tunnel face is recorded during the rotation of the drill head without contact forces, have proven to be sufficient for imaging the full face. For the assembly of the system there is no need to modify or adapt the drill head as disc cases are used to mount the camera. These images allow for an engineering geological assessment of the tunnel face and thus a control of the correctness of the geological model. These documentations result in a more objective basis of assessment of the tunnel face for the client and the contractor, ensuring continuous tunnel boring free from disruption.

The TBM drive represents a special case lacking a fixed maintenance shift. Thus, the coordination by the contractor turns out to be very important for a successful completion of a recording of the tunnel face. It is an indispensable prerequisite to master the logistical challenges around the use of the camera and to avoid obstructions to the heading. Predictable and unexpected downtime such as due to repairs require a continuous readiness of the camera system and are categorized in the present thesis regarding to be performed in parallel to the tunnel face recordings. In addition, the rock mass proves to be an essential factor in the several months of operation, which allows or prevents the recordings by safety reasons as well as in terms of mobility of the drill head. The thesis presents the application, the use of the camera system and interpretation of its results and can serve as a guide to the use of a new measurement technology.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	STAND DER TECHNIK	3
3	PROJEKTBECHREIBUNG	6
3.1	BAULOS TULFES-PFONS	8
3.2	BAULOS WOLF	10
3.3	BAULOS PFONS-BRENNER	11
3.4	BAULOS MAULS 2-3	11
3.5	BAULOS EISACKUNTERQUERUNG.....	12
3.6	GEOLOGIE	13
3.6.1	<i>Allgemein</i>	<i>13</i>
3.6.2	<i>Brenner Basistunnel</i>	<i>13</i>
3.6.3	<i>Geologische Beschreibung Baulos Tulfes-Pfons</i>	<i>15</i>
3.7	TUNNELBOHRMASCHINE.....	17
4	AUFNAHMESYSTEM	19
4.1	HARDWARE	20
4.1.1	<i>Kameraeinheit</i>	<i>20</i>
4.1.2	<i>Steuereinheit.....</i>	<i>22</i>
4.2	SOFTWARE.....	24
4.2.1	<i>Software Development Kit Vimba 1.2.1</i>	<i>24</i>
4.2.2	<i>WPF-Anwendung zur Erstellung der 3D-Positionen.....</i>	<i>26</i>
4.2.3	<i>Agisoft Lens Kamerakalibrierung</i>	<i>27</i>
4.2.4	<i>Agisoft Photoscan 1.2.x.....</i>	<i>28</i>
4.2.5	<i>CAD Software</i>	<i>30</i>
4.3	GEGENÜBERSTELLUNG VON ANFORDERUNGEN UND DEM EINGESETZTEN AUFNAHMESYSTEM.....	32
4.3.1	<i>Vergleich laut Ausschreibung des Bauloses Tulfes-Pfons mit dem eingesetzten Aufnahmesystem</i>	<i>32</i>
4.3.2	<i>Vergleich laut Ausschreibung des Bauloses Pfons-Brenner mit dem eingesetzten Aufnahmesystem</i>	<i>33</i>
4.3.3	<i>Vergleich der geologischen Anforderungen mit den vorhandenen Auswertungen.....</i>	<i>36</i>
5	ORTSBRUSTAUFNAHMEN	39
5.1	VORAUSSETZUNGEN ZUR DURCHFÜHRUNG EINER ORTSBRUST-AUFNAHME	40
5.2	SYSTEMINSTALLATION	42
5.3	DURCHFÜHRUNG DER ORTSBRUSTAUFNAHME UND BESCHREIBUNG DER AUFNAHMEKONFIGURATION	46
5.4	ZEITBEDARF DER ORTSBRUSTAUFNAHMEN	51
5.5	ERSTELLUNG DER ORTSBRUSTBILDER.....	55
5.6	ERGEBNISSE DER REKONSTRUKTIONEN.....	57
5.6.1	<i>Rekonstruktion der Daten zweier Aufnahmesysteme.....</i>	<i>58</i>
5.6.2	<i>Rekonstruktion der Daten einer Farbkamera</i>	<i>59</i>

5.6.3	<i>Rekonstruktion der Daten einer Farbkamera mit Schneider-Kreuznach Objektiv</i>	<i>59</i>
5.6.4	<i>Fehlgeschlagene Rekonstruktion durch Beschlagen der Linse</i>	<i>61</i>
5.6.5	<i>Fehlgeschlagene Rekonstruktion infolge erhöhten Staub-aufkommens</i>	<i>61</i>
5.7	AUSWERTUNG DER DIGITALEN ORTSBRUSTBILDER	63
6	SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK	66
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	69
	TABELLENVERZEICHNIS	71
	LITERATURVERZEICHNIS	71
	ANHÄNGE	75

1 Einleitung

Da die Sicht auf die Ortsbrust in einem kontinuierlichen Vortrieb durch den Bohrkopf eingeschränkt ist, ist es für Geologen ein schwieriges Unterfangen eine detaillierte ingenieurgeologische Ortsbrustdokumentation zu erstellen.

Aufgrund dieser Thematik wurde im Zuge eines Forschungsprojektes in Zusammenarbeit der Montanuniversität Leoben und Geodata GmbH, ein kamerabasiertes Aufnahmesystem zur Aufnahme der Ortsbrust eines TVM Vortriebes entwickelt. Ziel dieses Projektes ist eine vollflächige Ortsbrustaufnahme, ohne dafür den Bohrkopf mit diversen Aufbauten oder zusätzlichen Öffnungen adaptieren zu müssen, wie es bei anderen Systemen dieser Art der Fall ist. Ein weiteres Ziel dieser vollflächigen Ortsbrustaufnahme ist, die Beurteilung der Ortsbrust auf eine für Auftraggeber und -nehmer objektivere Grundlage zu stellen.

Das Kamerasystem wurde auf einer offenen Gripper Tunnelbohrmaschine des Brenner Basistunnels, im Erkundungsstollen der ARGE Tulfes-Pfons (STRABAG AG und Salini Impregilo S.p.A.) getestet und war für 20 Monate regelmäßig im Einsatz, um die Anwendung und Auswertungen laufend zu optimieren.

Das System setzt sich aus einer Steuereinheit und ein- oder mehreren Kameraeinheiten zusammen, die während der Aufnahmen am Bohrkopf, in den Diskenkästen montiert werden. Diese Montage in den Diskenkästen macht dieses System sehr flexibel und kann daher auf TBMs verschiedener Durchmesser eingesetzt werden. Für die Aufnahmen werden Vortriebspausen genutzt, um den laufenden Betrieb nicht zu stören. Dies bedingt eine schnelle und einfache Montage des Systems und begrenzt die Anzahl der Aufnahmen. Dabei wird die Kameraeinheit nach jeder Drehung (360°), welche einem aufgenommenen Ring der Ortsbrust entspricht, in einem weiteren Diskenkasten montiert. Im Anschluss werden die einzelnen Fotos einer fotogrammetrischen Prozessierung zugeführt. Am Ende des Workflows wird eine 3D-Rekonstruktion der gesamten Ortsbrust berechnet. Diese 3D-Rekonstruktion ermöglicht Auswertungen von Ausbruchsvolumina und Raumstellung von Trennflächen, die mit der Software AutoCAD bzw. Civil3D von Autodesk durchgeführt werden können.

Neben dieser Rekonstruktion wird ebenfalls ein Orthofoto mit gleichmäßiger Ausleuchtung erzeugt, das auch nicht sichtbare Bereiche hinter dem Bohrkopf detailgenau darstellt.

Es müssen generelle Voraussetzungen gegeben sein, die eine Aufnahme der Ortsbrust ermöglichen. In bestimmten Fällen, bei instabiler Ortsbrust oder Tunnellaubung, die einen unmittelbaren Einbau der Stützmittel hinter dem Fingerschild erfordern, ist eine

Aufnahme nicht durchführbar. Um solche Situationen zu erkennen, werden die Voraussetzungen in dieser Arbeit näher beschrieben.

Ein weiterer wesentlicher Punkt, um eine erfolgreiche Aufnahme der Ortsbrust zu erhalten, ist die Abstimmung mit der Baufirma auf der Baustelle. Es müssen vorbereitende Arbeiten vor dem Einsatz eines kamerabasierten Aufnahmesystems durchgeführt werden. Die Arbeiten umfassen eine Vielzahl an Komponenten, die miteinander in Verbindung stehen, um am Ende ein positives Ergebnis zu erhalten. Das bedeutet, dass sich begleitend zu einer Ortsbrustaufnahme logistische Herausforderungen ergeben, die bewältigt werden müssen. Diese Arbeit befasst sich mit diesen Herausforderungen, um die Durchführung einer Aufnahme zu optimieren und dadurch den Zeitbedarf zu minimieren.

Um Probleme, die sich durch die harschen Umgebungsbedingungen im Bohrkopfbereich ergeben zu erkennen und denen entgegenzuwirken, werden diese näher beschrieben und Lösungsvorschläge angegeben. Durch diese Probleme kann die Auswertung beeinträchtigt und das Ergebnis als nicht zufriedenstellend bewertet werden.

Die Herausforderungen, die sich mit einem kamerabasierten Aufnahmesystem ergeben, werden im Rahmen dieser Arbeit betrachtet und bewertet. Die Beschreibung reicht von den Einzelkomponenten des Systems, der Aufnahmekonfiguration und Montage bis hin zur Auswertung. Somit entspricht diese Arbeit einem Art Leitfaden zur Benutzung eines kamerabasierten Aufnahmesystems.

2 Stand der Technik

Die ingenieurgeologische Vortriebsdokumentation schließt neben der Beurteilung der Ortsbrust weitere Maßnahmen mit ein. Diese zusätzlichen substantiellen Dokumentationen sind Vorauserkundungsbohrungen mit anschließender Kamerabefahrung, begleitende seismische Messungen, um eventuelle Störzonen vor der Ortsbrust zu erkennen und permanente Aufzeichnungen und Speicherung aller relevanten Vortriebsparameter. Vorteil dieser Dokumentationen gegenüber der ingenieurgeologischen Ortsbrustdokumentation ist die Digitalisierbarkeit der gewonnenen Daten. Nachfolgend werden die jeweiligen Maßnahmen beschrieben und näher betrachtet.

Der Entwicklungsstand der geologischen Dokumentation der Ortsbrust im zyklischen Vortrieb liegt im Vergleich zur Dokumentation im kontinuierlichen klar voran. Dies liegt daran, dass die gesamte Ortsbrust im zyklischen Vortrieb ohne Sichtbehinderung zugänglich und dadurch eine erleichterte geologische Kartierung möglich ist. Die Dokumentationen werden mit Fotos ergänzt und können in einem Postprocessing-Schritt zu einer 3D-Rekonstruktion verarbeitet werden.

Im Gegensatz dazu ist der Zugang zur Ortsbrust im kontinuierlichen Vortrieb durch den Bohrkopf versperrt. Der Bohrkopf ist schwer zugänglich und es herrschen meist hohe Temperaturen und Luftfeuchtigkeit, die eine Arbeit im Bohrkopfbereich zusätzlich erschweren. Durch den Bohrkopf ist die Sicht auf die Ortsbrust behindert und er verfügt nur über wenige kleine Öffnungen, die eine geologische Dokumentation der gesamten Ortsbrust erheblich einschränken. Da die Mannlöcher, Diskenkästen oder Räumler über das ganze Schneidrad verteilt sind, muss zur Kartierung der Ortsbrust zu den einzelnen Öffnungen geklettert werden, was wiederum eine sicherheitstechnische Gefahr darstellt. Entwicklungen kamerabasierter Aufnahmesysteme verbessern die Situation, die zu 2D Ansichten oder sogar 3D Rekonstruktionen der Ortsbrust führen.[1]

Nachfolgend wird der derzeitige Stand der Technik für die Dokumentation der Ortsbrust und der Gebirgsverhältnisse, am Baulos Tulfes-Pfons des Brenner Basistunnels beschrieben. Dieser maschinelle Vortrieb ist wesentlich durch das Fehlen fest in den Bauablauf eingetakteter Wartungsschichten gekennzeichnet.

Geologen begutachten und kartieren regelmäßig während der Stillstandszeiten die Ortsbrust und die hinter dem Fingerschild sichtbare Laibung. Da der Bauablauf am Baulos Tulfes-Pfons keine separate Wartungsschicht vorsieht, werden diverse Stillstände wie Band-, Kabel- oder Wasserrohrverlängerung, Meißelkontrollen und -wechsel, Reparatur-

und Wartungsarbeiten zur geologischen Dokumentation genutzt. Die Kartierung der Ortsbrust erfolgt mittels Blick des Geologen durch diverse Öffnungen am Bohrkopf wie zum Beispiel Diskenkästen, Mannlöcher und Räumler. Durch diese Öffnungen kann nur ein kleiner Bereich des anstehenden Gebirges begutachtet werden. Da diese Öffnungen wie in Abbildung 1 dargestellt, über das gesamte Schneidrad verteilt sind, muss im Zuge einer Ortsbrustdokumentation zu mehreren Öffnungen geklettert werden.

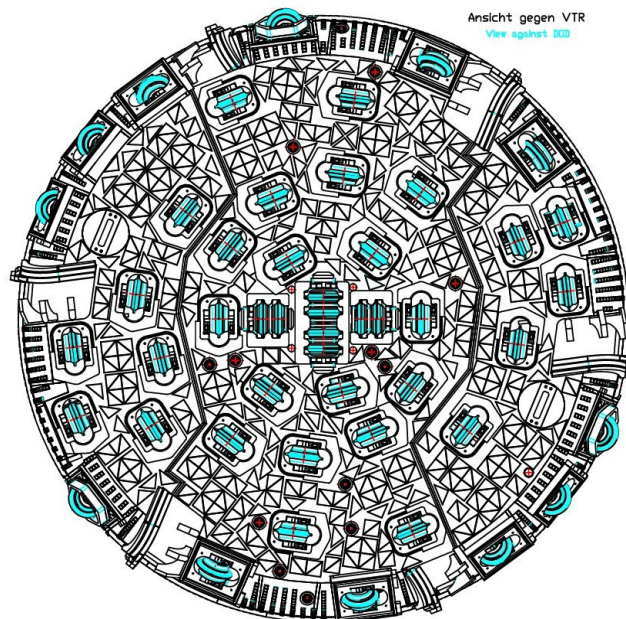


Abbildung 1: Bohrkopf mit Ansicht gegen die Vortriebsrichtung [2]

Dem Geologen ist weder die Ausdehnung, noch die genaue Position eventueller Fremdeinschlüsse oder Störungen auf der Ortsbrust durch die Sichteinschränkung bekannt. Es wird eine Ortsbrustskizze mit der geologischen Dokumentation, wie in Abbildung 2 zu sehen ist, erstellt, später digitalisiert und verteilt. Des Weiteren werden die Daten mit der Software TUGIS.NET weiterverarbeitet und gespeichert.

Das Softwareprogramm TUGIS.NET ist ein geographisches Informationssystem (GIS) speziell für die Analyse und Prognose im Tunnelbau. Mithilfe des Programmes können Daten einzelner geologischer Aufgabenstellung mit Datensätzen anderer Gebiete wie zum Beispiel der Geophysik oder Vermessung in Beziehung gesetzt werden. Da die anfallenden Daten im Tunnelbau grundsätzlich dreidimensional sind, stellt die Bearbeitung mit GIS hier einen Sonderfall dar. Die Schwierigkeit besteht darin, die aufgenommenen geologischen Dokumentationen in GIS-kompatible Datenstrukturen zu transferieren. Mithilfe des Programmes TUGIS.NET ist dies möglich und es können dreidimensionale Analysen durchgeführt werden. [3]

3 Projektbeschreibung

Eine wichtige Nord-Süd-Verbindung in Europa bildet der SCAN-MED Korridor (Skandinavien – Mittelmeer). In diesem SCAN-MED Korridor ist der Brenner Basistunnel (Abbildung 3) zur Überwindung der Alpen eines der zentralen Infrastrukturprojekte.



Abbildung 3: Skandinavien – Mittelmeer Korridor [5]

Der Brenner Basistunnel ist ein Eisenbahntunnel, welcher von Innsbruck bis nach Franzensfeste führt. Gemeinsam mit der bestehenden Umfahrung Innsbruck erreicht er eine Länge von 64 km. Somit entsteht mit dem Brenner Basistunnel die derzeit längste unterirdische Eisenbahnverbindung der Welt. Vom Portal Innsbruck bis zum Portal Franzensfeste hat der Brenner Basistunnel eine Länge von 55 Kilometern.

Der Basistunnel besteht aus einem Erkundungsstollen, zwei Haupttunnelröhren und vier Zufahrtstunnel (Abbildung 4). Diese sind auf österreichischer Seite in Ampass, im Ahrental, dem Ort des Kameraeinsatzes, und in Wolf bei Steinach am Brenner, in Italien bei Mauls angeordnet. Die vier Zufahrtstunnel verbinden die Oberfläche mit den Tunnelröhren. In der Bauphase dienen sie logistischen Zwecken, um einerseits das Ausbruchsmaterial über die Zufahrtstunnel zu den Deponien zu befördern und andererseits erfolgen sämtliche Materialanlieferungen für den Bau des Basistunnels ebenfalls über die Zufahrtstunnel.

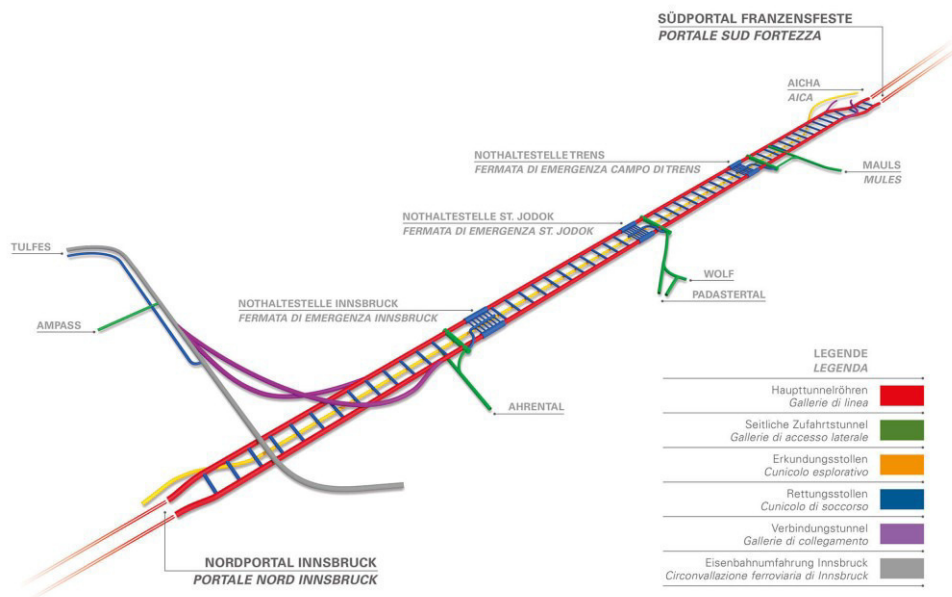


Abbildung 4: Schematische Nord- Südansicht des Brenner Basistunnel [5]

Zwischen Innsbruck und Franzensfeste sind zwei eingleisige Haupttunnelröhren im Abstand von 40 bis 70 Metern geplant. Alle 333 Meter sind Querschläge zwischen den beiden Haupttunnelröhren angeordnet (Abbildung 5). Diese Verbindungen erfüllen sowohl eine logistische als auch eine Sicherheitsfunktion. Eine Besonderheit ist der durchgehende Erkundungsstollen. Dieser verläuft mittig zwölf Meter unterhalb der beiden Haupttunnelröhren. Der Erkundungsstollen dient der geologischen Vorerkundung, als Service- und Logistiktunnel während der Bauphase, sowie als Wartungs- und Drainagetunnel im Betrieb. Insgesamt umfasst das geplante Tunnelsystem des Brenner Basistunnels ca. 230 Tunnelkilometer. [6]

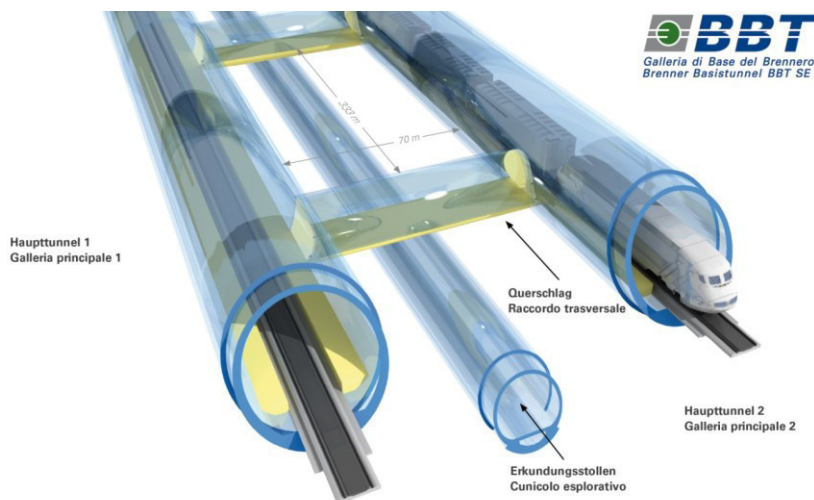


Abbildung 5: Ansicht der Haupttunnelröhren mit Erkundungsstollen und Querschlägen [5]

3.1 Baulos Tulfes-Pfons

Das Baulos Tulfes-Pfons befindet sich am nordöstlichen Ende des Projektgebiets und reicht von Tulfes im Osten bis nach Steinach am Brenner im Süden. Die Arbeiten an diesem Baulos haben im Juli 2014 begonnen. Prognostiziertes Bauzeitende ist im Frühling 2019. Ausgeführt wird dieses Projekt mit einem Bauvolumen in der Höhe von ca. 380 Mio. Euro von einer Arbeitsgemeinschaft bestehend aus dem österreichischen Baukonzern Strabag AG und dem italienischen Bauunternehmen Salini Impregilo S.p.A.

Das Baulos setzt sich aus mehreren Bauwerken zusammen:

- Rettungsstollen Tulfes
- Nothaltestelle Innsbruck
- Haupttunnelröhren
- Verbindungstunnel
- Erkundungsstollen Ahrental-Pfons
- Herstellen und Betreiben von entsprechenden Deponieflächen in Ampass und Ahrental
- Herstellung von Gewässerschutzanlagen
- Herstellung Ingenieurbauwerken

Der 9 km lange Rettungsstollen führt vom Gemeindegebiet Tulfes bis nach Aldrans. Er wird mit einem Querschnitt von ca. 30 m² - 40 m² ausgebrochen. Der Ausbruch erfolgt über drei Vortriebe, die parallel aufgefahren werden. Alle 333 Meter befinden sich Querschläge, die als Fluchtweg in den parallelverlaufenden Rettungstunnel dienen.

Die Verbindungstunnel Ost und West sind Verbindungsröhren zwischen dem Brenner Basistunnel und dem bestehenden Umfahrungstunnel Innsbruck. Die beiden Verbindungstunnel Ost und West überwerfen sich im Bereich des Lanser Sees. Die Überwerfung der Tunnelröhren ist notwendig, um einen kreuzungsfreien Übergang der aus Italien kommenden Züge (Linksverkehr) in das österreichische Bahnnetz (Rechtsverkehr) – und umgekehrt – zu garantieren. Die Verbindungstunnel haben einen Querschnitt von ca. 110m² und werden durch eine 45 cm dicke Trennwand in zwei Bereiche unterteilt. Im größeren Bereich erfolgt der Bahnverkehr, der kleinere Bereich dient als Sicherheitskorridor. Sicherheitskorridor und Bahnröhre sind alle 333 Meter durch Brandschutztüren verbunden. Die beiden Verbindungstunnel Ost und West münden nördlich der Nothaltestelle Innsbruck, über die sogenannten Abzweigkavernen, in den Brenner Basistunnel.

Insgesamt sind im BBT drei Nothaltestellen vorgesehen. Die nördlichste Nothaltestelle wird südlich von Innsbruck, unter dem Ahrental bzw. dem Gemeindegebiet von Innsbruck-Igls und Patsch mit einer Länge von 470 m errichtet. Im Bereich der Nothaltestelle werden die beiden Haupttunnelröhren mit einem größeren Querschnitt aufgeföhren, um bessere Rettungsmöglichkeiten zu bieten. Parallel zwischen den beiden Haupttunnelröhren verläuft im Bereich der Nothaltestelle ein Mittelstollen. Dieser ist von beiden Haupttunnelröhren über Querverbindungen und Brandschutztüren erreichbar. Um die Rettungsmöglichkeiten für die Passagiere im Bereich der Nothaltestelle zu verbessern wird der Regelabstand der Querverbindungen von 333 Meter auf 90 Meter reduziert.

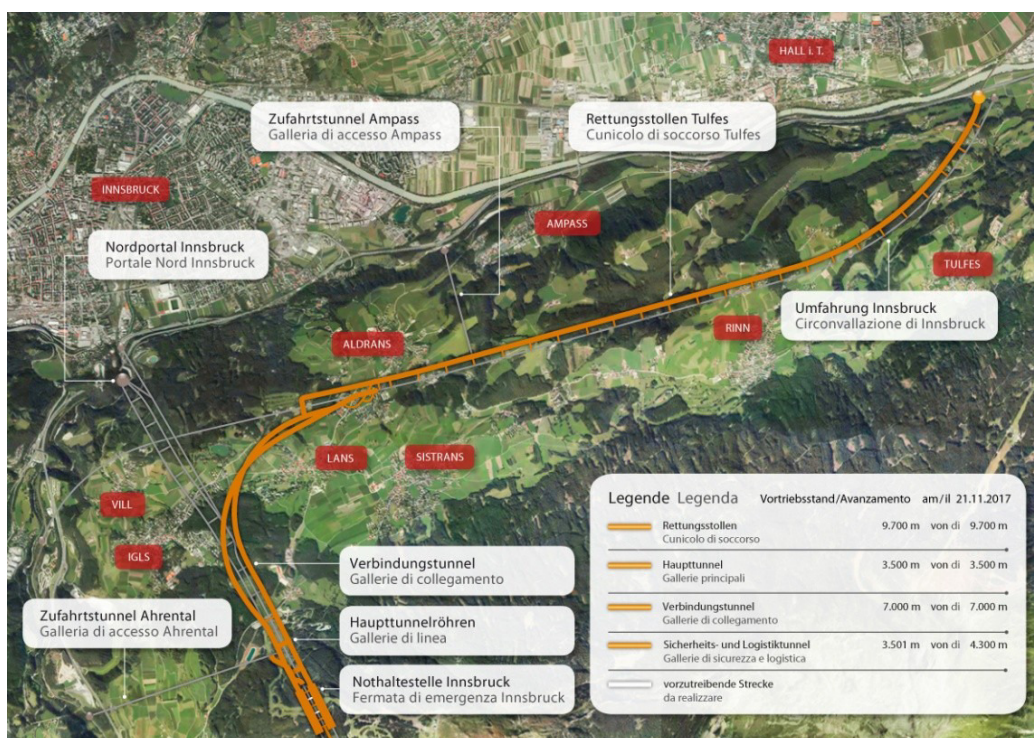


Abbildung 6: Vortriebsgrafik des nördlichen Teils des Bauloses mit aktuellem Vortriebsstand per 21.11.2017 [5]

Bereits im Vorlos Innsbruck-Ahrental wurden 5 km Erkundungsstollen aufgeföhren. Am Ende dieses Tunnelabschnittes wurde eine 50 x 15 m große und 15 m hohe Montagekaverne für den Zusammenbau der Tunnelbohrmaschine (TBM) ausgebrochen. In diesem Baulos wird von der Montagekaverne aus der Erkundungsstollen in Richtung Steinach am Brenner mit einer Länge von 15 Kilometern per TBM aufgeföhren. Die Ortsbrustaufnahmen wurden im Bereich von zirka TM 500 bis TM 7.800 in diesem Erkundungsstollen durchgeführt. [7]

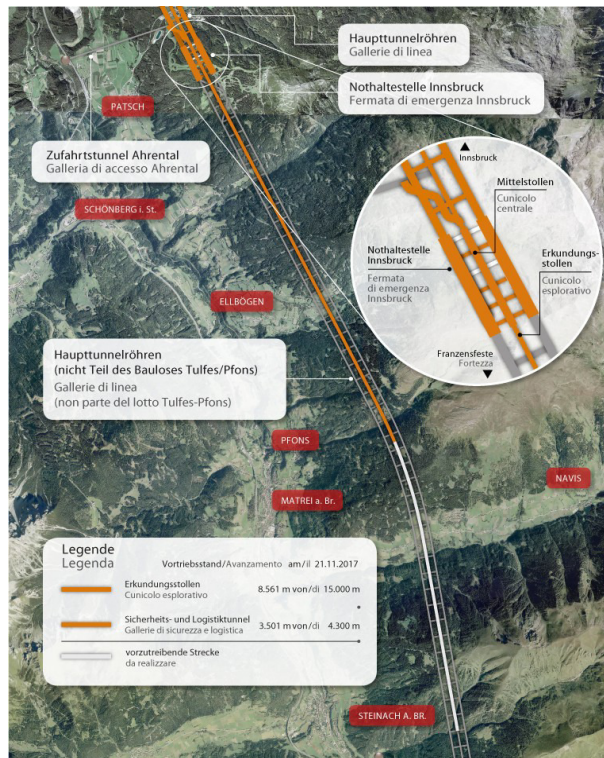


Abbildung 7: Vortriebsgrafik des südlichen Teils des Bauloses mit aktuellem Vortriebsstand per 21.11.2017 [5]

3.2 Baulos Wolf

Das Baulos beinhaltet die Errichtung des Zufahrtstunnels Wolf, einen Teil des Erkundungsstollens und eine Reihe von logistischen bzw. sicherheitstechnischen Bauwerken für den Hautdeponiebereich im Padastertal.

Von hier werden die beiden Haupttunnelröhren sowohl in Richtung Süden, als auch in Richtung Norden nach Innsbruck vorangetrieben. Über einen Schuttertunnel wird nicht wiederverwertbares Ausbruchsmaterial unterirdisch und auf direktem Weg zur Deponiefläche in das Padastertal gebracht. [8]

Zum Baulos gehören:

- Zufahrtstunnel Wolf (abgeschlossen)
- Erkundungsstollen Wolf (abgeschlossen)
- Innenschale Saxenertunnel (abgeschlossen)
- Umleitungsstollen Padasterbach (abgeschlossen)
- Schutterstollen (abgeschlossen)
- Geschiebesperre Padastertal (abgeschlossen)
- Einlaufbauwerk Padasterbach (abgeschlossen)
- Innenschale Padastertunnel (abgeschlossen)

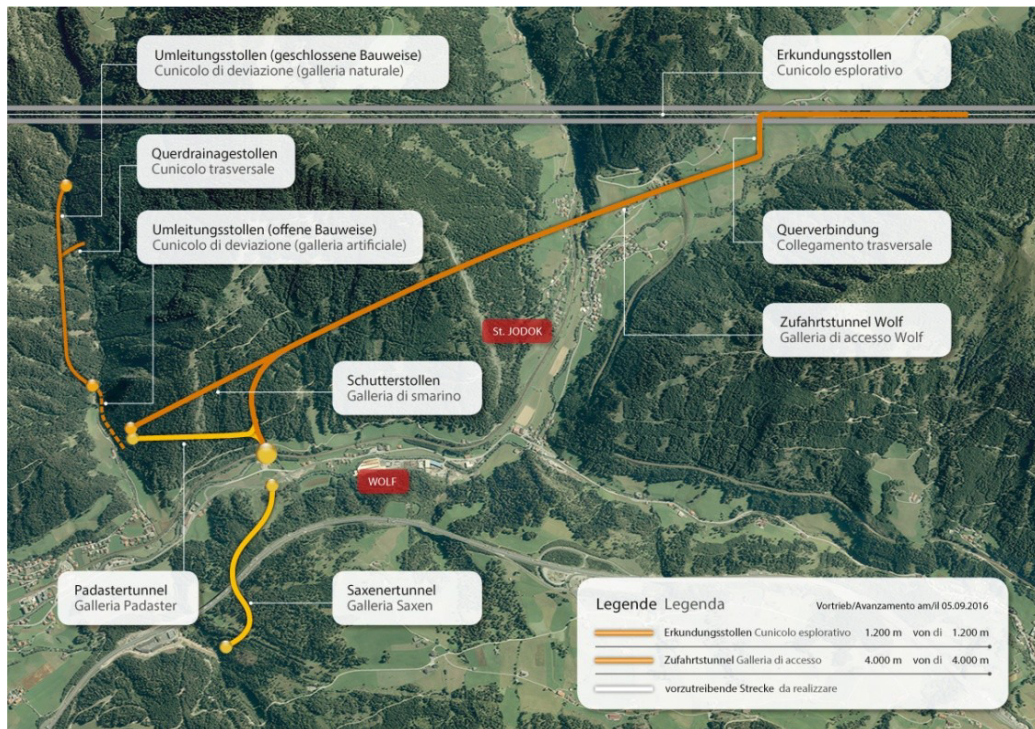


Abbildung 8: Vortriebsgrafik Wolf mit aktuellem Vortriebsstand vom 05.09.2016 [5]

3.3 Baulos Pfons-Brenner

Das gerade in der Angebotsphase befindliche Baulos umfasst die Errichtung von 37 km der Haupttunnelröhren zwischen Pfons und Brenner, rund neun Kilometer Erkundungsstollen sowie die Nothalte- und die Überleitstelle bei St. Jodok. Insgesamt werden ca. 50 Kilometer Tunnel vorgetrieben. [9]

In diesem Baulos ist ebenfalls ein System zur fotogrammetrischen Ortsbrustdokumentation ausgeschrieben.

3.4 Baulos Mauls 2-3

In dem vorherigen Baulos „Periadriatische Naht“ wurden 3,7 km Haupttunnelröhren und 1,5 km Erkundungsstollen ausgebrochen. Mit dem Abschluss dieser Arbeiten waren die logistischen Voraussetzungen für das anschließende Baulos „Mauls 2-3“ geschaffen. Es werden 39,8 Kilometer Fahrtunnel und 14,8 Kilometer Erkundungsstollen vorgetrieben, ebenso wie die Nothaltestelle Trens mitsamt Zufahrtstunnel, und die Querschläge zwischen den Hauptröhren im Abstand von je 333 Metern. Insgesamt werden 65 Tunnelkilometer ausgebrochen. [10]

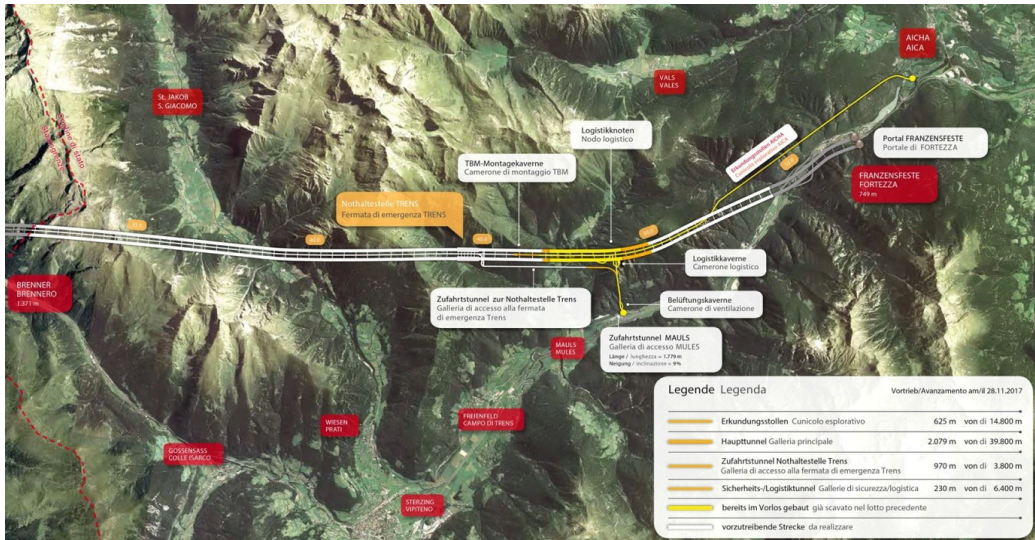


Abbildung 9: Vortriebsgrafik Mauls mit aktuellem Vortriebsstand per 28.11.2017 [5]

3.5 Baulos Eisackunterquerung

Mit diesem südlichsten Baulos wird der Brenner Basistunnel mit der bestehenden Brenner Eisenbahn und dem Bahnhof Franzensfeste verbunden. Insgesamt werden 4,2 km Haupttunnel und 1,5 km Verbindungstunnel realisiert. Die Arbeiten sollen Ende 2022 abgeschlossen sein. [11]

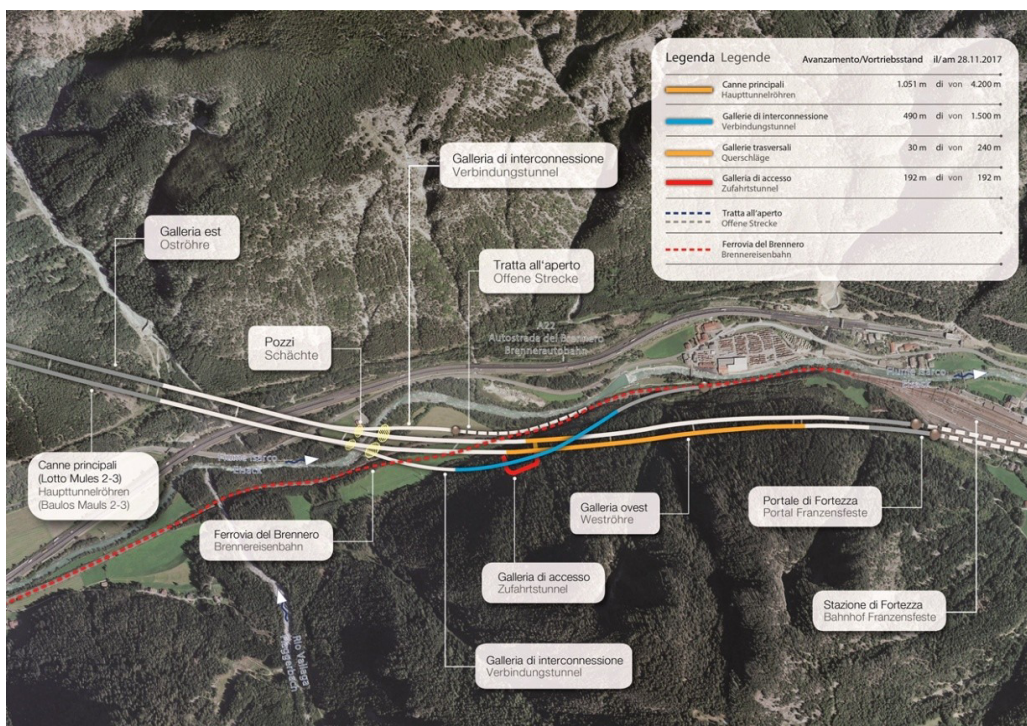


Abbildung 10: Vortriebsgrafik Eisackunterquerung mit aktuellem Vortriebsstand per 28.11.2017 [5]

3.6 Geologie

3.6.1 Allgemein

Die geologische Vorerkundung und die kontinuierliche Begleitung beim Tunnelbau sind von fundamentaler Bedeutung für einen Vortrieb. Am Beispiel des Brenner Basistunnels werden die bisherigen Erfahrungen mit dem Vortrieb des Erkundungsstollens dargestellt und die neuen Erkenntnisse bewertet. Auch hat sich die Wichtigkeit einer kontinuierlichen Aufzeichnung der Geologie, deren Dokumentation und deren geotechnischer Klassifikation möglichst zeitnah mit dem Vortrieb gezeigt, um die sichtbaren Erkenntnisse in sogenannten Tunnelbändern zu dokumentieren.

Die mehrphasige Erkundung basierend auf geologischen Oberflächenaufnahmen in den verschiedensten Maßstäben und zahlreichen Tiefenbohrungen entlang der Trasse ergab geologische Modelle des Gebirges. Im Nahbereich der Bohrungen konnten für die Tiefe punktuell sogar Prognosen mit hoher Detailschärfe erstellt werden. Allerdings weisen diese Prognosemodelle entlang der Trasse große Schwankungen hinsichtlich der Prognosesicherheit auf. Dies betrifft besonders die Vorhersage konkreter Störungen auf Tunnelniveau. Für tiefliegende, lange Tunnel ist es von ausschlaggebender Bedeutung, dass neben einer guten Oberflächenkartierung und Erkundungsbohrungen soweit möglich auch Erkundungsstollen ausgebrochen werden sollten. [12]

3.6.2 Brenner Basistunnel

Die Tunneltrasse führt durch den zentralen Teil der Ostalpen, die durch die Kollision der europäischen und der adriatischen Platte entstanden sind. Begleitet wird diese Gebirgsbildung von Störungen und Störungszonen. Mit der Periadriatischen Störungzone im südlichen Teil bei Mauls (Südtirol) kreuzt eine bedeutende tektonische Störungslinie der Alpen mit einer Gesamtlänge von 700 km und einer Breite von etwa 1300 m die Tunnelachse (Abbildung 11).

Die wichtigsten geologischen Zonen mit den entsprechenden haupttektonischen Einheiten entlang des Brenner Basistunnels von Innsbruck bis nach Franzensfeste sind:

- Innsbrucker Quarzphyllit (Ostalpin)
- Bündnerschiefer (Penninikum – Tauernfenster)
- Untere Schieferhülle (Subpenninikum – Tauernfenster)
- Zentralgneis – Brennermassiv (Subpenninikum – Tauernfenster)
- Untere Schieferhülle und Bündnerschiefer wechselnd (Tauernfenster)
- Glimmerschiefer (Ostalpin)
- Maulser Tonalitlamelle/Periadriatische Störungszone • Brixner Granit (Südalpin)

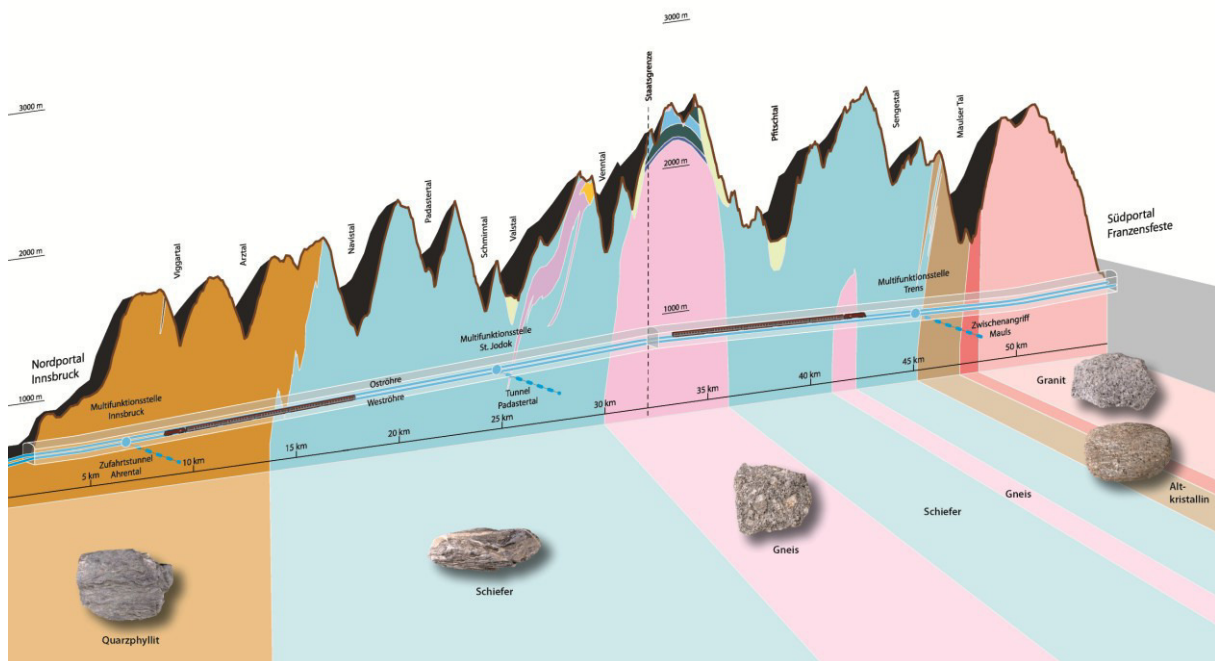


Abbildung 11: Schematischer geologischer Längenschnitt des Brenner Basistunnels [5]

Vereinfacht liegen damit von Nord nach Süd 4 Haupt-Gesteinstypen vor.

- Quarzphyllit: Der Innsbrucker Quarzphyllit ist ein metamorphes, geschiefertes Gestein, das sich hauptsächlich aus den Mineralen Quarz und Glimmer zusammensetzt.
- Schiefer: Bei den Bündnerschiefern und der Unteren Schieferhülle handelt es sich um marine Sedimente und untergeordnet magmatische Gesteine, die im Zuge der Alpenbildung eine Metamorphose erfahren haben. Ein charakteristisches Merkmal stellen die ausgeprägten Schieferungsflächen dar. Die wichtigsten Gesteine sind

Kalkglimmerschiefer, Kalkphyllite, Schwarzphyllite und Grünschiefer. Die volumetrisch wichtigsten Minerale sind Kalzit, Glimmer und Quarz sowie Amphibole in den Grünschiefern. Die Schwarzphyllite beinhalten immer auch Graphit.

- Gneis ist ein grob geschiefertes, kristallines Gestein, das durch die Metamorphose während der Alpenbildung aus granitischen Gesteinstypen entstanden ist. Die sogenannten „Zentralgneise“ bestehen hauptsächlich aus den Mineralien Feldspat, Quarz und leicht untergeordnet Glimmer.
- Granit ist ein massiges, kristallines, magmatisches Gestein. Der mittel- bis feinkörnige Brixner Granit besteht ähnlich dem Gneis aus Feldspat, Quarz und untergeordnet Glimmer, ist jedoch nicht geschiefert. [12]

3.6.3 Geologische Beschreibung Baulos Tulfes–Pfans

Das Baulos Tulfes-Pfans gliedert sich in einzelne Abschnitte mit unterschiedlichen geologischen Gegebenheiten, die kurz dargestellt werden. Da sich der Einsatz des kamerabasierten Aufnahmesystems auf den mit der TBM ausgeführten Erkundungsstollen beschränkt, wird die Geologie des hier angetroffenen Gesteines detaillierter beschrieben. Um einen Kontext zwischen der Geologie und der aus den aufgenommenen Ortsbrustbildern gewonnenen Erkenntnissen darzustellen, ist eine Betrachtung der Gesteinsausprägung anzustellen.

Der Rettungsstollen wird auf dem Großteil der Strecke im Quarzphyllit und auf einer Teilstrecke im Kalk Dolomit Marmor vorgetrieben. Die ersten 170 m befinden sich im Lockermaterial (Schluff-Sand-Kiesgemisch).

Der Vortrieb im Verbindungstunnel wird überwiegend im Quarzphyllit mit Einschaltungen von Quarzitschiefer, Kalk- und Dolomitmarmor und Grün- und Chloritschiefer ausgeführt. Das Vortriebsmaterial der Nothaltestelle besteht überwiegend aus Quarzphyllit mit Einschaltungen von Quarzitschiefer und Gneisen.

Der Erkundungsstollen, in dem das fotogrammetrische Aufnahmesystem eingesetzt wird, schließt im Norden, im Bereich des Nordwesthanges des Patscherkofles, an den bereits aufgefahrenen Erkundungsstollen an. Die Trasse unterquert an der östlichen Seite des Wipptales von Norden nach Süden das Viggartal, Arzthal, Navistal und endet im Bereich des Norhanges des Padastertales. Der Vortrieb des Erkundungsstollens wird zum Großteil im Innsbrucker Quarzphyllit, Schwarzphyllit Karbonatserie und obere Bündner Schiefer ausgebrochen.

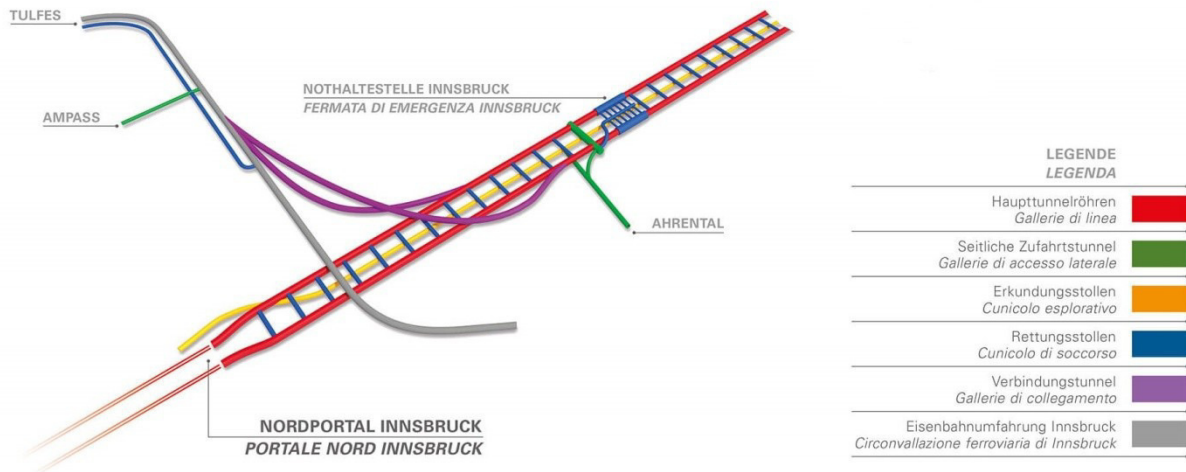


Abbildung 12: Projektbereich Tulfes-Pfons [5]

Die Bezeichnung Quarzphyllit ist eine Sammelbezeichnung für phyllitische Gesteine mit wechselnden Anteilen an Quarz, Hellglimmer, Chlorit, Karbonat und untergeordnet Feldspat. Diese Mineralphasen sind im Gestein lagenförmig angeordnet. Je nach Mineralgehalt besitzen diese Gesteine eher ein quarzitisches oder phyllitisches Auftreten. Die Masse des Quarzphyllites ist geprägt durch eine Wechsellagerung ohne scharfe Grenzen aus unterschiedlichen Phylliten (Quarz-, Serizit-, Albit-, Chlortphyllit) und Quarzitschiefern. Makroskopisch unterscheiden sich die phyllitischen Gesteine durch Farbe (unterschiedliche Grautöne) und Struktur. Charakteristisch für den Quarzphyllit sind mm bis dm dicke Quarzlinsen.

In den Ortsbrustdokumentationen des bereits aufgefahrenen Erkundungsstollens werden zwei Arten von Abfolgen beschrieben. Diese wurden als Quarzphyllit und Quarzitschiefer bezeichnet. Beide Gesteine kennzeichnen sich durch einen fließenden Übergang ineinander. Die Unterscheidung beider Gesteine liegt dabei in der mengenmäßigen Verteilung an Quarz und Glimmer.

Die Ausbildung des Quarzphyllits tritt als engständig geschiefertes Gestein auf. Die Schieferungsflächen sind oft verfaultet. Zur Unterscheidung zwischen Quarzphyllit und Quarzitschiefer wird das Bruchverhalten entlang der Hauptschieferung herangezogen. Der Quarzitschiefer bricht gegenüber dem schieferig-blättrigen bis dünnplattigen Quarzphyllit eher dünnplattig bis plattig. Je höher der Quarz- und Feldspatgehalt desto dickplattiger bricht das Gestein.

Tektonisch überprägte bzw. zerscherte Quarzphyllite zeigen im Allgemeinen eine ausgesprochene dünnschiefrig-blättrige Ausbildung, oft mit schmierigen und graphitischen Trennflächenbestegen.

Die Schwarzphyllite sind als schwarzgraues glänzendes, schiefrigblättriges und mürbfestes Gestein zu beschreiben. Sie werden meist von zahlreichen kleinflächigen Harnischflächen (Spiegelharnische) durchsetzt. Sie treten in Wechsellagerung mit graphitführenden Phylliten auf.

Bei den Bündnerschiefern handelt es sich um eine Wechsellagerung von überwiegend Kalkschiefer und Kalkphyllit mit untergeordneten Anteilen an Schwarzschiefer, Karbonatquarzit bis Quarzmarmor, Kalkmarmor, Kalkglimmerschiefer. Zwischen diesen Typen treten alle Übergänge auf. Der Kalkschiefer ist ein dunkelgrau-hellgrau laminiertes Schiefer mit variierenden Karbonatgehalten. Sie sind (dünn)plattig bis gebankt, lokal auch massig ausgebildet und hart bis örtlich sehr hart. Kalkphyllite sind meist dunkelgraue, teilweise graphit- und pyritführende, feinlamierte Phyllite. Sie sind dünnplattig bis schieferig, lokal auch plattig ausgebildet und mäßig hart bis hart. Schwarzphyllite sind überwiegend dunkelgraue, graphit- und teilweise auch pyritreiche Phyllite. Sie sind meist schieferig bis dünnplattig ausgebildet und mäßig hart bis mürbe. [13]

Es lässt sich erkennen, dass sich eine optische Unterscheidung der einzelnen auftretenden Gesteinstypen aufgrund dieser geologischen Beschreibungen, als schwierig erweist. Da sich die einzelnen Gesteine nur geringfügig in ihrer Farbe unterscheiden, ist aus einer mit dem fotogrammetrischen System aufgenommenen Ortsbrust, kaum ein Unterschied zu erkennen. Zudem wird durch die Engständigkeit, der Dünnplattigkeit und der fließenden Übergänge eine Unterscheidung der Gesteine aus den Ortsbrustbildern erschwert. Diese Eigenschaften der Gesteine können nur durch ein hochauflösendes Gesamtbild der Ortsbrust bestimmt werden. Das Erzeugen eines solch hochauflösenden Ortsbrustbildes wird durch die Kostspieligkeit einer hoch auflösenden Industriekamera erschwert. Das bedeutet, dass sich eine Klassifizierung und Zuordnung der einzelnen, visuell homogenen Gesteinsarten mithilfe eines aufgenommenen Ortsbrustbildes, aus meiner Sicht als sehr zeitaufwändig bis unmöglich herausstellt.

3.7 Tunnelbohrmaschine

Die Anforderungen an die TBM zur Erstellung des Erkundungsstollens Ahrental, wurden wie folgt in der Ausschreibung ausgewiesen.

Das Ausschreibungsprojekt sieht den Einsatz einer offenen Hartgesteins TVM (TBM-O) mit einem nominalen Bohrdurchmesser (DN) von 7,90 m vor (Mindestbohrdurchmesser bei abgenutzten Werkzeugen). Darin ist auch der Einfluss von einer radialen Gebirgsverformung von 15 cm zu berücksichtigen.

Es müssen ebenso folgend angeführte Anforderungen der TBM erfüllt sein:

- Leistungsdaten: Zulässige Andruckkraft je Schneidrolle mindestens 250 kN
- Anpresskraft Bohrkopf (netto) im Regelbetrieb mindestens 12.500 kN
- Drehmoment Bohrkopf im Regelbetrieb mindestens 5.000 kNm bei 6 U/min
- Losbrech-Drehmoment Bohrkopf mindestens 9.000 kNm
- Variable stufenlose Drehzahl von 0 bis mind. 6 U/min

Aufgrund der oben angeführten Anforderungen wurde eine TBM der Herrenknecht AG gewählt und in Auftrag gegeben. Von der Bestellung im Mai 2015 bis zum fertigen Aufbau der Maschine inkl. Nachläufer vergingen 16 Monate. Der Start der Vortriebsarbeiten am Erkundungstollen mit der TBM begann im Oktober 2016.



Abbildung 13: Tunnelbohrmaschine Baulos Tulfes-Pfons bei der Werksabnahme

Die Tunnelbohrmaschine ist eine Gripper TBM mit einer installierten Leistung von 5.500 kW, einer totalen Länge inklusive Nachläufer von 200 m und einem totalen Gewicht von 1.800 t. Der nominale Durchmesser mit nicht abgenutzten Bohrwerkzeugen beträgt 7,93 m mit der Option auf eine Bohrdurchmessererweiterung auf 8,03m und 8,13m bzw. R+50 und R+100(mm). Das Schneidrad besteht aus drei Segmenten die vor Ort in der Startkaverne zusammengesetzt wurden. Der Bohrkopf ist mit insgesamt 49 Stück 17" Schneidrollen bestückt, wobei dieser aus 4 Doppeldisken im Zentrumsbereich (Spur 1-8), 38 Einzeldisken (Spur 9-46) und 3 Schneidrollen für den Überschnitt, die mit Overcut 1-3 (OC1-OC3) gekennzeichnet sind, besteht. Das Schneidrad ist in 6 Räumerkammern mit dazugehörigen Räubern unterteilt. Es sind 2 Mannlöcher angebracht, die einen Zugang zur Ortsbrust ermöglicht, der für diverse Arbeiten notwendig ist. Es sind jeweils 5

Schneidrollen mit Disc Cutter Load Monitoring (DCLM) und Disc Cutter Rotation Monitoring (DCRM) ausgestattet. Die DCLM Sensoren überwachen die Schneid- und Anpresskräfte der 5 Disken und die Drehsensoren des DCRM-Systems sollen ein Blockieren der Disken erkennen. Ebenso wurde das Schneidrad mit 5 Kameraöffnungen versehen, die eine Ortsbrustaufnahme mit dem Aufnahmesystem von der Firma Herrenknecht AG gewährleistet.

Der Antrieb besteht aus 10 Motoren mit einer Leistung von je 350 kW, das entspricht einer Gesamtleistung von 3.500 kW.

Die Krafteinleitung der 2 Gripperplatten, mit je einer Kontaktfläche von 5.175 m² in das umgebende Gebirge, beträgt maximal ca. 6 N/mm². Die maximale Hublänge der Vorschubzylinder beträgt 1.900 mm.

Die Nachläufereinrichtung besteht aus einer Brücke, die direkt mit der TBM verbunden ist und 11 Nachläufern, die auf Schienen geführt sind.

4 Aufnahmesystem

Um alle Komponenten dieses Systems erfolgreich zusammensetzen und den vorgegebenen Anforderungen zu entsprechen, ist in der Planungsphase eine genaue Abstimmung der Einzelkomponenten im Hinblick auf die Gegebenheiten des TBM-Bohrkopfes zueinander unumgänglich. Durch diverse Vorgaben der einzelnen Komponenten ergibt sich eine für dieses Projekt erforderliche Konfiguration des Systems mit der dringlichen Anforderung, dass das Aufnahmesystem für die Verwendung durch die Baufirma bestmöglich automatisierbare Arbeitsabläufe zulässt. Überlegungen, wie zum Beispiel dem Einsatz von Consumerprodukten wie Action-Camcordern stehen deren geringer Support individueller Lösungen entgegen, die es für eine möglichst starke Ausleuchtung braucht. Darüber hinaus lassen sich die Winkelwerte von einem vorhandenen einachsigen Neigungssensor nicht den einzelnen Bildern automatisiert zuordnen.

Das am Brenner Basistunnel, am Baulos Tulfes-Pfons eingesetzte System, besteht aus grundsätzlich zwei Komponenten, einer **Hardware** für die Aufnahme im Bohrkopf und einer geeigneten **Software** zur Steuerung der Hardware, Datenübertragung und Auswertung der aufgenommenen Daten.

4.1 Hardware

Die Hardware gliedert sich in eine Kamera- und Steuereinheit und diese wiederum in einzelne Komponenten, die nachfolgend genauer beschrieben werden.

4.1.1 Kameraeinheit

Ein zentrales Thema dieser Einheit ist die Lichtintensität, die für eine möglichst gute Ausleuchtung von Ausbrüchen, ein wesentliches Element des Pflichtenhefts des Aufnahmesystems, nötig ist. Das bedeutet, dass eine enorme Menge an Licht vorhanden sein muss, das aus den Öffnungen der Diskenkästen des Bohrkopfs die Ortsbrust mittels Blitzlichts erhellt. Mangels geeigneter Kühlkörper und des Stromverbrauchs für eine konstante Belichtung fiel die Wahl auf eine Industriekamera, anstatt einer handelsüblichen Digitalkamera.



Abbildung 14: oben: Kameraeinheit mit Gehäuse; links unten: Anschlüsse für Stromversorgung und Datenübertragung; rechts unten: Kameraöffnung mit Linse und LED-Blitzring

Die Kameraeinheit (Abbildung 14) besteht aus einer Industriekamera von Allied Vision mit einem zirka 2 MP Sensor, einem 5 mm Objektiv mit Festbrennweite und einem LED-

Ring zur Ausleuchtung. Diese Einzelkomponenten wurden in einem zylindrischen Gehäuse, mit einem Durchmesser von ca. 9cm und einer Länge von ca. 37cm untergebracht. Die erste Ausführung des Gehäuses aus Aluminium wurde aufgrund der längeren Bauweise und des höheren Gewichtes, durch ein Gehäuse aus Hartplastik ersetzt. Das Gehäuse ist mit Anschlüssen für die Stromversorgung und Datenübertragung auf der Rückseite und einer Kameraöffnung samt Linse auf der Vorderseite ausgestattet. Die Kamera wurde für den Einsatz unter extremen Bedingungen und schwankenden Lichtverhältnissen entwickelt [14]

Die Prosilica GT2000 ist eine Kamera von Allied Vision Technologies GmbH mit Gigabit Ethernet (GigE Vision) und 2,2 Megapixeln Auflösung mit einem CMOS Sensor. Die Kamera ermöglicht eine P-Iris-Objektivsteuerung (Präzisionssteuerung). P-Iris regelt die Blendenöffnung, die Belichtungszeit sowie die elektronische Lichtverstärkung (Gain) für eine optimale Bildqualität mit einer erforderlichen Schärfentiefe, ohne zusätzliche Bedienelemente. Mit der Power-over-Ethernet-Funktion (PoE) kann die Kamera mit einem einzigen Kabel sowohl für die Stromversorgung als auch für den Datentransfer genutzt werden. Durch den genormten Objektivanschluss C-Mount ist es möglich, mit dieser Kamera eine Vielzahl von Objektiven zu verwenden. Aufgrund des 2/3" Sensors gibt es eine große Auswahl an Objektiven mit kurzer Brennweite, die in diesem speziellen Anwendungsfall gefordert ist. Diese Kamera verfügt darüber hinaus über IOs Ausgänge. Die Pixelgröße dieser Industriekamera beträgt $5,5 \mu\text{m} \times 5,5 \mu\text{m}$ und ist dadurch sehr lichtempfindlich.

Durch einen speziell entwickelten LED-Ring in Verbindung mit der Blendeneinstellung bietet das Objektiv ein breites Schärfentiefenspektrum von 20 bis 200 cm. Um eine gute Ausleuchtung von möglichen Ausbrüchen in der Ortsbrust zu erhalten, arbeitet der LED-Ring mit mehr als 10.000 Lumen. Damit können Vorausbrüche mit mehr als 1 m Tiefe ausgeleuchtet werden. Zur Verhinderung einer Bewegungsunschärfe, die eine fotogrammetrische Auswertung der Orthofotos beeinträchtigen würde, blitzt der LED-Ring mit einer Dauer von 4 Millisekunden. Die Kamera ist auf eine kontinuierliche automatische Belichtung innerhalb des selektierten Bildbereichs (RoI) eingestellt. Um eine gleichmäßige Ausleuchtung der Ortsbrust mit eventuellen Hohlräumen zu gewährleisten, wird die Belichtungszeit für jedes Bild aktualisiert. Durch dieses Verfahren wird verhindert, dass einzelne Abschnitte der Ortsbrust unter- oder überbeleuchtet werden. [15]

Weitere Spezifikationen sowie technische Zeichnungen der Kamera und des Objektivs befinden sich im Anhang B.

4.1.2 Steuereinheit

Die Steuereinheit (Abbildung 15) besteht aus mehreren Komponenten die als eine Einheit in einem Steuerungskasten montiert sind. Diese Einheit setzt sich aus einem PC, einer LED-Blitzsteuerung, einem einachsigen Neigungssensor, Kondensatoren und einer internen Stromversorgung mittels eines NiMH Akkus zusammen.

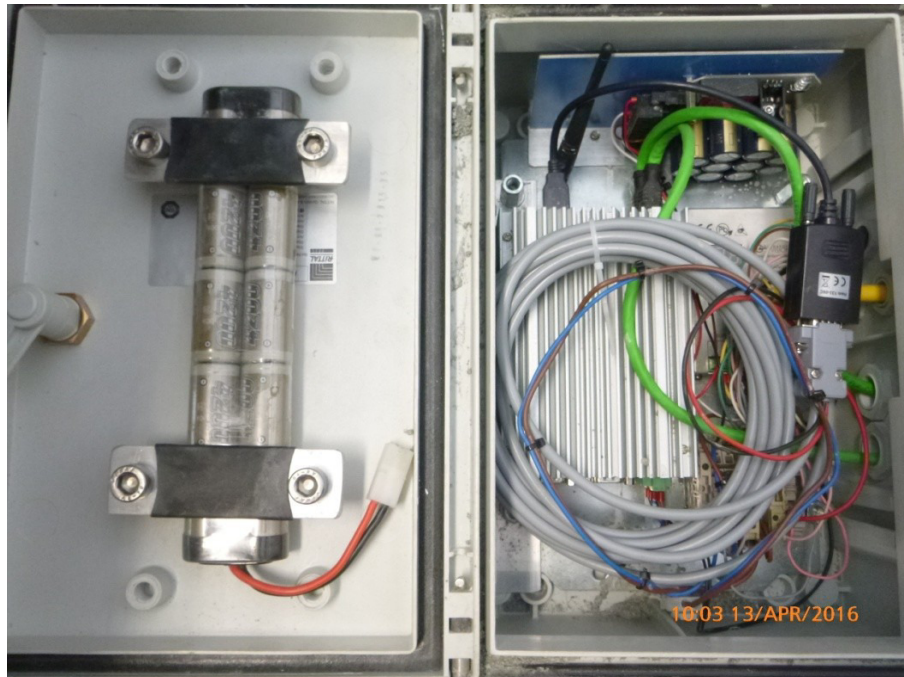


Abbildung 15: Im Schaltschrank eingebaute Steuereinheit

Steuereinheit und Kamera sind mittels eines CAT 7 Kabels verbunden, das ein Übertragen von mehreren Aufnahmen pro Sekunde (10-Gigabit Ethernet) ermöglicht. Die Stromversorgung wird durch ein mehrpoliges Kabel gewährleistet.

Die Steuereinheit löst die Industriekamera mit einer konstanten Frequenz von 2 Bildern je Sekunde aus und stellt eine redundante Anzahl verfügbarer Bilder bereit. Die Steuereinheit ist so konfiguriert, dass sie beim Erhalt von Strom automatisiert die Bildaufzeichnung startet und ein WLAN für den Remotezugriff aufbaut. [1]

Der PC wurde aufgrund seiner kompakten Bauweise und der Möglichkeit ausgewählt, zwei Kameras parallel über zwei Ethernet Schnittstellen zu betreiben. Durch den Einsatz mehrerer parallel betriebener Kameras kann der Messvorgang gegebenenfalls beschleunigt werden. Der Rechner kann mit 5 bis 24V und 20 W betrieben werden. Aufgrund der extremen Einsatzbedingungen wurde darauf geachtet, dass der PC ein Solid State Drive (kurz SSD) besitzt, der gegenüber herkömmlichen Laufwerken keine

beweglichen Teile besitzt und dadurch mechanisch wesentlich robuster ist. Außerdem ist der PC mit einer W-Lan Karte ausgestattet, die ein Steuern des PCs während der Ortsbrustaufnahme im Bohrkopf mittels einer Remotedesktopverbindung über ein handelsübliches Smartphone/Tablet ermöglicht. Dadurch ist es möglich, die Kamera zu starten und nach dem Aufnahmevorgang wieder zu beenden, bzw. können die einzelnen Fotos während der Aufnahme hinsichtlich der Bildqualität überprüft werden. Der Vorteil dieser kabellosen Verbindung zeigt sich in der extremen Arbeitsumgebung im Bohrkopfbereich während einer Aufnahme, indem es keiner gegenüber Verschmutzung exponierten Steckverbindungen bedarf.

Auf diese Besonderheit hin wurde das Betriebssystem Windows 7 Professional installiert, das beim Startvorgang die Nutzung des W-Lan-Adapters als Access Point ermöglicht. Ältere Betriebssysteme verfügen nicht über dieses Feature.

Der verbaute Neigungssensor ermöglicht ein gemeinsames Koordinatensystem für alle im Rahmen eines Aufnahmevorganges aufgenommenen Bilder. Sobald die Kamera einen Event einer Aufnahme auslöst, wird jedem einzelnen Bild ein Winkelwert zugewiesen der vom Neigungssensor abgerufen wird. Die bekannte Relativposition des Diskenkastens, in dem die Kamera montiert ist, und der jeweilige Neigungswinkel erlauben die Bestimmung der absoluten Position der Kamera in einem 3D-Referenzkoordinatensystem des Bohrkopfes. Diese Informationen sind ein wesentlicher Bestandteil der nachfolgenden fotogrammetrischen Auswertung.

Die LED-Blitzsteuerung stammt von der Firma Gardasoft Vision Limited mit der genauen Bezeichnung von PP520-v018. Ein Specification sheet ist im Anhang B hinterlegt.

Um eine möglichst hohe Beständigkeit und Steuerung der Helligkeit des LED-Ringes zu erhalten, versorgt die Gardasoft Blitzsteuerung den Ring mit einer optimal abgestimmten Spannung und Stromstärke. Diese Steuerung besitzt zwei unabhängig steuerbare Ausgangskanäle und kann dadurch mit zwei Kameras betrieben werden. Es werden drei Betriebsmodi für jeden Kanal separat bereitgestellt.

Der Ausgangsstrom kann zwischen 0 mA und 10 A in 2,5 mA Schritten geregelt werden. Die Versorgungsspannung bewegt sich zwischen 12 V bis 48 V. Die Versorgungsspannung muss mindestens 1 V höher liegen als die für die Beleuchtung erforderliche Ausgangsspannung. Die Ausgangsspannung bewegt sich zwischen 0 V und 46 V.

Über eine Software oder per Zugriff auf die Steuerung über den Browser kann die Blitzsteuerung schnell konfiguriert werden.

Mithilfe einer Technologie der Firma Gardasoft ermöglicht die Steuerung ein sicheres Überblitzen der LEDs ohne deren Beschädigung. Diese Technologie steuert Timing und Lastzyklus der Pulsbreite in Abhängigkeit von der aktuellen Übersteuerung der

Beleuchtung. Dadurch wird sichergestellt, dass eine maximale Lichtausbeute für die Anwendung zur Aufnahme der Ortsbrust vorhanden ist. [16]

Als interne Stromversorgung wird ein NiMh Modellbau Akkupack mit Tamiya Stecksystem verwendet. Der 10 Zellen Akku hat eine Spannung von 12 V und eine Nennkapazität von 4200 mAh. Somit versorgt dieser Akku das gesamte System einen vollständigen Aufnahmezyklus lang mit Strom, ohne ihn zwischendurch aufladen zu müssen. Außerdem ist es möglich mit dieser Stromquelle nach Bedarf mehrere Kameras zu betreiben, die eine Aufnahmezeit der Ortsbrust verkürzen würde.

Aus sicherheitstechnischen Gründen wurde der NiMh Akkupack einem LiPo Akkupack vorgezogen. Der Umgang bzw. der Ladevorgang gestaltet sich mit NiMh Akkus erfahrungsgemäß einfacher und sicherer.

4.2 Software

Eine große Herausforderung ist es, geeignete Software für diese eingesetzte Hardware bereit zu stellen, die auch einfach und intuitiv zu bedienen und zu steuern ist.

Das Softwarepaket gliedert sich in 4 Komponenten, die von der Kameraeinstellung bis hin zur Auswertung und Bearbeitung der erzeugten Datensätze reicht.

4.2.1 Software Development Kit Vimba 1.2.1

Die Einstellungen der Kamera erfolgen über das Software Development Kit (SDK) Vimba 1.2.1 der Firma Allied Vision Technologies GmbH, das Kameras mit GigE, USB und 1394 Interface Schnittstellen betreiben kann.

Ein Software Development Kit (SDK) ist eine Sammlung von Programmierwerkzeugen und Programmbibliotheken, die zur Entwicklung von Software dient. Es unterstützt Softwareentwickler, darauf basierende Anwendungen zur Automatisierung von Aufgaben zu erstellen.

Für das gegenständliche Kamerasystem wurde ein Programmiergerüst auf Basis der .NET-API verwendet. Im vorliegenden Fall wird das .NET Framework 4.0 verwendet.

.NET, teilweise auch als Microsoft .NET bezeichnet, dient als Sammelbegriff für mehrere von Microsoft herausgegebene Software-Plattformen, die der Entwicklung und Ausführung von Anwendungsprogrammen dienen, Produkte, Frameworks,

Programmiersprachen, und alles, was mit den genannten in Verbindung steht, etwa Werkzeuge und Technologien. [17]

API steht für Application-Programming-Interface und definiert eine Programmierschnittstelle. Mithilfe dieser Schnittstelle wird anderen Programmen ein Tool zur Verfügung gestellt, über den sie sich an das Softwaresystem anbinden können.

Dieses SDK dient als Zwischenlayer und ermöglicht somit eine Übertragung von Parametern und Befehlen auf die Kamera. Auf Basis des Software Development Kits lässt sich eine Software zur Kamerasteuerung erstellen, die das Laden der Einstellungen in die Kamera, das gleichzeitige Betreiben von ein oder mehreren Kameras unter Integration eines Neigungssensors gestattet, von dem Neigungswerte zum Zeitpunkt der jeweiligen Aufnahme abgerufen werden.

Die für die Anwendung wichtigsten Einstellungen dieser Kamera die mittels des SDK übertragen und somit der Kamera zugewiesen werden, sind nachfolgend beschrieben.

- ExposureAutoTarget: Diese Einstellung regelt die allgemeine Helligkeit oder Dunkelheit der automatischen Belichtungsfunktion in einem vordefinierten Bildbereich. Höhere Werte ergeben hellere Bilder.
- DSPSubregion: Der DSP-Subbereich ist der Bereich des Bildes, der für Messungen verwendet wird. Die automatische Belichtungszeit, Gain, Weißabgleich und Iris-Funktionen werden in einem bestimmten Bildausschnitt des gesamten Bildes ermittelt und dann auf das gesamte Bild angewendet. Diese Eingabe enthält vier Werte für die jeweiligen Grenzen (links, rechts, oben und unten) des betrachteten Bildausschnittes.
- ExposureMode: Diese Einstellung wird auf Continuous gestellt. Das heißt, dass die automatische Belichtungszeit für jedes einzelne Bild neu kalibriert wird und nicht nur das erste oder letzte.
- ExposureAutoMax: Diese Einstellung gibt die obere Grenze für die Belichtungszeit im automatischen Belichtungsmodus an und wurde im gegenständlichen Anwendungsfall auf 5000 μ s gesetzt. Dies ist nützlich in Situationen, in denen die Bildrate wichtig ist. Das bedeutet zum Beispiel, dass bei einem Ausbruch an der Ortsbrust die maximale Belichtungszeit begrenzt wird und die Kamera nicht bis zum nächsten Auslösen des Blitzlichtes offen hält.
- TriggerMode: Mit dieser Einstellung wird der Auslöser gesteuert. Für die vorliegende Anwendung wird er auf „FixedRate“ gesetzt und damit im Halbsekunden-Takt Bild um Bild aufgezeichnet.
- TriggerSource: Wenn das System mit zwei parallel aufnehmenden Kameras betrieben wird, muss dieser Hardwaretrigger beachtet werden, um den LED-Ring einer Kamera durch ein Spannungssignal der zweiten Kamera auszulösen. Eine Kamera wird auf „Line1“ und die zweite auf „FixedRate“ gesetzt. [18]

4.2.2 WPF-Anwendung zur Erstellung der 3D-Positionen

Eine weitere Komponente dieses Softwarepaketes ist eine WPF-Anwendung, die eine Textdatei mit den zu ladenden Bildern und deren auf den Bohrkopf bezogenen 3D-Positionen erstellt. Sie ist auf Windows-Systemen einschließlich der System-Steuereinheit lauffähig und ist als WPF-Anwendung speziell für den Remotezugriff konzipiert.

Windows Presentation Foundation (kurz WPF), ist ein Grafik-Framework und Fenstersystem des .NET Frameworks von Microsoft. Dabei werden das Design und die Geschäftslogik getrennt, dies wird vor allem durch die Auszeichnungssprache XAML (basierend auf XML) unterstützt. XAML beschreibt Oberflächen-Hierarchien deklarativ als XML-Code. [19]

Um diese Textdatei zu erstellen, werden zuerst die erzeugten Ordner, die die aufgenommenen Bilder der Ortsbrust enthalten, mittels drag&drop oder dem get directory-Button in diese Anwendung geladen. Um diese einzelnen Ordner den entsprechenden Diskenkästen des Schneidrades zuordnen zu können, wird mittels des Buttons „add disc number with #“ die jeweilige Diskennummerierung eingetragen. Um die Prozessierung und damit die Datei mit den gewünschten Positionen zu erstellen, wird der Button „process“ gedrückt, der nach erfolgreicher Bearbeitung von 100% eine Textdatei ausgibt. [20]

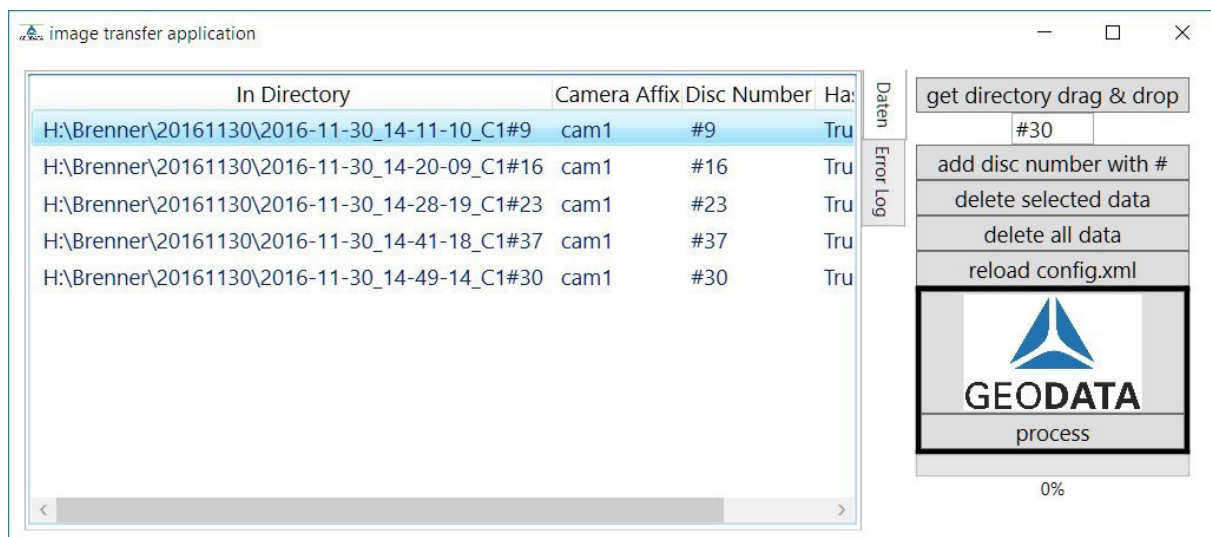


Abbildung 16: WPF-Anwendungsfenster zur Erstellung der 3D Positionen

Im Hintergrund läuft eine Berechnung einer Drehungsmatrix, die mit der unten stehenden Formel berechnet wird. Dabei enthält die Matrix R in der Formel die Summe (Ψ) der jeweiligen Neigung des Sensors, die vom Neigungssensor bei der Aufnahme der einzelnen Bilder abgerufen worden sind, und einer Diskettenkasten-spezifischen Konstante. [20]

$$\vec{x}' = R * \vec{x} = \begin{bmatrix} \cos \Psi & \sin \Psi & 0 \\ -\sin \Psi & \cos \Psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \vec{x}$$

4.2.3 Agisoft Lens Kamerakalibrierung

Kameras bilden ihre dreidimensionale Umgebung auf zweidimensionale Bildsensoren ab. Aufgrund von Abbildungsfehlern in Kameraobjektiven ist der Strahlungsverlauf nicht linear, weswegen die Bilder von Kameras verzerrt sind. Für deren Aufhebung werden Korrektionsfunktionen benötigt. Sie fußen bei der angewandten Software Agisoft Lens auf einem mathematischen Modell, dem Brownschen Verzerrungsmodell.

Agisoft Lens ist eine automatische Objektivkalibrierungssoftware von Agisoft LLC, die den LCD-Bildschirm als Kalibrierungsziel (Abbildung 17) verwendet. Es bietet eine Unterstützung für die gesamten Kamera-Kalibrierungsparameter einschließlich nichtlinearer Verzerrungskoeffizienten. Die Kalibrierungsparameter können in einem lesbaren Dateiformat gespeichert werden, um sie anschließend in einer Software, wo präzise Kamerakalibrierungsdaten benötigt werden, verwenden zu können. [21]



Abbildung 17: Kalibrierungsziel auf dem LCD Bildschirm

Agisoft Lens errechnet die nachfolgenden Kamera-Kalibrierungsparameter:

- f_x, f_y – Brennweite
- c_x, c_y – Versatz des Strahlenprojektionszentrums aus der Bildmitte
- K_1, K_2, K_3, P_1, P_2 - radiale und tangentielle Verzerrungskoeffizienten unter Verwendung des Brownschen Verzerrungsmodells

Das lokale Kamerakoordinatensystem wird mit dem Ursprung im Kameraprojektionszentrum ausgewählt. Die Z-Achse zeigt in Blickrichtung, X-Achse zeigt nach rechts, Y-Achse zeigt nach unten.

Die Software kann diese Verzeichnung korrigieren, wobei berechnet wird, welcher Pixel jeweils dem unverzerrten Pixel entspricht.

4.2.4 Agisoft Photoscan 1.2.x

Nach Erstellung der Textdatei mit den zu ladenden Bildern und den dazugehörigen 3D Positionen und einer Datei mit der passenden Kamerakalibrierung, kann eine Auswertung der Daten erfolgen.

Die fotogrammetrische Prozessierung erfolgt mit Photoscan von Agisoft LLC. Agisoft PhotoScan Professional ermöglicht die Erzeugung von georeferenzierten dichten Punktwolken, texturierten polygonalen Modellen, digitalen Höhenmodellen und Orthomosaiken aus einer Reihe von sich überschneidenden Bildern mit den entsprechenden Referenzinformationen. Diese Software bietet ebenfalls eine Python-Schnittstelle, womit die Prozessierung der Bilder bis zur Ausgabe von Orthofoto und 3D-Rekonstruktion ohne Nutzerinteraktion durchgeführt werden kann. Mit einem aus Photoscan aufrufbaren Benutzerskript wird ein Userinterface (Abbildung 18) angezeigt, womit sich die beiden Ausgangsparameter für die Prozesskette, eine Textdatei mit den zu ladenden Bildern und deren auf den Bohrkopf bezogenen 3D-Positionen sowie eine Datei der Kamerakalibrierung auswählen lassen. Durch Bestätigen mit dem Button „process imagery (generate 3D model)“ wird die Prozessierung gestartet.[1]

Die Implementation der durchzuführenden Rechenschritte in einem Skript sorgt dafür, dass diese Prozessierung aufgrund der hohen Automatisierung und dadurch guten Benutzerfreundlichkeit infolge Zeitmangels auf der Baustelle sehr gut geeignet ist.

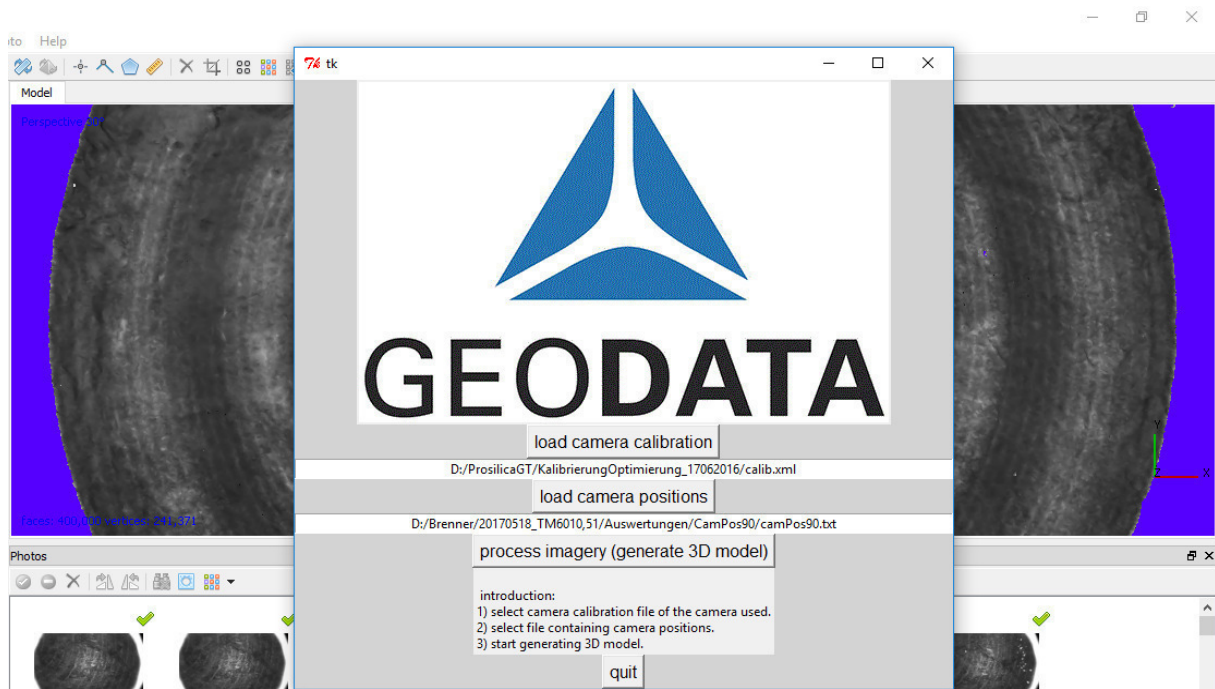


Abbildung 18: Agisoft Photoscan mit Userinterface

Die nachfolgenden Schritte laufen aufgrund der Automatisierung ohne Nutzerinteraktion ab, befolgen jedoch die für Agisoftprojekte üblichen Reihenfolge von Rechenschritten. Um die Fotos auszurichten, sucht Photoscan übereinstimmende, mehrfach in den sich überlappenden Bildern vorkommenden Punkten und schätzt die Kameraposition für jedes Foto neu. Um eine dichte Punktwolke zu erstellen, wird basierend auf den geschätzten Kamerapositionen eine Tiefeninformation berechnet. Die dichte Punktwolke wird mit einer mittleren Qualität (Medium) berechnet. Eine höhere Qualität benötigt entsprechend mehr Zeit und verlangt höhere Rechnerleistung. Da die Auswertung auf der Baustelle echtzeitfähig sein soll, wird hier mit einer mittleren Qualität gearbeitet. Nachdem die dichte Punktwolke rekonstruiert wurde, ist es möglich polygonale Gittermodelle auf Basis dieser Daten zu erstellen. Das digitale Höhenmodell (DEM) kann basierend auf dem Modell der dichten Punktwolke oder dem Gittermodell erstellt werden. Normalerweise wird die erste Variante auf Basis der Punktwolke bevorzugt, da sie genauere Ergebnisse liefert. Außerdem ermöglicht es eine schnellere Verarbeitung, da das Erstellen des Gittermodells übersprungen werden kann. [20]

Es gibt zwei Möglichkeiten, um die Oberfläche des Orthomosaiks zu erstellen. Entweder aus dem Gittermodell oder dem digitalen Höhenmodell und entsprechender Füllmethode. Als letzter Schritt werden die generierten Daten exportiert. In unserem Fall wird ein Orthofoto als jpg-Datei und xyz-Dateien für die Punktwolke und das digitale Höhenmodell erstellt. Diese xyz-Dateien können mittels eines Viewers wie zum Beispiel CloudCompare, oder mit dem Programm ReCap von Autodesk geöffnet und betrachtet werden.

4.2.5 CAD Software

Zur Auswertung der zuvor erstellten digitalen Ortsbrustdokumentationen wird eine CAD basierte Software verwendet. Die Programme AutoCAD oder Civil3D von Autodesk stehen für eine umfangreiche Editierbarkeit der erstellten Objekte und sind somit für die Auswertung der digitalen Ortsbrustbilder bestens geeignet. Es können Ausbruchstiefen, -volumina und Raumstellungen von Diskontinuitäten aus den Aufnahmen gemessen werden. Des Weiteren wird hier das vergleichsweise langlebige Datenformat dwg. verwendet. Das Referenzieren von Punktwolken entsprechend ihren Projektkoordinaten ist mit dieser Software ebenso möglich.

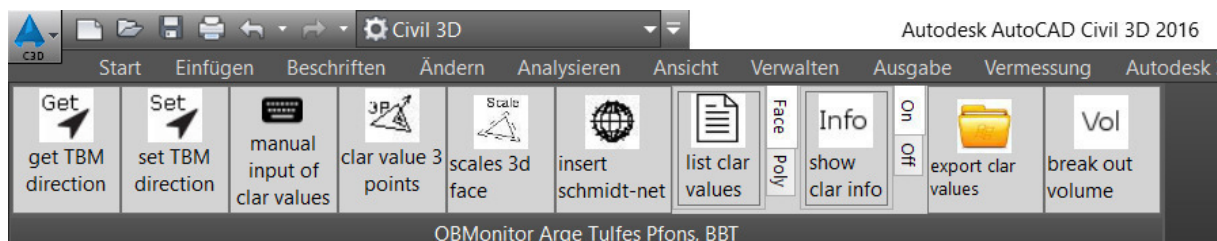


Abbildung 19: Ansicht der Erweiterungen in Civil3D

Mithilfe von Plug-ins auf Basis der .NET-API von AutoCAD werden Erweiterungen zu Lagenkugelprojektionen von Trennflächen bereitgestellt. In Abbildung 19 sind die bereitgestellten Erweiterungen, die mittels Befehl „netload“ in das CAD Programm geladen werden können, dargestellt. Abbildung 20 zeigt eine Auswertung einer erweiterten Lagenkugelprojektion in AutoCAD Civil3D.

Im vorliegenden Anwendungsfall wird das .NET Framework 4.5 verwendet, dass ab der Version AutoCAD 2015 zur Verfügung gestellt wird. Ab der Version AutoCAD 2017 wird das aktuelle .NET Framework 4.6 verwendet. [1]

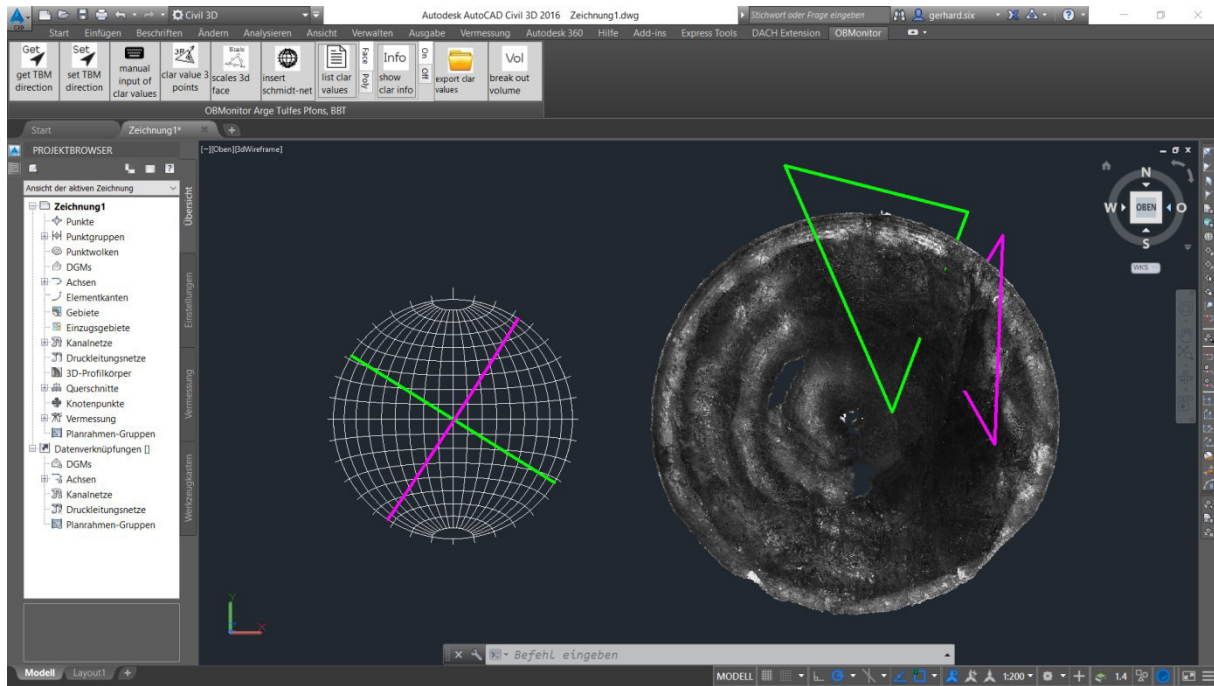


Abbildung 20: Civil3D mit Erweiterungen zu Lagenkugelprojektionen von Trennflächen

.NET-Anwendungen werden häufig für Unternehmen und Anwendungen von Drittanbietern verwendet, die das Verhalten und die Funktionen des AutoCAD-basierten Produkts erweitern.

Die Kompatibilität von .NET-Anwendungen ändert sich von Version zu Version, damit das neueste .NET Framework und Erweiterungen der AutoCAD .NET-API genutzt werden können. Solche Erweiterungen der AutoCAD-Funktionen erfordern daher ständige Mitentwicklung von Addins zum Zweck einer breiten Verfügbarkeit.

In der folgenden Tabelle sind die .NET SDK-Versionen aufgeführt, die von der jeweiligen Version des AutoCAD-basierten Produkts unterstützt werden, sowie das unterstützte .NET Framework. [22]

Version	Versionsnummer	Unterstützte .NET SDK	.NET Framework
AutoCAD 2018	22.0	AutoCAD 2018	4.6
AutoCAD 2017	21.0	AutoCAD 2017	4.6
AutoCAD 2016	20.1	AutoCAD 2015, AutoCAD 2016	4.5
AutoCAD 2015	20.0	AutoCAD 2015	4.5
AutoCAD 2014	19.1	AutoCAD 2013, AutoCAD 2014	4.0
AutoCAD 2013	19.0	AutoCAD 2013	4.0
AutoCAD 2012	18.2	AutoCAD 2010, AutoCAD 2011, AutoCAD 2012	3.51 SP1

Version	Versionsnummer	Unterstützte .NET SDK	.NET Framework
AutoCAD 2011	18.1	AutoCAD 2010, AutoCAD 2011	3.51 SP1
AutoCAD 2010	18.0	AutoCAD 2010	3.51 SP1
AutoCAD 2009	17.2	AutoCAD 2007, AutoCAD 2008, AutoCAD 2009	3.0
AutoCAD 2008	17.1	AutoCAD 2007, AutoCAD 2008	2.0
AutoCAD 2007	17.0	AutoCAD 2007	2.0
AutoCAD 2006	16.2	AutoCAD 2005, AutoCAD 2006	1.1 SP1
AutoCAD 2005	16.1	AutoCAD 2005	1.1

Tabelle 1: Auflistung von AutoCAD Versionen mit den jeweiligen .NET Frameworks [22]

4.3 Gegenüberstellung von Anforderungen und dem eingesetzten Aufnahmesystem

Da laut Ausschreibung gewisse technische und rechnergestützte Anforderungen an das Aufnahmesystem gestellt werden, wird hier ein Vergleich eingegangen. Ebenso werden von projektbezogenen Personen, wie zum Beispiel Geologen und Geotechnikern, die mit einer solchen kamerabasierten Auswertung der Ortsbrust arbeiten, Anforderungen gestellt, die nachfolgend diskutiert werden.

4.3.1 Vergleich laut Ausschreibung des Bauloses Tulfes-Pfons mit dem eingesetzten Aufnahmesystem

Aus dem Ausschreibungstext:

„Über das Schneidrad / den Bohrkopf verteilt sind an mindestens 5 Stellen, in einem radialen Abstand von max. 1,0 m, Kanäle in den Stahlbau zur Aufnahme von Kameras einzuplanen, die an der Ortsbrust durch einen Verschluss im Betriebszustand „Vortrieb“ gesichert sind und im Betriebszustand Stillstand bedarfsweise zu öffnen sind, um Fotoaufnahmen der Ortsbrust einzuleiten.

Die Kameraüberwachung muss eine Beurteilung der Ortsbruststabilität insbesondere die Erfassung evtl. Nachbrüche im Firstbereich sicherstellen. Die Kameras sind für Fotografien und Videos den Umgebungsverhältnissen angepasst in robuster und

funktionsfähiger Ausführung auszustatten. Für ausreichende Lichtverhältnisse ist zu sorgen." [23]

Da die eingesetzte Kameraeinheit flexibel in einzelnen Diskenkästen mit verschiedener Orientierung am Schneidrad montiert werden kann, ist die Anforderung von mindestens 5 Stellen gegeben. Das System muss während des Vortriebes abgebaut werden, das heißt, dass dieses System nur während der Stillstandszeiten montiert und genutzt werden kann. Durch die Aktualisierung der Belichtungszeit für jedes einzelne Bild wird sichergestellt, dass eine gleichmäßige Ausleuchtung der Ortsbrust mit eventuellen Nachbrüchen gegeben ist. Eventuelle Nachbrüche im Firstbereich mit mehr als 1 m Ausbruch werden erfasst und somit ist die Anforderung der Ausschreibung gegeben. Die Kamera- und Steuereinheit sind robust ausgeführt, um den extremen Einsatzbedingungen im Bohrkopfbereich gerecht zu werden. Somit ist dieser Punkt der Ausschreibung ebenfalls erfüllt. Die geforderten ausreichenden Lichtverhältnisse sind durch einen LED-Ring mit mehr als 10.000 Lumen gegeben. Damit lassen sich mögliche Ausbrüche in der Ortsbrust gut ausleuchten und aufnehmen.

4.3.2 Vergleich laut Ausschreibung des Bauloses Pfons-Brenner mit dem eingesetzten Aufnahmesystem

Eine aktuellere Ausschreibung des Bauloses Pfons-Brenner zeigt eine detailliertere Anforderungsliste für ein kamerabasiertes Aufnahmesystem der Ortsbrust. Diese Anforderungen wurden ebenfalls mit dem am Baulos Tulfes-Pfons eingesetzten Aufnahmesystems verglichen, um festzustellen, ob es auch für dieses Baulos geeignet wäre.

Aus dem Ausschreibungstext:

„Die TBM ist mit einem fotografischen Ortsbrustaufnahmesystem auszustatten, welche folgende Anforderungen erfüllt:

- *Lückenlose Aufnahme von 80% der Ortsbrustfläche, vom Kaliberbereich gerechnet. Diese Aufnahme kann mit einem zurückgezogenen Bohrkopf realisiert werden.*
- *Lückenlose Aufnahme von 50% der Ortsbrustfläche („Schnellaufnahme“) mit einem nicht zurückgezogenen Bohrkopf.*
- *Ein autonomer Betrieb und Aufnahme (keine zeitaufwändigen Rüstarbeiten um die Aufnahme zu ermöglichen) sind vorzusehen.*

- *Leichte Wartung und Erreichbarkeit von der Rückseite des Bohrkopfes aus. Bei fix eingebauten System müssen die allfälligen Versorgungs- und Kommunikationsleitungen (Strom, Daten) sowie das Aufnahmesystem selbst im Bohrkopf integriert und vor den extremen Bedingungen im Bohrkopf geschützt, jedoch wartbar und ersetzbar sein;*
- *Bei fix eingebauten Kameras ist eine ferngesteuerte Reinigung der Kameraoptik vorzusehen.*
- *Bei fix eingebauten Kameras ist die mechanische Schutzeinrichtung so auszuführen, dass sich kein Material im Sichtbereich der Kamera ansammelt.*
- *Bei fix eingebauten Systemen sind ausschließlich kratzfeste und austauschbare Linsen sowie Schutzklappen an der Bohrkopf-Außenseite (bei Nichtverwendung des Systems) vorzusehen;*
- *Das Aufnahmesystem ist so auszulegen, dass mit einer Bohrkopfumdrehung die gesamte geforderte Ortsbrustfläche aufgenommen werden kann.*
- *Ein geeigneter Neigungssensor muss verbaut sein, um die absolute Bohrkopflage im Zuge der Ortbrustaufnahme zu erfassen;*
- *Die Aufnahme erfolgt mittels einer kontinuierlichen Video-Aufnahme oder mittels einer Anzahl Einzelbilder, die nachträglich ein lückenloses, verzerrungsfreies, georeferenziertes, texturiertes Bild der Ortsbrust ergeben. Die Kapazität der Kamera umfasst mindestens 540 Bilder bei einer Umdrehung.*
- *Die Einzelbilder müssen zumindest eine HD Auflösung (ca. 2000 x 1000 Pixel) aufweisen.*
- *Der Punktabstand im 3D-Modell darf 10 mm nicht überschreiten*
- *Ein schneller Transfer der Daten der fertig ausgewerteten und bearbeiteten Aufnahmen in einem handelsüblichen Dateiformat (max. 1h nach der Aufnahme) zum verantwortlichen Baustellenpersonal muss entweder technisch oder organisatorisch gewährleistet sein. Dabei ist eine Zuordnung jeder Aufnahme zum Vortriebsmeter, Datum und Projekt zu ermöglichen und diese Daten sind der Aufnahme beizulegen.*
- *Die Aufnahmen sind bei jeder Wartungsschicht und sonstige Stillstände der Maschine ohne gesonderte Vergütung vom AN durchzuführen und auszuwerten.*
- *Es muss gewährleistet werden, dass ein vollständiger Aufnahmevorgang inklusive Vorbereitung während der Wartungsschicht abgewickelt werden kann.*
- *Zuordnung jeder Aufnahme zum Vortriebsmeter, Datum, Projekt*
- *Die Ringbilder sind ebenfalls zu einem lückenlosen 2D Ortsbrustbild zusammenzufügen" [24]*

Weiteres sind die technischen Anforderungen an die rechnergestützte Auswertung der Daten in der Ausschreibung beschrieben.

„Die gemäß Anforderungen gewonnenen Daten des Ortsbrustaufnahmesystems werden zur Beurteilung des Systemverhaltens im BK-Bereich und zur Verdichtung der geologischen OB-Aufnahmen im kontinuierlichen Vortrieb verwendet. Die einzusetzende Rechneranwendung muss folgende Anforderungen erfüllen:

- *Automatische Verarbeitung der im Zuge der Ortsbrustaufnahme gewonnenen Bilder, und automatisches Zusammenfügen der Bilder bei Aufnahmedurchführung an verschiedenen Bohrkopfradien;*
- *Verarbeitung der Bilder zu einem Orthofoto (Entzerrung der Aufnahme);*
- *Verarbeitung der Bilder zu einem 3D-Bild mit fotorealistischer Darstellung der Texturen (zur erleichterten Interpretation der Bilder);*
- *Skalierung zu einem metrischen Bild (anhand des Einbauradius) und Umorientieren des Bildes zur Nordrichtung (anhand der TBM-Orientierung);*
- *Messen und Bewertung der einzelnen Ausbrüche aus der Ortsbrust (Tiefe, Volumen);*
- *Errechnen des Prozentsatzes der ausgebrochenen Fläche, welche tiefer als die durch den Benutzer spezifizierte Tiefe ist;*
- *Interaktive geologische Auswertung der 3D Bilder (Messen von Trennflächenspuren hinsichtlich Fallwinkel und Fallrichtung, Ermittlung des scheinbaren und tatsächlichen Trennflächenabstandes, Ermittlung der Anzahl der Kluftscharen anhand der markierten Klüften) und der Export dieser Daten in ein allgemein lesbares Format (csv, xls).*
- *Automatische Erstellung eines Berichtsdokuments mit den ermittelten Ergebnissen der Ortsbrustbewertung, mit Angabe des Datums, Aufnahmeuhrzeit und Ortsbruststation.“ [25]*

Die geforderte lückenlose Aufnahme von 80% der Ortsbrust ist mit diesem System mit zurückgezogenem Bohrkopf möglich. Eine „Schnellaufnahme“ von 50% der Ortsbrust bei nicht zurückgezogenem Bohrkopf ist ebenfalls gewährleistet. Ein autonomer Betrieb und Aufnahme ohne zeitaufwändige Montagearbeiten ist durch die einfache Handhabung und Montage gegeben. Da das System nicht fix verbaut ist und nur bei Stillstandszeiten am Schneidrad adaptiert wird, sind diese Punkte, die ein fix eingebautes System betreffen, mit diesem nicht vergleichbar. Ein geeigneter Neigungssensor ist in diesem System enthalten und es wird eine Reihe von Einzelbildern aufgenommen, die ein lückenloses, verzerrungsfreies, georeferenziertes und texturiertes Bild der Ortsbrust ergeben. Die Einzelbilder haben eine Auflösung von 2048 x 1088 Pixel. Die Auswertung erfolgt in zirka 45 Minuten und kann mit Zuordnungen zum Vortriebsmeter, Datum und Projekt

bereitgestellt werden. Die Aufnahme ist im Regelfall in einer Wartungsschicht durchführbar und es wird ein 2D Orthofoto erzeugt.

Eine automatische Verarbeitung der Einzelbilder zu einem Orthofoto und einem 3D Bild ist mit diesem System möglich. Ein Messen und Bewerten von Ausbrüchen ist ebenso durchführbar wie ein Errechnen eines Prozentsatzes der ausgebrochenen Fläche, welche tiefer als die durch den Benutzer spezifizierte Tiefe ist. Eine interaktive geologische Auswertung ist aufgrund der erweiterten Funktionalitäten der verwendeten Software AutoCAD oder Civil3D von Autodesk möglich, welche beiden für eine umfangreiche Editierbarkeit der Zeichenobjekte stehen. Der Export dieser Daten in ein allgemeines lesbares Format ist gegeben. Eine automatische Erstellung eines Berichtsdokumentes ist in dieses Auswertungssystem integrierbar und stellt damit kein Problem dar.

Somit sind schon jetzt mit dem eingesetzten Aufnahmesystem alle in der aktuellen Ausschreibung geforderten Punkte erfüllt.

4.3.3 Vergleich der geologischen Anforderungen mit den vorhandenen Auswertungen

Die grundsätzliche Aufgabe eines Geologen ist im Rahmen einer Ortsbrustkartierung das anstehende Gestein zu bewerten. Dies beinhaltet die Gesteinsart, Gesteinseigenschaften und Verwitterungseinflüsse, die großmaßstäblichen Gebirgseigenschaften wie Lagerungsverhältnisse verschiedener Gesteine, Trennflächen hinsichtlich Art, Orientierung und Ausbildung, Kluftkörperformen und -volumina sowie Bergwasserzutritte. Des Weiteren stellt sich für den Geologen die Frage der Interaktion zwischen TVM und Gebirge.

Diese Arbeit erfolgt unter dem Aspekt der bestmöglichen Dokumentation beziehungsweise Beweissicherung durch den „Blick nach Hinten“ und unter dem Aspekt der Fortschreibung der Prognose durch den „Blick nach Vorne“. Die Arbeit basiert Normen und richtliniengemäß auf der ÖGG-Richtlinie (Österreich) bzw. den europaweiten eingeführten Normen zur Klassifizierung von Boden (ÖNORM EN ISO 14688-1) und Fels (ÖNORM EN ISO 14689-1). All die in diesen Normen und Richtlinien festgelegten Eigenschaften muss der Geologe bestmöglich erkennen und bewerten.

Die Bedingungen, unter der diese Aufgaben zu erfüllen sind, sind selbst im Idealfall alles andere als einfach, abgesehen von geschlossenem Bohrkopfdesign, weit aus- bzw. vorgebrochener Ortsbrust, erheblichen Wasserzutritten usw. Daher stellt das in dieser

Arbeit vorgestellte Aufnahme- und Auswertesystem einen sinnvollen und wünschenswerten Input für den Geologen dar.[26]

Die nachfolgenden Punkte beschreiben eine gewisse „Wunschliste“ an ein solches fotogrammetrisches Aufnahmesystem samt Auswertung aus Sicht der Geologen.

- Möglichkeit zur Aufnahme der gesamten Ortsbrustfläche.
 - Echtfarbandarstellung zur Bewertung der realen Gesteinsfarbe(n) und zur Bewertung des Auftretens und der Lagerungsverhältnisse verschiedener Gesteine.
 - Möglichkeiten der manuellen Kontrasterhöhung und Farbenintensivierung um ggf. Unterschiede besser beobachten zu können.
 - Automatische Erkennung von Verschnittspuren von Trennflächen in der Ortsbrust und automatische Ermittlung von Streich- und Fallrichtung derselben.
 - Möglichkeiten zur manuellen Anpassung von Verschnittspuren (Ergänzen/Löschen) und manuelle Auswahl von Flächen, an denen Streich- und Fallrichtung errechnet werden sollen.
 - Messung von Distanzen in der Aufnahme, um zum Beispiel Schichtmächtigkeiten oder Kluftabstände zu bewerten.
 - Volumetrische Auswertung von auftretenden Ausbrüchen aus der Ortsbrust.
 - Falschfarbandarstellung bzw. Isoliniendarstellung der Oberfläche der Ortsbrust.
 - Möglichkeit zur prozentualen Auswertung zur Durchgängigkeit/Sichtbarkeit der Diskenspuren auf der Ortsbrust. Dies ist vor allem dann interessant, wenn Spuren wegen Ausbrüchen oder Mixed-Face-Bedingungen abgesetzt sichtbar sind.
 - Rasche Verfügbarkeit der Auswertung innerhalb weniger Stunden. Hierfür wären aus Sicht der Geologen sogar Qualitätsabstriche z.B. bei der Maschenweite der Vermaschung oder der Darstellung in Kauf zu nehmen.
 - Falschfarbandarstellung wie zum Beispiel Infrarot zur Sichtbarmachung besonderer Effekte. Hier könnten Wärmeleitfähigkeiten/Wasserzutritte unterschieden werden.
 - Set standardisierter 2D-Darstellungen. Ortsbrustdarstellung in Ebene der Ortsbrust mit Blick in Vortriebsrichtung, Schnittdarstellungen in Achse sowie die Möglichkeit, zusätzlich Vertikal- und Horizontalschnitte „auf Knopfdruck“ im stets selben Maßstab zu generieren.
 - Eine entsprechende Schnittstelle zu Dokumentensystemen, wie z.B. TUGIS.NET oder Export ausgewählter Parameter in Datenbanken wie IRIS.tunnel (Integriertes Risiko- und Informations-System) der Firma ITC Engineering GmbH & Co. KG.
- [27]

Diese aufgelisteten Punkte werden mit dem eingesetzten Aufnahme- und Auswertungssystem verglichen, um die Anforderungen aus geologischer Sicht zu betrachten.

Durch die flexible Montage der Kameraeinheit in unterschiedlichen Diskenkästen ist eine vollflächige Aufnahme der Ortsbrust möglich. Aufgrund dieser Art der Montage ist kein Mindestabstand zwischen Bohrkopf und Ortsbrust nötig. Es besteht die Möglichkeit, die eingesetzte monochrome Kamera durch eine baugleiche Farbkamera zu ersetzen, um eine Echtfarbdarstellung der Gesteinsfarbe zu erhalten. Dies wurde im Zuge des Einsatzes schon erfolgreich getestet.

Eine automatische Erkennung der Verschnittspuren von Trennflächen ist nicht Teil der Implementierung in dem CAD-basierten Auswertungssystem. Die Bestimmung von Streich- und Fallrichtung ist aber in der bestehenden Erweiterung zur Lagenkugelprojektion enthalten. Somit ist eine Möglichkeit zur manuellen Anpassung dieser Verschnittspuren gegeben.

Aufgrund der Auswertung in AutoCAD bzw. Civil3D ist die Messung von Distanzen zur Bewertung von Kluftabständen oder Schichtmächtigkeiten durchführbar. Eine volumetrische Auswertung von in der Ortsbrust vorhandenen Ausbrüchen, ist durch die Erweiterung mit Hilfe von Plug-Ins ebenfalls vorhanden. Eine gewünschte Isolinien-darstellung der Ortsbrustoberfläche kann mithilfe von Civil3D-Funktionen einfach generiert werden. Eine mögliche prozentuelle Auswertung bezüglich Sichtbarkeit der Diskenspuren auf der Ortsbrust ist in dieser Arbeit nicht umgesetzt.

Da die Zeit für die Auswertung einer Ortsbrustaufnahme durchschnittlich 45 Minuten beträgt, gibt es für einen Qualitätsabstrich bei der Prozessierung keinen Bedarf, der bei längeren Auswertezeiten erforderlich wäre.

Eine Falschfarbdarstellung wie zum Beispiel Infrarot, kann wenn gewünscht in Zukunft realisierbar sein, ist aber kein Bestandteil der gegenwärtigen Aufnahme bzw. Auswertung. Die Ortsbrustdarstellung in Ebene der Ortsbrust mit Blick in Vortriebsrichtung ist bei Aufrufen der Punktwolke stets gegeben. Ebenso wie die Infrarotdarstellung ist eine standardisierte 2D-Schnitt-darstellung von unterschiedlichen Horizontal- und Vertikalschnitten der Ortsbrust, im stets selben Maßstab nicht implementiert, kann aber mit AutoCAD oder Civil3D realisiert werden. Diese Schnitt-darstellungen wären für die Dokumentationen auf der Baustelle gut geeignet, da sie sich besser in einen Dokumentenlauf einpflegen lassen. Diese Anforderung setzt eine Schnittstelle zu Dokumentensystemen voraus, die auf der Baustelle vorhanden sind. Diese Schnittstelle wäre ein für die Zukunft wichtige Anforderung zur besseren Dokumentation unterschiedlicher Daten in einem System.

5 Ortsbrustaufnahmen

Aufgrund der Unzugänglichkeit der Ortsbrust durch den Bohrkopf im kontinuierlichen Vortrieb und dadurch erschwerten Bedingungen bei der ingenieurgeologischen Aufnahme, wurde die Idee geboren, ein kamerabasiertes Aufnahmesystem zur Dokumentation dieser zu schaffen. Ziel dieses Aufnahmesystems, das durch ein Forschungsprojekt zwischen Montanuniversität Leoben und der Geodata GmbH entwickelt wurde, ist die vollflächige Ortsbrust, ohne eventuelle Auf- oder Umbauten am Bohrkopf zu erfassen und darzustellen. Aufgrund der Montage in den einzelnen Diskenkästen, ist dieses System sehr flexibel beim Einsatz auf verschiedenen Maschinentypen und Herstellern mit unterschiedlichen Durchmessern. Durch die leichte Bauweise ist es zudem sehr montagefreundlich und dadurch auch für größere Bohrkopfdurchmesser geeignet. Dieses System lässt sich sowohl mit einer als auch mehreren Kameras gleichzeitig betreiben. Durch dieses Mehrkamerasystem kann die Zeit reduziert werden, die für eine Aufnahme der Ortsbrust benötigt wird, das einen wesentlichen Punkt bei den Ausschreibungen darstellt. [1]

Da der Vortrieb am Baulos Tulfes-Pfons des Brenner Basistunnels ohne fixe Wartungsschicht konzipiert ist und auch so ausgeführt wird, ist der Einsatz des Aufnahmesystems nur in Stillstandszeiten möglich. Das bedeutet, dass der Einsatz nur effizient abgewickelt werden kann, wenn eine enge Abstimmung mit der Baufirma vorhanden ist. Es kann vorkommen, dass bei nicht vorhersehbaren Reparaturarbeiten, spontan Ortsbrustaufnahmen durchgeführt werden können und dadurch das System stets einsatzbereit zu halten ist. Deshalb ist es von meiner Sicht aus unumgänglich, dass die Baufirma das Kamerasystem selbst betreibt.

Das bedeutet auch, dass zusätzlich zum Kameraeinsatz nebenläufige Tätigkeiten ausgeführt werden. Auf Grund dessen ist der Einsatz auch mit diesen Arbeiten abzustimmen, da es vorkommen kann, dass durch diese Tätigkeiten ein Drehen des Bohrkopfes unmöglich ist. Solche Tätigkeiten sind zum Beispiel Arbeiten an der Hydraulik, der Mittel- bzw. Hochspannung oder des Kühlwassersystems. Außerdem müssen in diesen Stillstandszeiten auch Meißelkontrollen und -wechsel durchgeführt und eventuell geologische Ortsbrustdokumentationen erstellt werden. Durch diese Arbeiten ist es ebenfalls nicht möglich parallel im Bohrkopf aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse zu arbeiten.

Der Kameraeinsatz findet größtenteils neben Förderbandverlängerung oder Erkundungsbohrungen statt, da diese Arbeiten schon im Vorhinein bekannt sind und

dadurch eine bessere Planung und Abstimmung möglich ist. Außerdem ist das Zeitfenster des Stillstandes bei diesen auszuführenden Arbeiten größer.

Nachfolgend werden die Voraussetzungen, die Installation des Kamerasystems am Bohrkopf, die Durchführung der Aufnahmen und anschließender Auswertung beschrieben. Des Weiteren wird auf diverse vorbereitende Arbeiten und Probleme näher eingegangen, die sich bei einer Aufnahme ergeben können.

5.1 Voraussetzungen zur Durchführung einer Ortsbrustaufnahme

Eine wesentliche Voraussetzung zur erfolgreichen Aufnahme ist die Stabilität der Ortsbrust. Bei Antreffen einer instabilen Ortsbrust ist ein Zurückziehen des Bohrkopfes nicht erwünscht und damit eine Aufnahme unmöglich. Das Zurückziehen des Bohrkopfes beseitigt die mechanische Stützung, schafft mehr Platz, in den die Ortsbrust hereinbrechen kann, was somit Mehrausbrüche verursacht. Sollte es während der Aufnahme doch zu Hereinbrechen der Ortsbrust kommen, ist aus sicherheitstechnischer Sicht diese sofort abzurechen. Ein Hereinbrechen von Material hat ein Schüttern durch die Räumler zur Folge. Das Material wird durch die Räumerkammern genau über dem Arbeitsbereich abgeworfen, in dem die Aufnahme durchgeführt wird, und kann zu Verletzungen der Personen führen. Das Material kann das Aufnahmesystem beschädigen und somit für einen weiteren Einsatz unbrauchbar machen. Außerdem ist das Maschinenband, das zur Abförderung des Materials zuständig ist, zurückgezogen. Somit kann das Material nicht gefördert und muss eventuell händisch beseitigt werden.

Eine weitere Bedingung ist eine stabile Tunnellaibung bzw. Firste. Ist eine Instabilität der Firste oder Laibung vorhanden, ist ein Stützmitteleinbau direkt hinter dem Fingerschild nötig (Abbildung 21). Dieser Einbau verhindert ein Zurückziehen des Bohrkopfes und macht somit eine Ortsbrustaufnahme ebenfalls unmöglich. In solchen Situationen muss aus Sicherheitsgründen der Stützmitteleinbau direkt hinter dem Schild erfolgen, um ein Hereinbrechen von Material zu verhindern. Diese Stützmittel bestehen aus Tunnelbögen und Ankern.

Am Baulos Tufes-Pfons ist es zu mehreren Überbrüchen aufgrund von Störungseinflüssen gekommen, die einen Stützmitteleinbau im Fingerschild erforderlich gemacht haben. Bei einem Vortrieb mit Einbau von 360° Tunnelbögen im Fingerschildbereich ist ebenfalls keine Ortsbrustaufnahme möglich, da das Zurückziehen auch hier verhindert wird.



Abbildung 21: links: Stützmitteleinbau direkt hinter dem Fingerschild; rechts: Stützmitteleinbau im Fingerschild

Generell ist anzumerken, dass eine Aufnahme der Ortsbrust nur bei solchen „guten“ Gebirgsverhältnissen durchführbar ist, wo der Ausbau ein Bewegen des Bohrkopfs nicht unterbindet. Des Weiteren besteht das Problem, dass bei „schlechten“ Gebirgsverhältnissen bzw. Störungen ein Durchörteren so schnell als möglich erfolgen sollte. Diese Situation bietet daher nur wenig Spielraum für fotogrammetrische Dokumentationen, da der Vortrieb Priorität hat.

Weiters muss vorbereitend zu einer Ortsbrustaufnahme nach Beendigung eines Hubes das Ausbruchsmaterial, das zwischen Ortsbrust und Schneidrad vorhanden ist, vollständig abgefördert werden. Dieses Ausschuttern ist notwendig, um die Arbeitssicherheit der nachfolgenden Kameraaufnahmen im Bohrkopfbereich zu gewährleisten. Geschieht dies nicht, kann durch die Rümer hereinfallendes Material, das beim Drehen des Schneidrades aufgrund der Ortsbrustaufnahme anfällt, im Bohrkopf befindliche Personen gefährden. Anschließend wird der Bohrkopf die wenigen Zentimeter zurückgezogen, die für das Lösen der Disken von der Ortsbrust benötigt werden.

Nach dem Ausschuttern ist ein Zurückziehen des Maschinenbandes erforderlich, um den Bohrkopfbereich unbehindert betreten zu können. Als Maschinenband wird das Förderband bezeichnet, das das Ausbruchsmaterial vom Bohrkopf zur ersten Übergabe auf das Nachläuferband befördert.

Nachfolgend können eine Reinigung des Bohrkopfbereichs bzw. die Bindung von allfälligem Staub mit Wasser erforderlich sein, was von der Feinkörnigkeit des gebrochenen Materials abhängt und im Laufe des Vortriebs variiert. Durch die Isoliertheit des Raums zwischen Ortsbrust und Bohrkopf wird ein Abströmen von Staub verhindert. Dadurch wird die nachfolgende kamerabasierte Aufnahme der Ortsbrust gestört. Liegt ein hoher Feinkornanteil vor, muss das Schneidrad bzw. der Bohrkopfbereich bei mehreren Leerlaufumdrehungen mit Wasser befeuchtet werden, um den anfallenden Staub zu binden. Des Weiteren ist es notwendig, die Entstaubung, die im vorderen Bereich der TBM angebracht ist, zu aktivieren, um einen Luftzug zu erzeugen und damit das Klima im Bohrkopfbereich zu verbessern.

Durch diese Befeuchtung entsteht ein weiteres Problem, das die Aufnahme verzögert. Im Zusammenspiel mit der enormen Wärmeentwicklung, die während des Vortriebes im Bohrkopfbereich entsteht, und dem Zufügen von Wasser entwickelt sich eine erhöhte Luftfeuchtigkeit. Dies hat ein Beschlagen der Linse zur Folge. Der Temperaturunterschied zwischen Umgebung und dem Kameragehäuse ist ein weiterer Faktor, der ein Beschlagen hervorrufen kann. Eine Möglichkeit, diese Temperaturunterschiede auszugleichen, ist eine vorangegangene Erwärmung des Kamerasystems. Die Erwärmung des Systems wird durch eine Stromversorgung der Kamera erreicht.

Wenn sich im Bohrkopf in der im Sohlbereich befindlichen Räumerkammer Wasser angesammelt hat, muss dieses abgelassen werden, um die nachfolgenden Aufnahmen nicht zu behindern. Das Reinigen des Abflusskanals erfolgt mittels einer Lanze mit Wasserspülung, die im Sohlbereich hinter dem Bohrkopf in Richtung Ortsbrust vorgestoßen wird. Dies ist notwendig, da sich der Abfluss mit dem feinkörnigen Anteil des Ausbruches und dem Wasser zu einer schlammigen Masse verbindet und dadurch den Abfluss verstopft.

5.2 Systeminstallation



Abbildung 22: Systeminstallation des Aufnahmesystems im Erstversuch

Sind diese vorbereitenden Schritte erfolgt, kann mit der Montage des Aufnahmesystems am Schneidrad begonnen werden. Abbildung 22 zeigt die Montage des Aufnahmesystems bei der Erstinstallation am 04.01.2016 auf der Baustelle. Hier wurde das Kamerasystem

dem ersten Test unterzogen und die ersten Aufnahmen vorgenommen. Die Erstaufnahme der Ortsbrust wurde mit einer Kameraeinheit durchgeführt. Die Steuereinheit wurde in diesem Fall in den zentralen Doppeldiskenkasten #7 und #5 installiert. Mithilfe von zwei abschaltbaren Permanentmagneten wird die Steuereinheit in diesen Doppeldisken montiert. Zusätzlich erfolgt eine redundante Sicherung mit einem Spanngurt mit Klemmverschluss. Die Montage der Kameraeinheit erfolgte in den ersten Aufnahmeeinheiten ebenfalls mit Permanentmagneten. Das aus Aluminium ausgeführte Gehäuse wird zwischen diesen zwei abschaltbaren Permanentmagneten in Höhe der Diskenschneide am Diskenkasten eingeklemmt. In dieser Anfangsphase wurde die Kamera noch mit drei statt der zuletzt verwendeten zwei Kabel betrieben. Diese Verbindung von Steuer- zu Kameraeinheit muss sehr sorgfältig am Schneidrad mithilfe von Kabelbindern verlegt werden. Da geometrisch bedingt der Platz zwischen feststehendem Bohrkopf und drehendem Schneidrad sehr beengt ist, kann es bei unsachgemäßer Installation zu Beschädigungen am Aufnahmesystem bzw. zu Kabelbrüchen kommen (Abbildung 23).



Abbildung 23: Geringe Platzverhältnisse zwischen feststehendem Bohrkopf und drehendem Schneidrad

Nach dem Testaufbau, der als Einkamerasystem ausgelegt war, wurden die nachfolgenden drei Ortsbrustaufnahmen als Zweikamerasystem konfiguriert. Dabei wurde der Aufnahmeprozess mit zwei parallel betriebenen Kameraeinheiten, durchgeführt (Abbildung 24).

Durch dieses Mehrkamerasystem ist es möglich, die Zeit, die für eine Aufnahme der Ortsbrust benötigt wird, zu verkürzen. Aufgrund der in der ersten Testphase gewonnenen Erkenntnisse wurde das Aufnahmesystem durch mehrere Modifikationen verbessert. Das Kameragehäuse, welches zuvor aus Aluminium bestand, wurde durch ein aus Hartplastik gefertigtes ersetzt. Des Weiteren erfolgt die Verbindung zwischen Steuer- und Kameraeinheit mit zwei Kabeln je Kamerasystem. Dies bedeutet einen einfacheren Einbau am Schneidrad, da die Verlegung der Verbindung mit zwei anstatt der zuvor verwendeten drei Kabeln erleichtert wird.

Der Einbau der Steuereinheit erfolgte wie vorher beschrieben in den zentralen Doppeldiskenkästen und die Kameraeinheiten wurden über das Schneidrad verteilt montiert, um eine großflächige Aufnahme der Ortsbrust zu erhalten.

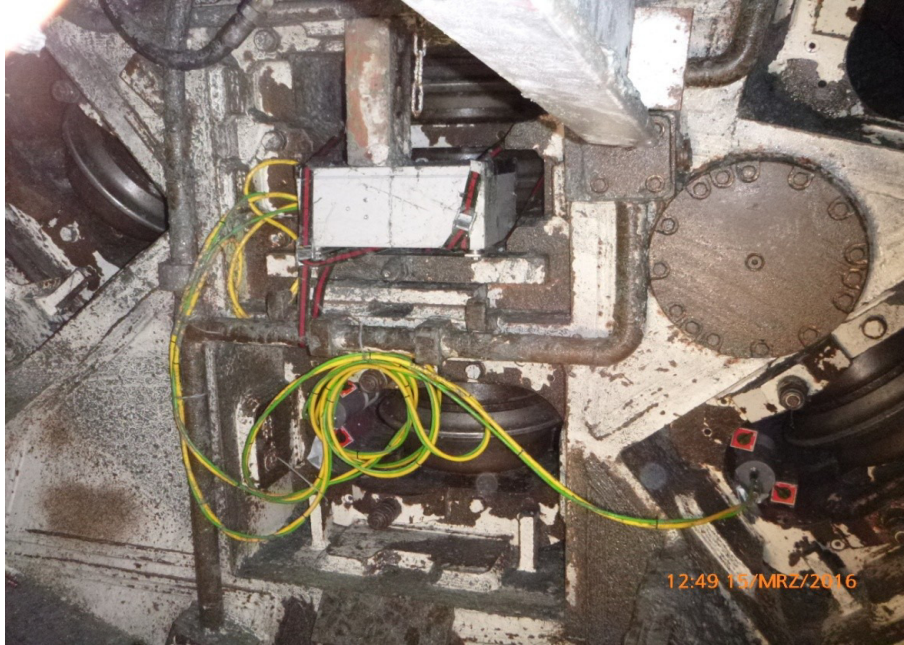


Abbildung 24: Einbau als Mehrkameranystem mit zwei Kameraeinheiten

Aufgrund der durch die Zeit vermehrten Korrosion am Schneidrad und ebenso in den Diskenkästen, ist eine Montage der Kameraeinheiten mittels Permanentmagneten mit Nachteilen verbunden. Neben der Korrosion tritt die Verklebung der Diskenkästen mit den Feinkornanteilen des Ausbruchsmaterials als zusätzliche Erschwernis auf. Im Fall der Installation mit Permanentmagneten, müssen als vorbereitende Arbeiten die Diskenkästen gründlich gereinigt und mit einer Drahtbürste von Korrosion befreit werden. Diese Arbeiten verzögern den eigentlichen Prozess der Ortsbrustaufnahme.

Dementsprechend wurden Überlegungen angestellt, wie man diese Montagesituation verbessern kann. Es wurden auf der Baustelle Prototypen angefertigt, die die Installation verbessern sollen. Diese Prototypen sind einfach aufgebaut, robust aber dennoch handlich und durch die Installation mit nur einer Schraube im Diskenkasten sehr montagefreundlich. Dieses Halterungssystem ist in Abbildung 25 sowohl im aus- und eingebauten Zustand abgebildet. Es wird in dem am Schneidrad bereits vorhandenen Hilfssystem zum Meißelwechsel montiert. Somit muss das Schneidrad für diese entwickelte Halterung weder adaptiert noch umgebaut werden. Mit diesem Einbausystem stellt die Korrosion kein Problem mehr dar und die Verklebungen in den Diskenkästen müssen nur grob entfernt werden. Dies hat zur Folge, dass die Zeit für eine

Ortsbrustaufnahme verkürzt werden kann. Außerdem schützt diese Halterung die Kameraeinheit im eingebauten Zustand vor Beschädigung, da sie in einem Stahlrohr sicher montiert und dadurch vor Steinschlag geschützt ist. Von diesem Zeitpunkt an wurden alle Ortsbrustaufnahmen mit diesem Halterungssystem der Kameraeinheit durchgeführt.



Abbildung 25: links und rechts oben: Halterung für das Kamerasystem; links unten: Halterung im eingebauten Zustand; rechts unten: Halterung inkl. angeschlossener Kameraeinheit

Da es während eines Aufnahmevorganges am 19.05.2016 zu einem Kabelbruch und daraus resultierenden Kurzschluss des Systems kam, musste der für die Steuerung zuständige Rechner ersetzt werden. Durch den Kurzschluss wurden die beiden mit Power Over Ethernet ausgestatteten GigE-Ports beschädigt und waren somit nicht mehr nutzbar. Nach diesem Vorfall wurde die Einheit wieder auf ein Einkamerasystem zurückgesetzt. Alle nachfolgenden Ortsbrustaufnahmen sind mit diesem System mit einer Kamera durchgeführt worden.

5.3 Durchführung der Ortsbrustaufnahme und Beschreibung der Aufnahmekonfiguration

Die hier beschriebenen Aufnahmen beziehen sich auf die im Regelfall angewandten Konstellationen der verschiedenen Kamerapositionen am Schneidrad. Die Anzahl der Bilder, die für eine vollflächige Ortsbrustaufnahme notwendig ist, wird von dem Öffnungswinkel der Kamera und dem Abstand zur Ortsbrust festgelegt. Die verschiedenen Konstellationen der Diskenkästen werden durch den Abstand vom Schneidrad zur Ortsbrust bestimmt, der durch Zurückziehen des Bohrkopfes variiert werden kann. Es wurden im Laufe der Zeit, in dem das System im Einsatz war, mehrere Montagepositionen der Kameraeinheit getestet, um die bestmögliche arbeitsergonomische Reihenfolge zu erhalten. Außerdem darf eine Aufnahme nicht zu viel Zeit in Anspruch nehmen und die Auswertung muss zufriedenstellende Ergebnisse liefern. Bei den gegenständlichen Kameraeinsätzen hat sich eine Konstellation mit 5 bzw. 4 Diskenkästen für die Kameramontage zur vollflächigen Ortsbrustaufnahme bewährt. [1] Diese Kamerapositionen sind über maximal drei Räumerkammern (RK4, RK5 und RK6) verteilt, die zu Beginn der Montage in den Sohlbereich gedreht werden müssen.

Bei einer Aufnahmekonfiguration mit 5 Positionen wird die Kameraeinheit zuerst in der Räumerkammer RK6 im Diskenkasten #9 montiert. Anschließend erfolgt die Montage in nachfolgender Reihenfolge in Diskenkasten #16 ebenfalls in RK6, #23 und #37 in der RK5 und abschließend in Diskenkasten #30 in der RK4 (Abbildung 26 links). Hier ergibt sich zwischen jeder Aufnahme ein Spurabstand von 7 Disken. Der Abstand wurde so gewählt, dass mit den 5 verschiedenen Aufnahmepositionen eine vollflächige Aufnahme der Ortsbrust möglich ist.

Die Konfiguration mit 4 Kamerapositionen startet ebenfalls in der Räumerkammer RK6 im Diskenkasten #9. Im Anschluss wird die Kameraeinheit in der RK6 im Diskenkasten #18, anschließend in der RK5 in den Diskenkästen #28 und #37 montiert (Abbildung 26 rechts). Die Aufnahmen der hier gewählten Konfiguration haben einen Spurabstand von 9 beziehungsweise 10 Spuren. Dies hat zur Folge, dass die Überlappung zwischen den einzelnen Aufnahmen verschiedener Kamerapositionen geringer ist. Das bedeutet, dass aufgrund des konstanten Öffnungswinkels der Kamera der Bohrkopf weiter zurückgezogen werden muss als bei einer Konfiguration mit 5 Kamerapositionen. Dieses weitere Zurückziehen des Bohrkopfes stellt im Regelfall kein Problem dar und kann mühelos ohne Sicherheitsbedenken durchgeführt werden.

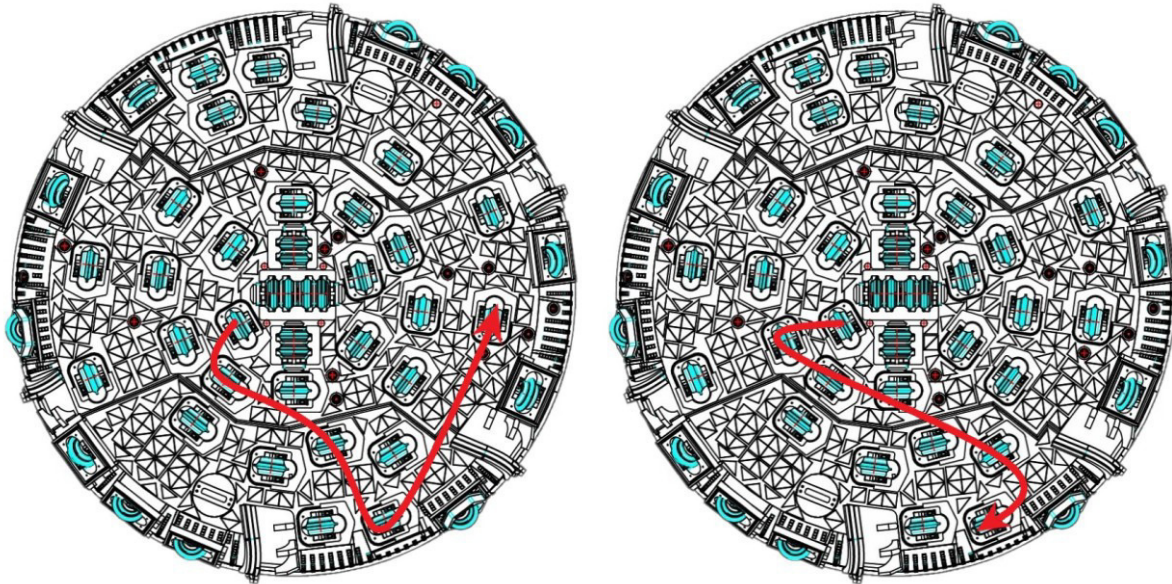


Abbildung 26: links: Montageorte der Kameraeinheit entsprechend ihrer Reihenfolge mit 5 Positionen; rechts: mit 4 Positionen

Um in diesem Kapitel die Durchführung von Beginn, also von der Verständigung der Möglichkeit einer Aufnahme, bis hin zur Auswertung im Büro darstellen zu können, ist es notwendig vorher beschriebene Abläufe nochmals aufzugreifen.

Da eine Abstimmung mit der Baufirma in diesem Projekt eines der Hauptkriterien zur erfolgreichen Durchführung einer Ortsbrustaufnahme darstellt, wird hier nochmal auf dieses Erfordernis hingewiesen.

Die Festlegung, wann eine Ortsbrustaufnahme möglich ist, ist in diesem speziellen Fall sehr wichtig. Da in dem Baulos keine zeitlich festgelegten Wartungsschichten vorhanden sind und es deshalb auch spontan zu Stillstandszeiten aufgrund von Defekten kommen kann, ist ein flexibler Einsatz des Aufnahmesystems zwingend erforderlich. Das heißt, dass das System immer einsatzbereit auf der Baustelle zu halten ist. Durch diese Flexibilität ist es ratsam, dieses System von der Baufirma betreiben zu lassen. Da es auch geplante Stillstände wie Erkundungsbohrungen oder Förderbandverlängerungen gibt, sind diese Aufnahmen meist in diesen Zeiten durchgeführt worden.

Durch diese begrenzten Stillstandszeiten besteht aber auch die Gefahr, dass andere Gewerke diese nutzen, um den Vortrieb nicht zu behindern. Dadurch ist die Abstimmung mit diesen nebenläufigen Tätigkeiten bei einer geplanten Aufnahme zu berücksichtigen. Die Gefahr, den Bohrkopf trotz Stillstandszeiten durch Meißelwechsel oder -kontrolle, Arbeiten an der Hydraulik oder des Kühlwassersystems und anderen Tätigkeiten nicht drehen zu können, ist relativ groß. Aufgrund dessen ist eine gute Kommunikation zwischen allen Beteiligten dieses Projektes unabdingbar.

Da das Aufnahmesystem im Baustellenbüro und nicht vor Ort auf der TBM aufbewahrt wurde, ist im Fall einer Verständigung zur Durchführung einer Ortsbrustaufnahme eine

gewisse Anfahrtszeit zu berücksichtigen. Die Entscheidung, das System im Baustellenbüro und nicht auf der TBM aufzubewahren, ist aufgrund von Sicherheitsüberlegungen gefallen. Um das System vor diversen schädigenden Einflüssen (Beschädigung, auf die Seite stellen etc.) auf der TBM zu sichern, ist die Aufbewahrung im Baustellenbüro als beste Möglichkeit erachtet worden. Die Anfahrtszeit richtet sich nach dem jeweiligen Vortriebsstand der TBM. Am Baulos Tulfes-Pfons wurde die erste Aufnahme am 04.01.2016 bei Tunnelmeter 554,45 und die letzte Aufnahme am 04.08.2017 bei TM 7756,55 durchgeführt. Dadurch ergibt sich für einen größeren Vortriebsstand von ca. 7800 Meter eine erhöhte Anfahrtszeit von zirka 45 Minuten vom Baustellenbüro bis zur TBM.

In dieser Anfahrtszeit sollen im Idealfall alle vorbereitenden Arbeiten erledigt werden, die eine Ortsbrustaufnahme möglich machen. Diese Arbeiten sind Ausschuttern des Ausbruchsmaterials zwischen Schneidrad und Ortsbrust, Zurückziehen des Bohrkopfes auf die gewünschte Position und Zurückziehen des Maschinenbandes um die Erreichbarkeit des Bohrkopfes zu ermöglichen. Die Gripperverspannung muss kontrolliert und angepasst werden, um ein manuelles Drehen des Schneidrades mit der Steuerbirne, die im Bohrkopfbereich angeschlossen wird, zu ermöglichen. Fällt die Gripperverspannung unter einem bestimmten Wert ab, ist ein Drehen des Schneidrades mit der Steuerbirne nicht möglich. In solchen Situationen muss vom Steuerstand aus der Druck auf die Gripperplatten erhöht werden. Muss während einer Aufnahme der Verspanndruck erhöht werden, erfolgt die Verständigung mithilfe eines Funkgerätes aus dem Bohrkopf heraus. Da in diesen Stillstandzeiten der Steuerstand oft nicht besetzt ist, kann sich die Verständigung mit einer fachkundigen Person als schwierig erweisen. Es kann dazu führen die Aufnahme zu verlassen, aus dem Bohrkopf auszusteigen, den Druck anzupassen und wieder zurückzukehren. Dies hat eine Verzögerung der Ortsbrustaufnahme zur Folge.

Sind diese Arbeiten abgeschlossen und das System befindet sich vor Ort, kann mit der eigentlichen Montage der Aufnahmeeinheit begonnen werden. Das zur Montage nötige Werkzeug beschränkt sich auf zwei Stück Permanentmagneten und zusätzlichen Spanngurt mit Klemmverschluss zur Montage der Steuereinheit, zwei Stück Maulschlüssel mit 19 mm Schlüsselweite, um die Kamerahalterung zu installieren, sowie Kabelbinder, um die Verbindung zwischen Steuer- und Kameraeinheit zu fixieren, und einen Seitenschneider, um diese Fixierung mittels Kabelbinder am Schneidrad auch wieder zu lösen.

Die Steuereinheit wird zuerst in dem zentrumsnahen Doppeldiskenkasten mit der Bezeichnung #5 und #6 montiert. Um die Einheit zu installieren, kann es erforderlich sein, den Diskenkasten von eventuell anhaftendem Material zu befreien. Je höher der Feinkornanteil des Materials ist, desto höher ist die Gefahr des Zuwachsens der

Diskenkästen. Umgekehrt ist bei grobkörnigem Ausbruchsmaterial die Verklebung in den Diskenkästen geringer und der Zeitaufwand für die Reinigung und somit für eine ganze Aufnahmereihe wird reduziert. Das anhaftende Material wird mit einer Brechstange vom jeweiligen Diskenkasten entfernt. Anschließend wird die Steuereinheit mithilfe der beiden Permanentmagneten montiert. (Abbildung 27)



Abbildung 27: links: Doppeldiskenkasten vor Reinigung; rechts: Steuereinheit im eingebauten Zustand

Nach dieser Montage wird die Kamerahalterung in einem vorher definierten Diskenkasten, in unserem Fall der Kasten mit der #9, installiert. Hier kann es ebenfalls erforderlich sein, den Diskenkasten von anhaftendem Material zu befreien (Abbildung 28). Dies geschieht wie oben beschrieben durch Auskratzen der Diskenkasten mit einer Brechstange.

Die Kamera wird mithilfe der beiden Kabel mit der Steuereinheit verbunden und anschließend die Einheit mit Strom durch Verbinden mit dem NiMh Akku versorgt. Durch die Stromversorgung wird die Steuereinheit hochgefahren und die Bildaufzeichnung gestartet. Ebenfalls baut sich eine automatische WLAN Verbindung auf, die den Zugriff auf die Einheit mittels der Remote Desktop App über ein handelsübliches Smartphone oder Tablet ermöglicht. Mithilfe der Remoteverbindung erhält man in Echtzeit die aufgenommenen Bilder auf das Display des Smartphones. Durch dieses Verfahren ist es möglich, die Kamera in der Halterung exakt zu positionieren. Nach dem die Kamera in der Halterung in der richtigen Stellung fixiert ist, muss der Aufnahmevorgang mit der Remoteverbindung gestoppt werden. Dieses Positionieren der Kamera ist nur zu Beginn eines Aufnahmezyklus notwendig, da in den nachfolgenden Schritten die Halterung mit fixierter Kameraeinheit umgesetzt wird.



Abbildung 28: links: Diskenkasten mit Material zugesezt; rechts: Diskenkasten nach Entfernung des Materials

Nun wird die Aufnahmeeinheit mit einer redundanten Sicherung mittels Spanngurt im Doppeldiskenkasten fixiert. Die Verbindungskabel werden mithilfe von Kabelbindern so verlegt, dass es bei der Drehung des Schneidrades nicht zu einem Kabelbruch kommen kann. Anschließend wird die Steuereinheit durch die Remoteverbindung über das Smartphone erneut gestartet und die Aufzeichnung der Bilder beginnt selbsttätig. Nach erfolgreichem Beginn der Aufnahmen wird das Schneidrad mithilfe der Steuerbirne um mehr als 360°, um einen vollständig aufgenommenen Ring zu erhalten, gedreht. Während des Aufnahmevorganges kann die Qualität der Bilder gleichzeitig am Display des Smartphones kontrolliert werden. Damit fällt eine nachträgliche Bildkontrolle nach jedem aufgenommenen Ring aus. Dies bedeutet eine weitere Zeitersparnis und beschleunigt den Vorgang der Aufnahme.

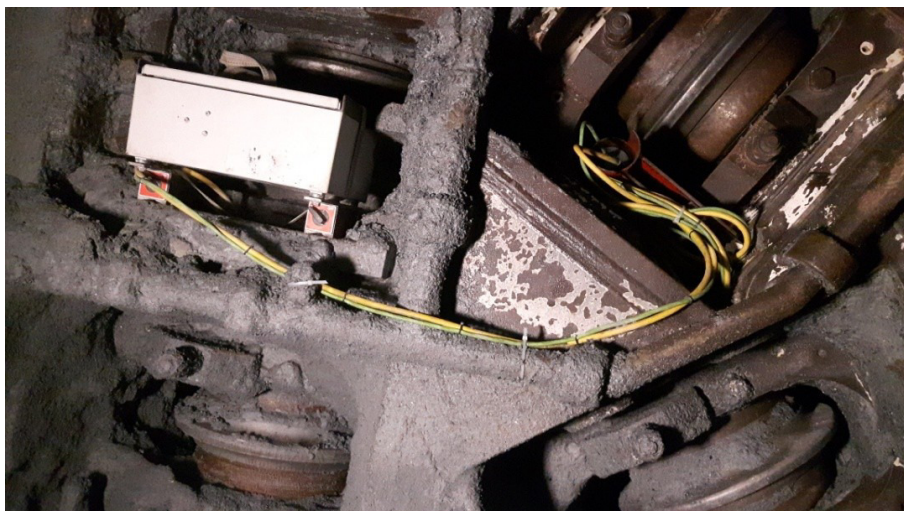


Abbildung 29: Einbau als zuletzt verwendetes Einkamerasystem

Für die Ortsbrustaufnahme spielt die Drehrichtung keine wesentliche Rolle. Der Vortrieb wird mit rechtsdrehendem Schneidrad durchgeführt. Mit der Steuerbirne kann aber auch nach links gedreht werden. Es hat sich herausgestellt, dass bei starker Verschmutzung

oder Schlammansammlung im Sohlbereich ein Drehen gegen die Schneidrichtung, also nach links, vorteilhaft ist. Die Räumler nehmen, wenn sie gegen die Abbaurichtung gedreht werden, weniger Material auf und dadurch wird die Aufnahme durch herabfallenden Schlamm von oben geringer beeinflusst. Außerdem hat sich auch während der ganzen Aufnahmen eine gewisse Routine ergeben, die ein Drehen des Schneidrades nach links als positiv ergibt. Die Aufnahmen wurden mit dem dem Zentrum nächsten Diskenkasten #9 begonnen. Dieser befindet sich bei Beginn der Aufnahmen im rechten mittleren Bereich. Die nächsten erforderlichen Diskenkästen sind von dieser Position aus gesehen alle weiter links angeordnet. Aufgrund der Linksdrehung während des Aufnahmevorganges und der Überdrehung um mehr als 360° , sind diese nachfolgenden Diskenkästen immer ohne Zurückdrehen des Schneidrades für die weitere Montage zugänglich.

Nach erfolgreicher Drehung wird mittels Remoteverbindung die Aufnahme gestoppt. Die Kamerahalterung samt fixierter Kameraeinheit wird in den nächsten erforderlichen Diskenkasten montiert. Dazu müssen die Kabelbinder entfernt werden, die Halterung samt Einheit wird in den nächsten Diskenkasten montiert und die Verbindung wieder mit Kabelbindern am Schneidrad verlegt. Die Aufnahme wird erneut durch ein Hochfahren der Steuereinheit über die Remoteverbindung gestartet. Das Prozedere wird so oft durchgeführt, bis alle erforderlichen Aufnahmen getätigt wurden. In unserem Fall mit vier oder drei Wiederholungen mit unterschiedlichen Kamerapositionen.

Im Anschluss an die letzte Kamerafahrt kann das System vom Schneidrad abgebaut und wieder ins Büro zur Datenübertragung und Auswertung gebracht werden.

5.4 Zeitbedarf der Ortsbrustaufnahmen

Um den Vortrieb nicht im Zuge einer Ortsbrustaufnahme zu verzögern, ist eine schnelle und effiziente Handhabung des Systems bei der Durchführung notwendig. Ebenso steht der Begriff Echtzeitfähigkeit im engen Zusammenhang mit einem kamerabasierten Aufnahmesystem. Darum ist es wichtig, eine gewisse Zeitspanne von der Aufnahme bis zur Auswertung und dadurch zum fertigen Ergebnis nicht zu überschreiten.

Nachfolgend werden unterschiedliche Ausführungszeiten im Regelfall einer Ortsbrustaufnahme näher betrachtet. Die Auswertungen der Zeiten beziehen sich nur auf die Konfiguration mit einer Kamera. Neben dem Regelbetrieb, der eine Aufnahme in kurzer Zeit ermöglicht, gibt es im Bohrkopfbereich nachteilige Einflüsse, die eine Aufnahme verzögern können. Solche Einflüsse sind zum einen extreme Hitze und Luftfeuchtigkeit, die ein Beschlagen der Linse zur Folge haben kann, zum anderen Staub

oder Schlamm, die die einzelnen Aufnahmen stören können. Das manuelle Drehen des Schneidrades kann durch einen Defekt der Steuerbirne oder durch Abfallen des Verspanndruckes der Gripper beeinträchtigt werden. In diesem Fall verzögert sich die Ortsbrustaufnahme ebenfalls.

Einleitend ist anzumerken, dass sich die Aufnahmen im Regelfall alle ähnlich gestalten und daher die hier gewählte Kamerafahrt auf die anderen verallgemeinert werden kann. Zuerst wird der Zeitbedarf einer Aufnahme mit einer Konstellation von 4 Kamerapositionen betrachtet. In diesem Fall wurden etwaige vorbereitende Arbeiten vor Eintreffen des Aufnahmesystems erledigt, das einem Idealfall und somit einem Regelfall entsprechen sollte. Die Zeit des Aufnahmezyklus wird von Beginn des Einbaues der Steuereinheit berechnet. Vom Einbau der Steuereinheit bis zum Start der ersten Aufnahme in der Kameraposition #9 wurden 15 Minuten gemessen. Die Aufnahme des gesamten Ringes, dies entspricht einer 360° Drehung des Schneidrades, betrug 3 Minuten. Für den Umbau der Kameraeinheit auf Position #18 wurden in diesem Fall 7 Minuten und für die erneute Aufnahme 4 Minuten gemessen. Die Zeit für den Umbau zur nachfolgenden Kameraposition #28 mitsamt der durchgeführten Aufnahme betrug 10 Minuten. Und der letzte Umbau auf Diskenkasten #37 inklusive der Aufnahme wird hier mit 11 Minuten bemessen. Also ergibt sich eine Gesamtzeit dieser vollständig aus 4 Kamerapositionen aufgenommenen Ortsbrust von 50 Minuten.

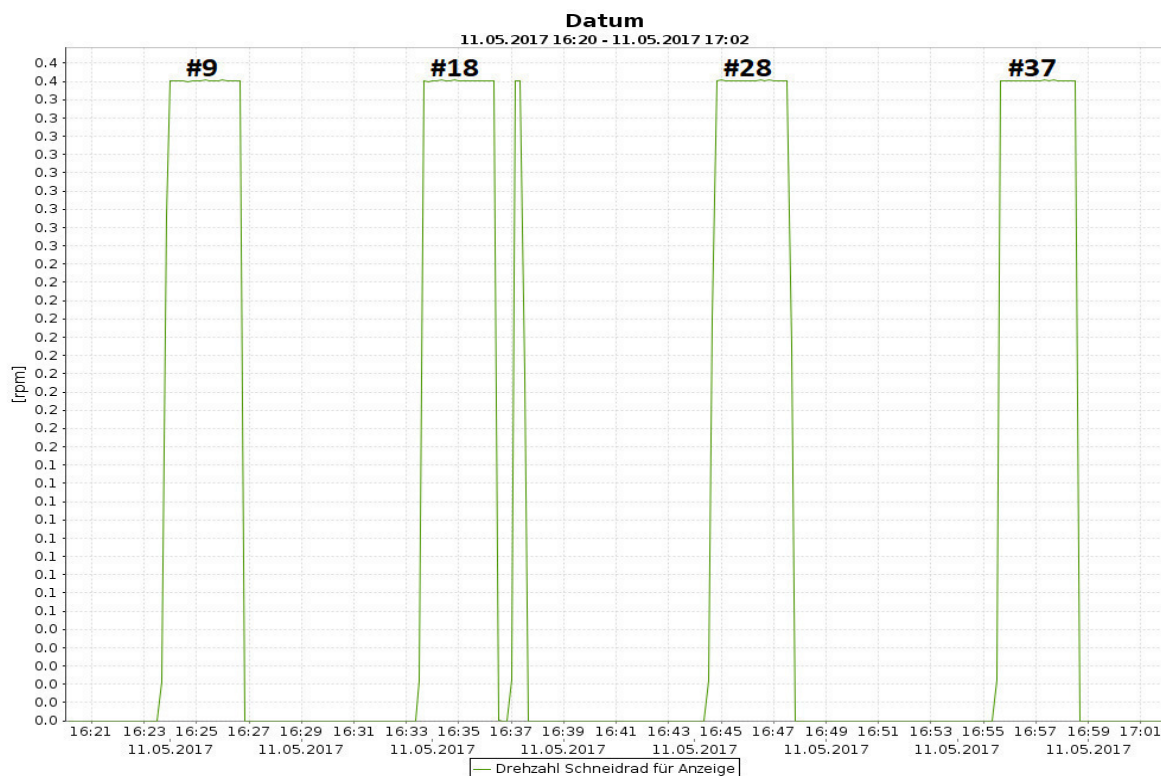


Abbildung 30: Drehzahl-Minuten Diagramm zur Darstellung der Gesamtzeit einer Ortsbrustaufnahme mit 4 Positionen

Durch die Drehzahl in Verbindung mit der Zeit kann jede der 4 Einzelaufnahmen der Ortsbrust in Abbildung 30 nachvollzogen werden. Der erste Ausschlag im Diagramm entspricht der Umdrehung des Schneidrades im Diskenkasten #9. Der zweite, dritte und vierte Ausschlag entspricht den Kamerapositionen #18, #28 und #37.

Um den Vergleich der Aufnahmezeiten zwischen verschiedenen Aufnahmekonfigurationen anstellen zu können, wird hier ein Zyklus mit 5 Kamerapositionen betrachtet.

Vorbereitende Tätigkeiten wurden ebenfalls wie vorher erwähnt vor dem Eintreffen der Aufnahmeeinheit erledigt und der Startpunkt fällt mit dem Einbau der Steuereinheit zusammen. Die hier dargestellte Aufnahmekonfiguration besteht aus 5 Kamerapositionen. Die Kamera wird der Reihenfolge nach in den Diskenkästen #9, 16, 23, 37 und 30 montiert. Der Zeitbedarf vom Einbau der Steuereinheit bis zum Beginn der ersten Aufnahme betrug hier ebenfalls 15 Minuten. Die Zeit für die Aufnahme aus der Position #9 betrug 3 Minuten. Der Umbau zum zweiten Standort inklusive Aufnahme nahm 11 Minuten in Anspruch. Die weiteren Vorgänge der drei Umbauten mit zusätzlicher Aufnahme benötigten jeweils 10 Minuten. Das heißt, die Aufnahmekonfiguration mit 5 Einzelpositionen wurde in 59 Minuten abgewickelt. Die Abbildung 31 veranschaulicht diese Vorgänge der 5 Schneidraddrehungen mit eingebautem Kamerasystem.

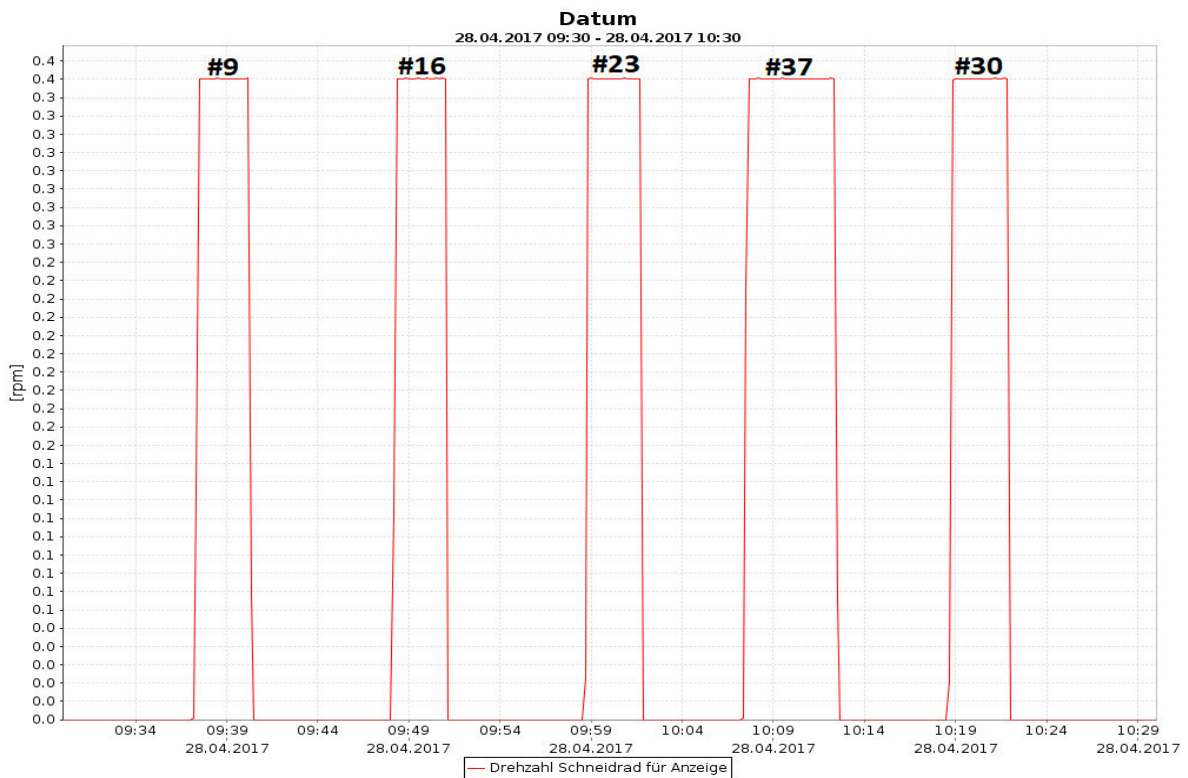


Abbildung 31: Drehzahl-Minuten Diagramm zur Darstellung der Gesamtzeit einer Ortsbrustaufnahme mit 5 Positionen

Hier lässt sich erkennen, dass ein Vorgang der Montage mit anschließender Aufnahme von 360° im Regelfall zwischen 8 und 12 Minuten braucht. Diese Zeit hat sich bei allen Aufnahmen erneut ergeben, die am Brenner Basistunnel durchgeführt wurden. Der Einbau des Steuerkastens und die Erstjustierung der Kameraeinheit in der Halterung benötigt im Regelfall zwischen 10 und 15 Minuten.

Durch diverse störende Einflüsse, die sich durch die harsche Umgebung im Bohrkopfbereich ergeben, kann eine Ortsbrustaufnahme verzögert werden. Eine solche Aufnahme ist in der Abbildung 32 dargestellt. Die Kameraposition #9 musste hier aufgrund von Beschlagen der Linse durch die hohe Luftfeuchtigkeit im Bohrkopf und Temperaturunterschieden zwischen Kameraeinheit und Umgebung, dreimal durchgeführt werden. Erst nach der zweiten Wiederholung wurde ein zufriedenstellendes Ergebnis der Bilder in der Position #9 erhalten. Obwohl der Bohrkopfbereich und das Schneidrad vor Beginn der Aufnahme mit Wasser besprüht worden ist, ist es zu Ende der Durchführung zu erhöhter Staubbildung gekommen. Die schnelle Trocknung des mit Wasser gebundenen Staubes wird durch die hohe Temperatur verursacht, die nach dem Vortrieb im Bohrkopfbereich vorherrscht. Aufgrund dessen mussten die Aufnahmen in der Kameraposition #30 zweimal durchgeführt werden.

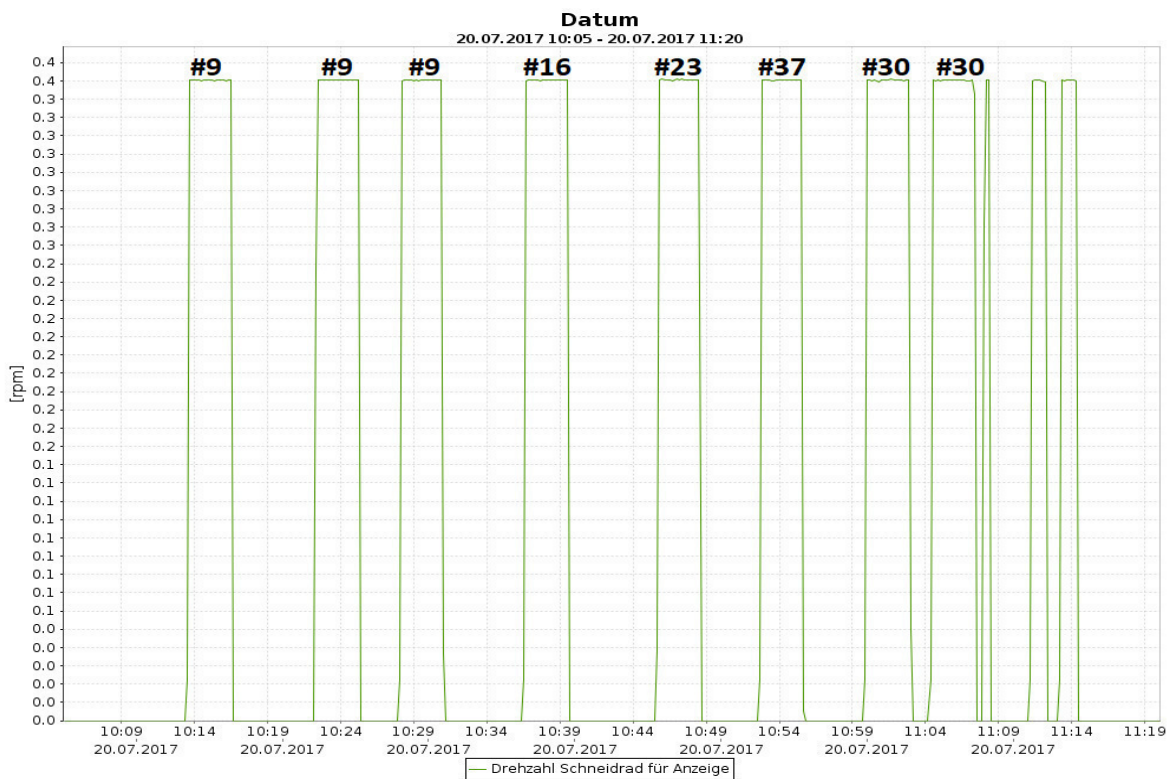


Abbildung 32: Drehzahl-Minuten Diagramm mit Verzögerung durch Beschlagen der Linse und Staub

Durch diese Einflüsse wird eine Aufnahme verzögert und kann somit den Vortrieb behindern. Es ist daher sehr wichtig, dass diverse vorbereitende Arbeiten gewissenhaft durchgeführt werden, um einer solchen Situation entgegenzuwirken. Gegen Beschlagen der Linse muss die Kamera vor Beginn einer Aufnahme mit Strom versorgt werden, um die Einheit zu erwärmen und dadurch den Temperaturunterschied zu minimieren. Durch Befeuchten des Schneidrades und Bohrkopfbereiches mit Wasser vor Beginn eines Aufnahmeprozesses kann einer eventuellen Staubbildung vorgebeugt werden. Nicht immer kann eine reibungslose Ortsbrustaufnahme sichergestellt werden, auch wenn alle vorbereitenden Maßnahmen getroffen wurden. Dies ist aufgrund der extremen Bedingungen im Bohrkopfbereich nicht immer möglich.

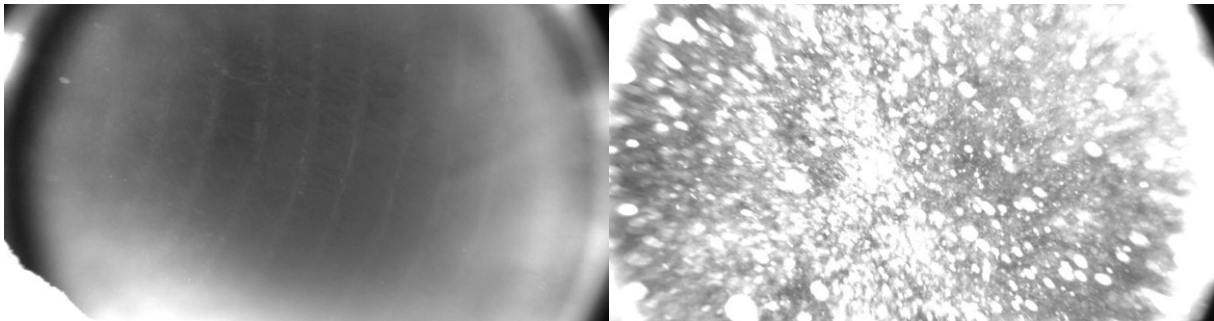


Abbildung 33: links: Gestörtes Einzelbild einer Aufnahmereihe durch Beschlagen der Linse; rechts Behinderung der Aufnahme durch Staubbildung

5.5 Erstellung der Ortsbrustbilder

Nach erfolgreicher Aufnahme der Einzelbilder aller benötigten Kamerapositionen werden die Daten vom Rechner der Steuereinheit auf den Arbeitsrechner geladen, der sich üblicherweise im Baubüro befindet. Dies geschieht im Regelfall ebenfalls über eine Remoteverbindung und macht somit ein Verbinden mittels Kabel unnötig.

Eine erfolgreiche fotogrammetrische Prozessierung erfordert ausreichende Bildüberlappung. Durch eine konstante Frequenz von 2 Bildern je Sekunde während der Aufnahme wird dies gewährleistet. Sie sorgt für einen Überschuss von Bildern, aus dem bei der fotogrammetrischen Prozessierung eine Auswahl getroffen wird.[1]

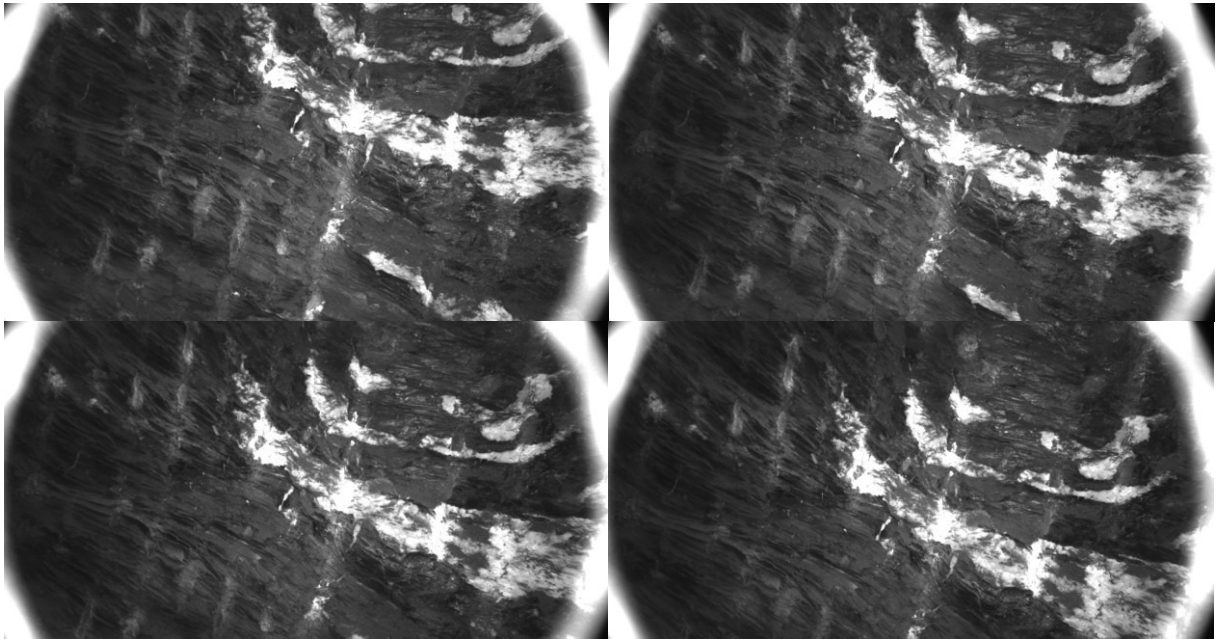


Abbildung 34: Serie von Einzelbildern die zu einer vollständigen Ortsbrust zusammengesetzt werden

Die Anzahl der Bilder unterscheidet sich aufgrund der Konstellation der Kamerapositionen. Aus 4 Kamerapositionen ergeben sich zirka 700 Bilder und aus 5 Positionen rund 1100 Bilder. Der zur Prozessierung der Ortsbrustbilder verfügbare Rechner enthält eine Desktop-Hardwarekonfiguration i7 6700K, NVIDIA GTX970. Eine 3D-Rekonstruktion wird mit dieser Konfiguration mit 4 Kamerapositionen in zirka 20 bzw. mit 5 Positionen in zirka 45 Minuten erstellt.[1]



Abbildung 35: Generiertes Orthofoto der gesamten Einzelaufnahmen

Die Zeit, die zur Rekonstruktion der Daten benötigt wird, liegt im Bereich der geforderten Auswertungsdauer. Damit ergibt sich die erfolgreiche Anwendung dieses Aufnahmesystems auf der Baustelle.

Die einzelnen, für eine 3D-Rekonstruktion notwendigen Schritte sind in Kapitel 4.2 beschrieben und werden somit hier nicht separat angeführt.

5.6 Ergebnisse der Rekonstruktionen

Nachfolgend werden einzelne Orthofotos der Ortsbrust und eventuelle Probleme, die sich bei der Auswertung ergeben haben, beschrieben. Es ist anzumerken, dass sich eine Konstellation von 5 bzw. 4 Kamerapositionen bewährt hat. Die Auswahl, welche Aufnahmeconfiguration erforderlich ist, hängt vom jeweiligen Abstand des Schneidrades zur Ortsbrust ab. Um eine nötige Überlappung der jeweiligen Ringe zu gewährleisten, muss bei kleinerem Abstand eine engere Aufnahmeconfiguration gewählt werden. In Abbildung 36 ist links eine Auswertung mit 5 Kamerapositionen und rechts eine mit 4 Positionen abgebildet. Dies ist an der Anzahl der Ringe, die sich aus jeder einzelnen Kameraposition ergeben, erkennbar. Beide stellen eine Aufnahme einer vollflächigen stabilen Ortsbrust im Quarzphyllit dar.

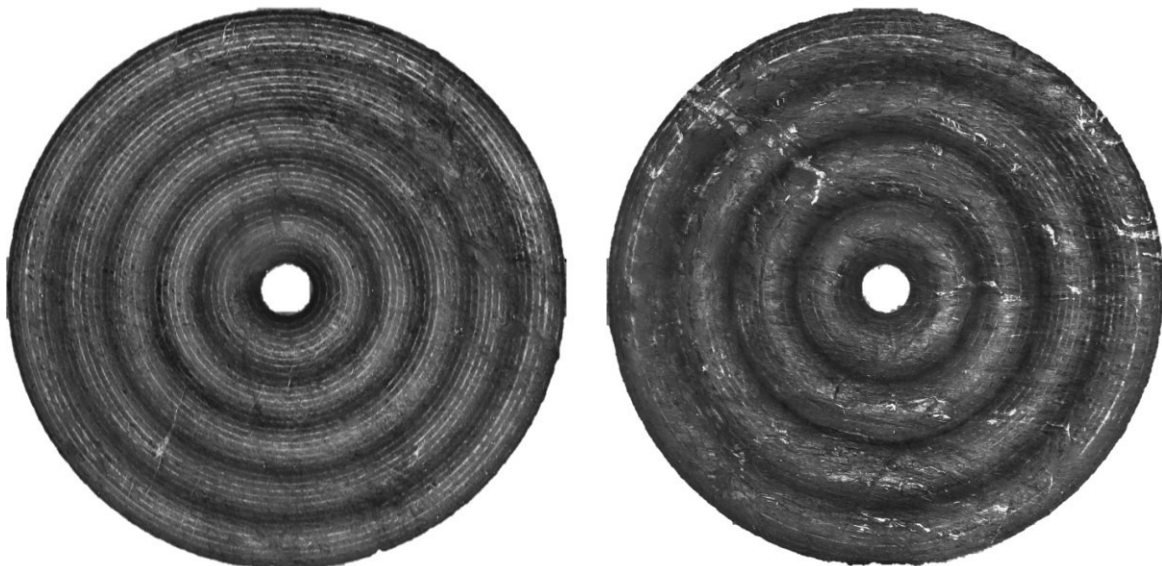


Abbildung 36: Orthofoto mit einer Aufnahmeconfiguration von 5 Kamerapositionen links und von 4 Positionen rechts

5.6.1 Rekonstruktion der Daten zweier Aufnahmesysteme

Am Baulos Tulfes-Pfons des Brenner Basistunnels sind zwei unterschiedliche Systeme zur Ortsbrustaufnahme im Einsatz. Aufgrund der Verfügbarkeit von zwei Systemen wurde versucht, die Dateien beider in einem Orthofoto und einer 3D Rekonstruktion zusammenzufassen. Die Abbildung 37 zeigt ein positives Ergebnis einer vereinten Auswertung von zwei unterschiedlichen Systemen. Die Bilder der inneren zwei Aufnahmen sind vom System „Leoben“ und die äußeren drei Ringe von den Daten des Aufnahmesystems der Firma Herrenknecht AG. Hier ist zu erkennen, dass das System „Leoben“ mit einer monochromen Aufnahme und das System „Herrenknecht“ mit einer polychromen Kamera arbeiten.

Dieses Ergebnis zeigt, dass nicht nur bestimmte Daten eines Aufnahmesystems, sondern auch Daten unterschiedlicher Systeme, die mit dem ähnlichen Prinzip der Ortsbrustaufnahme arbeiten, für die Auswertung geeignet sind. Das unterstreicht erneut die Flexibilität dieses Auswertungssystems und die dadurch geforderte Baustellentauglichkeit.

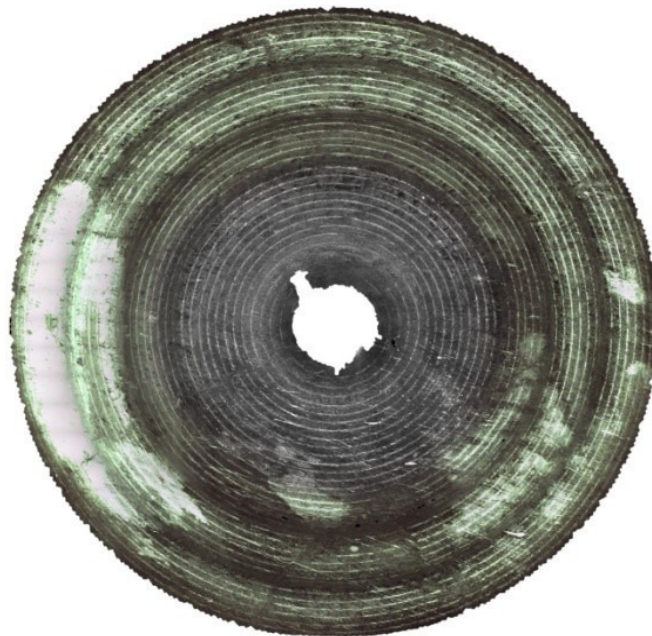


Abbildung 37: Zusammengeführtes Orthofoto von zwei separaten Aufnahmesystemen

5.6.2 Rekonstruktion der Daten einer Farbkamera

Im Laufe der über 20-monatigen Einsatzdauer auf der Baustelle wurden mehrere Kameras und Objektive im Zuge von Ortsbrustaufnahmen getestet. Um eine Unterscheidung verschiedenfarbiger Mineralien in der Ortsbrust zu erkennen, wurde von Seite der Geologen und Geotechnikern vor Ort der Wunsch nach einer Farbkamera geäußert. Es wurde eine baugleiche Farbkamera von Allied Vision zur Aufnahme von polychromen Bildern der Ortsbrust getestet. Ziel dieses Versuches war es eine farbgetreue Abbildung der Ortsbrust und dadurch eine bessere Auswertung durch die Geologen sicherzustellen. In Abbildung 38 ist ein prozessiertes Orthofoto aus den Einzelbildern der getesteten Farbkamera abgebildet. Das Orthofoto zeigt eine stabile Ortsbrust im Quarzphyllit ohne nennenswerte Klüfte oder Diskontinuitäten.



Abbildung 38: Mit Farbkamera prozessiertes Orthofoto

5.6.3 Rekonstruktion der Daten einer Farbkamera mit Schneider-Kreuznach Objektiv

Um weitere Erkenntnisse im Bezug auf unterschiedliche Kamerakonfigurationen zu erhalten, wurde ein zusätzliches Objektiv getestet. Das Objektiv mit der Bezeichnung Cinegon 1.8 stammt von der Firma Jos. Schneider Optische Werke GmbH. Dieses

hochauflösende 3 Megapixel Objektiv hat eine Brennweite von 5,0 mm. Es zeichnet sich durch die Kompaktheit und dadurch geringes Gewicht und der Vibrationsunempfindlichkeit für stabile Abbildungsleistungen aus. Durch die feststellbare Fokus- und Blendeneinstellung ist dieses Objektiv für die Durchführung einer Ortsbrustaufnahme geeignet. Ein Datenblatt des Objektivs befindet sich im Anhang B.

Da die Länge des Objektivs 41 mm beträgt und somit um 2,5 mm länger als das bisher eingesetzte ist, ergibt sich, wie in Abbildung 39 links zu sehen ist, eine Reflexion in der Linse der Kameraeinheit. Diese Reflexion, die sich durch Auslösen des LED-Ringes ergibt, spiegelt sich in einem erhellten Punkt in der Bildmitte wieder. Durch diesen Punkt, der in allen Einzelbildern aller Kamerapositionen vorhanden ist, wird die Auswertung wie die Abbildung 39 rechts zeigt gestört.

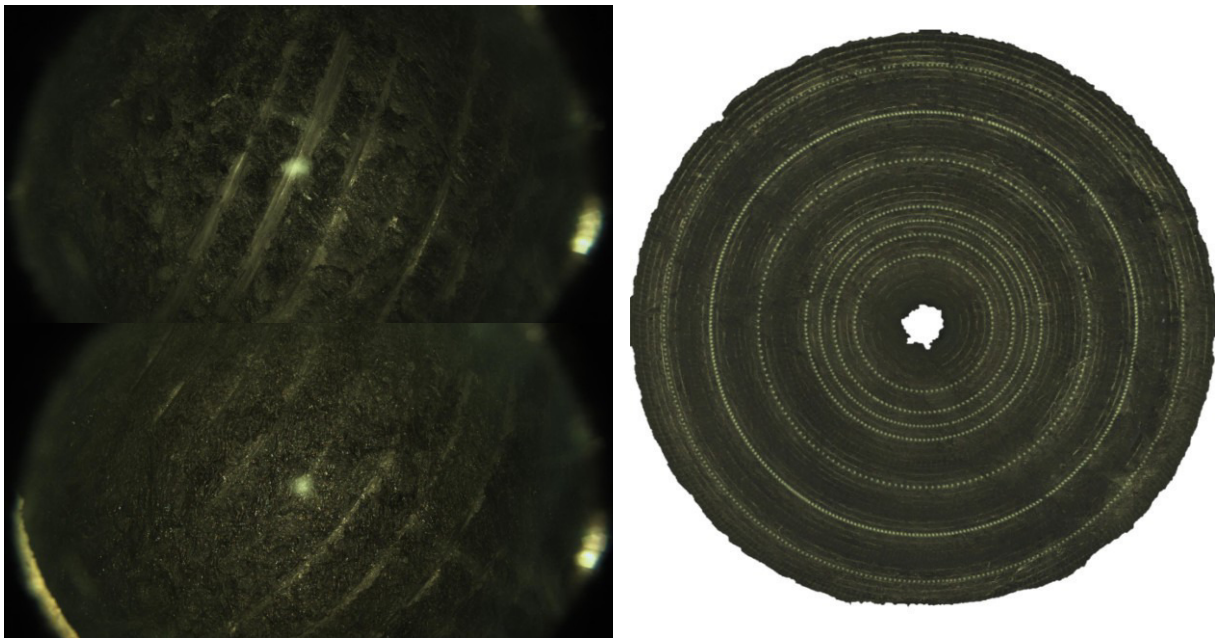


Abbildung 39: links: Einzelbilder der Aufnahme mit Farbkamera und Schneider-Kreuznach Objektiv; rechts: Prozessiertes Orthofoto

Da dieses Objektiv nur zu Testzwecken bereitgestellt wurde, wurde auf eine Adaptierung der Kameraeinheit entsprechend diesem neuen Objektiv verzichtet. Nach einer Ortsbrustaufnahme wurde das Kamerasystem auf die vorherige Konfiguration zurückgesetzt.

5.6.4 Fehlgeschlagene Rekonstruktion durch Beschlagen der Linse

Durch unterschiedliche negative Einflüsse, die weiter oben beschrieben wurden, kann eine Aufnahme und somit anstehende Prozessierung der 3D Rekonstruktion gestört werden. Herrschen nach dem Vortrieb hohe Temperaturen und Luftfeuchtigkeit im Bohrkopfbereich, kann dies zum Beschlagen der Linse während der Ortsbrustaufnahme führen. Wurde die Kameraeinheit in einem solchen Fall nicht vorgewärmt, ist dieser negative Einfluss aufgrund der höheren Temperaturunterschiede zwischen Umgebung und Kamera um ein Vielfaches größer.

Der Einfluss, der sich durch Fehlstellen in dem Orthofoto und der 3D Rekonstruktion bemerkbar macht, ist in Abbildung 40 rechts dargestellt.

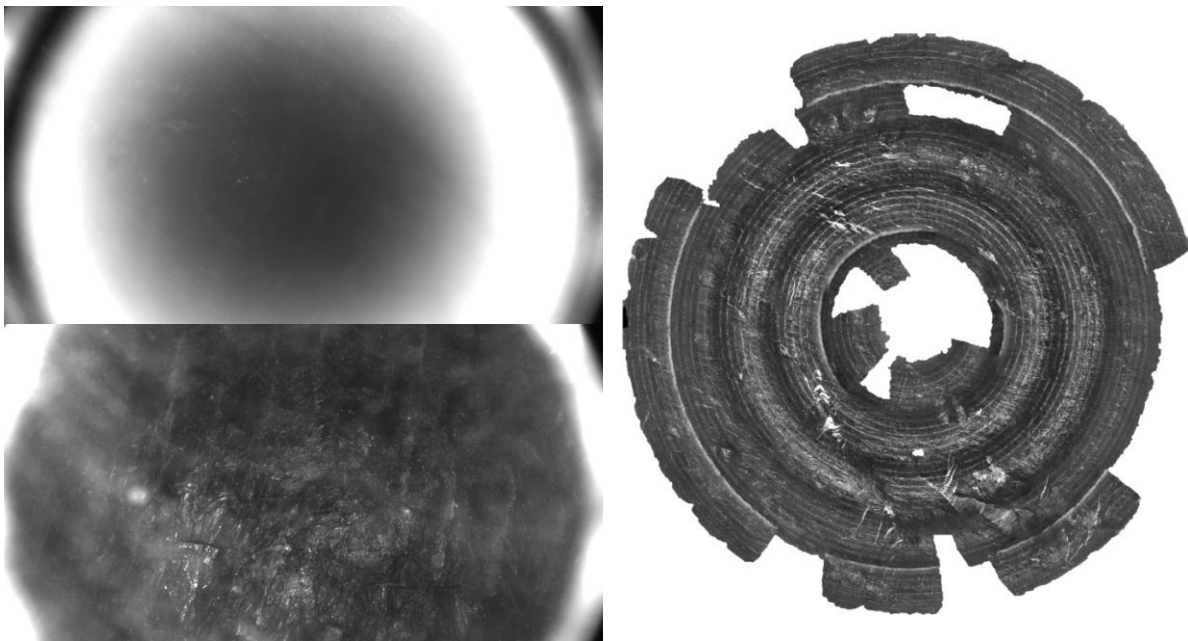


Abbildung 40: links: negativ beeinflusste Einzelbilder durch Beschlagen der Linse; rechts: Rekonstruktion des Orthofotos mit Fehlstellen

5.6.5 Fehlgeschlagene Rekonstruktion infolge erhöhten Staubaufkommens

Eine weitere negative Beeinflussung der Aufnahme ergibt sich durch einen hohen Feinkornanteil des Ausbruchsmaterialies, das eine erhöhte Staubbildung zur Folge hat. Zusätzlich zeichnet sich die Aufnahme, die in Abbildung 41 dargestellt ist, durch eine

instabile Ortsbrust aus. Durch ein Hereinbrechen von Material aus der Ortsbrust musste die Aufnahme nach drei Kamerafahrten aus Sicherheitsgründen abgebrochen werden.

Aufgrund der Volumenvergrößerung zwischen Schneidrad und Ortsbrust, die sich durch deren Teilversagen ergeben hat, wächst die Dichte des Staubs kontinuierlich an. Die instabile Ortsbrust verschwindet bei Antreffen eines solch großräumigen Ausbruches hinter einem Staubschleier. Dieser Schleier in den Einzelbildern wird in Abbildung 41 links dargestellt.

Die lichtstarke Beleuchtung, die durch den LED-Ring vorhanden ist, ist in solchen Fällen nicht nützlich. Angesichts des vermehrten Staubvorkommens kann die Prozessierung zu einer 3D Rekonstruktion trotz des erreichten Ausleuchtungsgrads misslingen (Abbildung 41 rechts). [1]

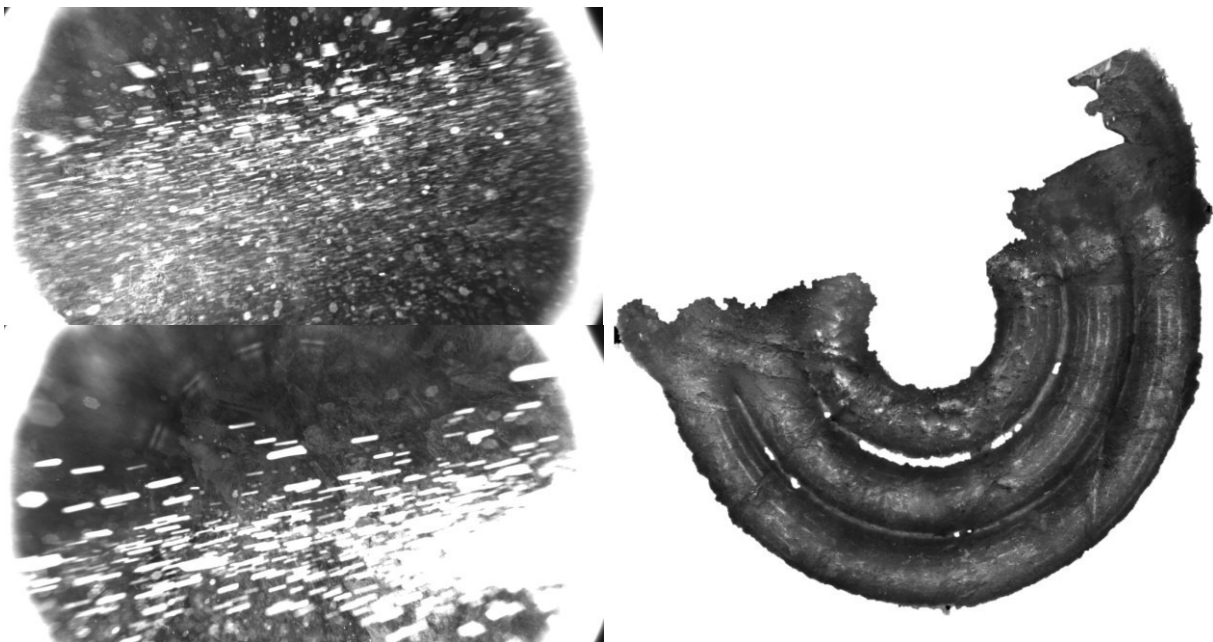


Abbildung 41: links: negativ beeinflusste Einzelbilder infolge des Staubs; rechts: Rekonstruktion des Orthofotos mit Fehlstellen

Die gesamten Prozessierungen aller am Baulos Tulfes-Pfons des Brenner Basistunnel aufgenommenen Ortsbrustbilder sind im Anhang A dargestellt. Es sind die Orthofotos mit den jeweiligen Reliefbildern mit Angabe des Aufnahmedatums und des Tunnelmeters des Bohrkopfes abgebildet.

5.7 Auswertung der digitalen Ortsbrustbilder

Um eine Auswertung einer digitalen Ortsbrustdokumentation durchführen zu können, wird eine CAD Software verwendet. Es sind primär Ausbruchsvolumina und -tiefen sowie Raumstellungen von Diskontinuitäten aus den Ortsbrustaufnahmen messbar. Deren Auswertungen zur Ortsbrustcharakterisierung benutzen die Funktionalitäten der Software AutoCAD oder Civil3D von Autodesk, welche beide für eine umfangreiche Editierbarkeit der Objekte stehen. Die Zusammenschau unterschiedlicher Aufnahmen ist durch das Referenzieren von Punktwolken entsprechend ihren Projektkoordinaten möglich. Damit lassen sich kurz aufeinander folgende Ortsbrustbilder in Vortriebsrichtung einzeln darstellen.

Der Funktionsumfang kann auf Basis der .NET-API, das von AutoCAD bereitgestellt wird, erweitert werden. Mithilfe dieser Schnittstelle wurden Erweiterungen des Funktionsumfangs zu Lagenkugelprojektionen (Abbildung 42) von Trennflächen als Plugin zu AutoCAD hinzugefügt. In den Metadaten von AutoCAD Objekten kann die Art der Diskontinuität (Kluft, Schieferung...) fortdauernd gespeichert werden. [1]

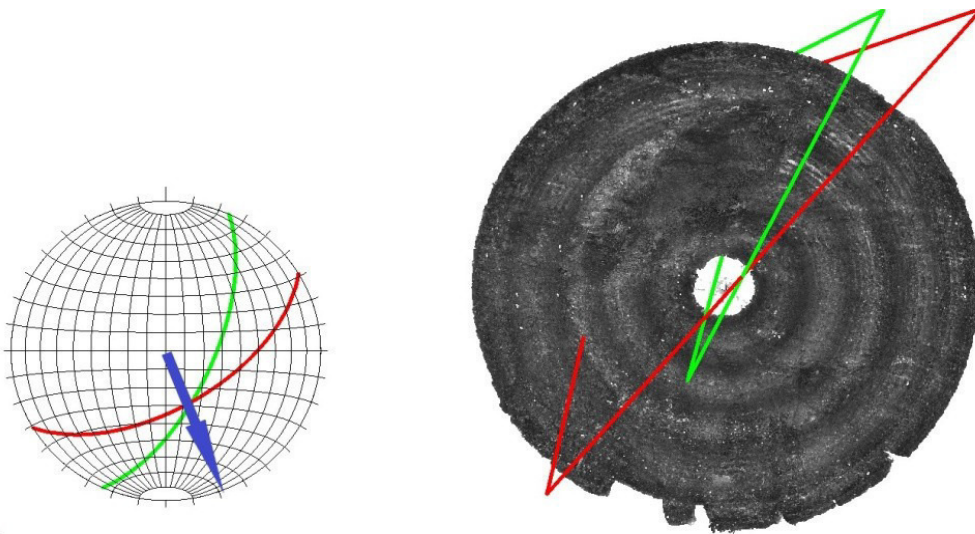


Abbildung 42: : Gegenüberstellung von Lagenkugelrepräsentation einschließlich Vortriebsrichtung (blauer Pfeil) und monochrome 3D-Rekonstruktion

Die in Abbildung 43 links monochrom dargestellte Ortsbrust veranschaulicht einen zirka 8 m³ großen Ausbruch. Der Ausbruch entspricht einem Vorausbrechen der Ortsbrust und keinem Überbruch über das Sollprofil des TBM Vortriebes. Die Reliefdarstellung in Abbildung 43 rechts stellt die Tiefen farbcodiert mit dem dazugehörigen Maßstab dar. Die Fehlstellen die in dieser 3D-Rekonstruktion (Abbildung 43) durch weiße Bereiche sichtbar sind, gehen auf das vermehrt bei der Aufnahme vorkommende Staubaufkommen zurück.

Diese Abbildung zeigt sehr beeindruckend, dass sogar Ausbrüche dieser beträchtlichen Größe dargestellt werden können. Dies ist dem guten Zusammenspiel zwischen Beleuchtung und Kamera mit der fotogrammetrischen Auswertesoftware zu verdanken. [1]

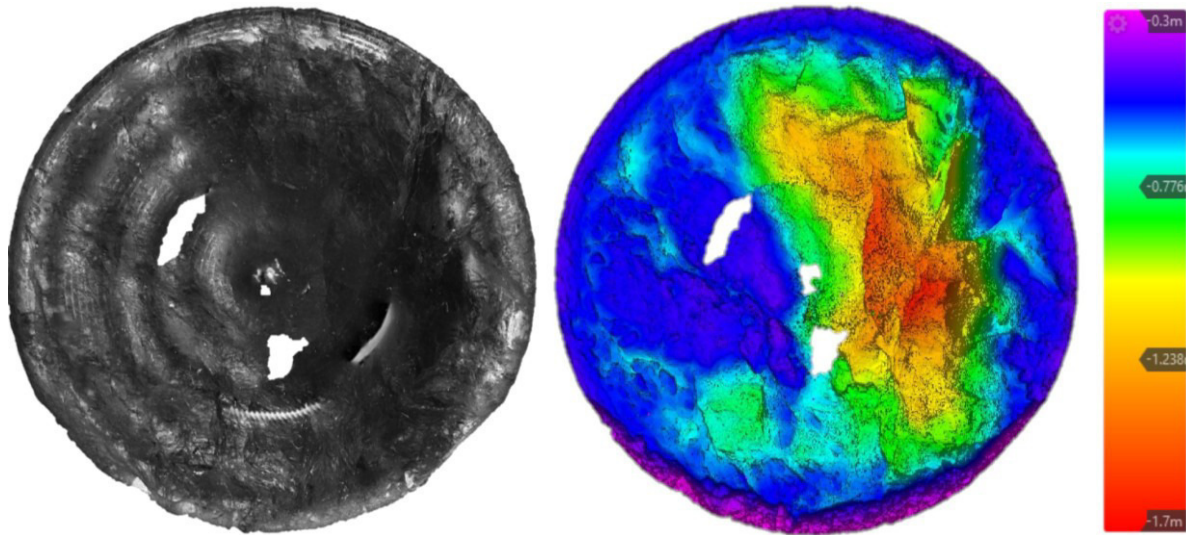


Abbildung 43: ~8 m³ großer Ausbruch, als monochromes Orthofoto links und farbkodiert entsprechend dem Abstand zwischen Bohrkopf und Ortsbrust rechts

Die geologische Kartierung einer Ortsbrust ist durch die Darstellung und Bewertung von Orthofotos objektiver gestalten. Durch diese hochauflösenden Orthofotos können Details erkannt werden (Abbildung 44), die für den Geologen hinter dem Bohrkopf nicht sichtbar sind. [28]

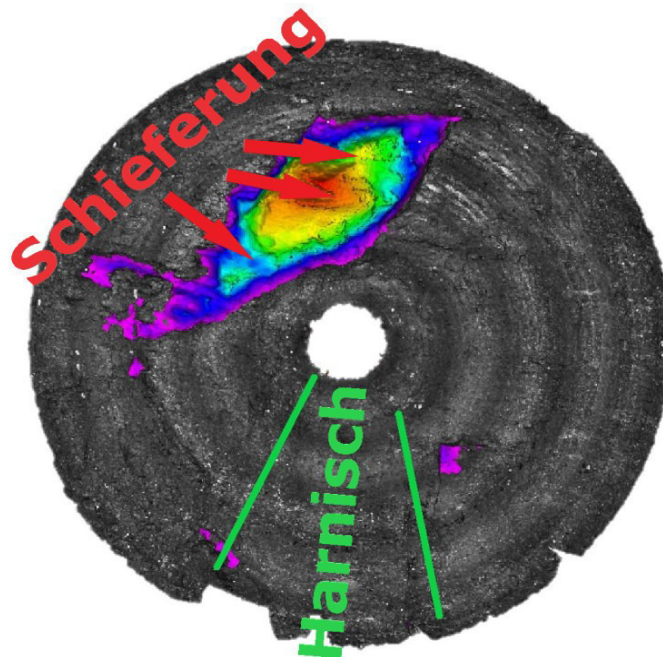


Abbildung 44: Orthofoto mit Darstellung farbcodierter Tiefen eines Ausbruches, Schieferungen und Harnischen

Farbcodierte Reliefdarstellungen können im Überlappungsbereich zwischen Kameraaufnahmen aus unterschiedlichen Positionen auch ringförmige Merkmale, wie in Abbildung 45 links zu sehen ist, umfassen. Diese dunklen und vertieften ringförmigen Zonen können als Zonen mit erhöhter Diskettenkraft fehlinterpretiert werden. Wenn man diese Zonen mit dem dazugehörigen Orthofoto (Abbildung 45 rechts) vergleicht, ist zu erkennen, dass diese Merkmale durch niedrigere Beleuchtung hervorgerufen sind. Durch Verringerung der Abstände der einzelnen Kameraaufnahmen kann dieser Effekt eliminiert werden. Dies hat jedoch zur Folge, dass der Aufnahmeprozess verlängert und somit zeitaufwendiger ist.[28]

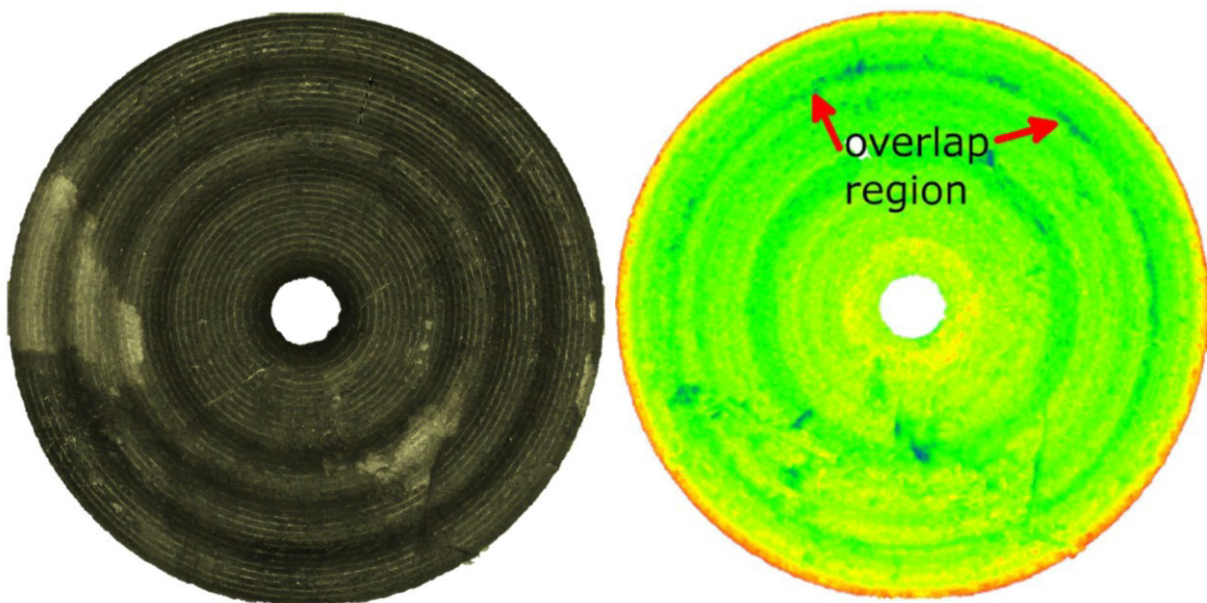


Abbildung 45: rechts: polichromes Orthofoto; links: farbcodierte Reliefdarstellung einer Ortsbrust

6 Schlussfolgerung und Ausblick

Eine ingenieurgeologische kontinuierliche Begleitung beim Tunnelbau ist von wichtiger Bedeutung für einen Vortrieb. Kontinuierliche zeitnahe Aufzeichnungen der Geologie, deren Dokumentation und Klassifikation sind im Tunnelbau unerlässlich, um das bestehende geologische Modell der Einreichplanung laufend zu kontrollieren und zu aktualisieren. Die nachvollziehbare und objektive Dokumentation der Ortsbrust ist grundlegende Aufgabe für die auf der Seite des Auftragnehmer- und Auftraggeber tätigen Geologen. Durch Anerkennen der jeweiligen Dokumentation von beiden Seiten ist eine gleiche Beurteilung der geologischen Verhältnisse möglich. Durch diese Dokumentationen ergibt sich ein transparenteres Verhalten der Ortsbrust und soll somit einen durch weniger Komplikationen behinderten Vortrieb gewährleisten.

Der Informationsgehalt dieser Dokumentation hängt naturgemäß sehr stark von der Möglichkeit der Feldansprache des anstehenden Gebirges ab. Ein direkter und vollflächiger Blick auf die Ortsbrust, wie es in einem zyklischen Vortrieb der Fall ist, erlaubt zwangsläufig eine weitaus eindeutiger Aufnahme als bei einem maschinellen Tunnelvortrieb mit weitgehend geschlossenem Bohrkopf. Der Bohrkopf ist nur mit wenigen kleinen Öffnungen ausgestattet, die einen Blick auf die anstehende Ortsbrust erlauben. Durch diese Sichtbehinderung ist eine geologische Dokumentation der gesamten Ortsbrust erheblich eingeschränkt. Um diese Situation zu verbessern, ist eine Entwicklung neuer Messtechnologien unumgänglich.

Das in dieser Arbeit vorgestellte Kamerasystem hat seine Praxistauglichkeit nach 20-monatigem regelmäßigem Einsatz in einem kontinuierlichen Hartgesteins TBM Vortrieb am Brenner Basistunnel gezeigt. Durch die Montage der Kameraeinheit in den Freiraum der Diskenkästen zeigt sich der Vorteil gegenüber anderen vorhandenen Systemen. Auf Grund dieser Montagemöglichkeit ist kein Mindestabstand zwischen Bohrkopf und Ortsbrust für eine vollflächige Aufnahme nötig. Die Adaption des Systems mit mehreren Kameras ermöglicht eine vollflächige Aufnahme der Ortsbrust mit einer geringeren Anzahl an Umdrehungen des Bohrkopfes. Somit kann der Zeitbedarf, der für die Aufnahme einer Ortsbrust benötigt wird, reduziert werden.

Für die Installation muss weder der Bohrkopf umgebaut oder adaptiert, noch müssen zusätzliche Öffnungen am Schneidrad während der Fertigung eingeplant werden. Durch diese Art der Montage des Aufnahmesystems ist ein flexibler Einsatz möglich. Das bedeutet, dass diese Einheit auf TBMs unterschiedlicher Hersteller und verschiedener Durchmesser eingesetzt werden kann. Aufgrund der Montagefreundlichkeit, des geringen Gewichtes und der einfachen Handhabung ist der Einsatz auf TBMs größerer Durchmesser denkbar.

Es müssen jedoch gewisse Voraussetzungen für eine erfolgreiche Ortsbrustaufnahme erfüllt sein. Da im Zuge eine Aufnahme der Bohrkopf betreten werden muss, ist bei Instabilitäten der Ortsbrust oder der Tunnellaubung bzw. Firste eine Ortsbrustaufnahme nicht durchführbar. Durch Hereinfallen von Ausbruchsmaterial durch die Räumer ist die Arbeitssicherheit für den Bediener des Aufnahmesystems nicht gegeben. Dadurch können großräumige, über den TBM-Querschnitt hinausgehende Versagen der Ortsbrust nicht dokumentiert werden. Ein weiterer Punkt für eine erfolgreich durchgeführte Ortsbrustaufnahme ist die Kommunikation mit dem Auftragnehmer. Aufgrund von fehlenden geplanten Wartungsschichten ist eine gute Koordination aller Beteiligten erforderlich, da durch nebenläufige und konkurrierende Tätigkeiten ein Drehen des Schneidrades und damit eine Ortsbrustaufnahme verhindert werden kann. Durch Meißelkontrolle oder -wechsel, Räumerwechsel, ingenieurgeologischen Ortsbrustkartierung oder anderen konkurrierenden Arbeiten am und im Bohrkopfbereich kann keine Aufnahme durchgeführt werden. Dies ist den engen Platzverhältnissen im Bohrkopf zu Schulden, die kein paralleles Arbeiten zulassen. Auch nebenläufige Tätigkeiten, die den Bohrkopf nur indirekt betreffen, können die Ortsbrustaufnahme verhindern. Arbeiten an der Hydraulik, der Mittel- bzw. Hochspannung oder dem Kühlsystem lassen kein Drehen des Schneidrades zu.

Die Prozessierung der einzelnen aufgenommenen Bilder zu einer 3D-Rekonstruktion und einem hoch aufgelösten Orthofoto (>200 Megapixel) erfolgt ohne Nutzerinteraktion. Die Baustellentauglichkeit ist somit durch diese hohe Automatisierung gegeben. Merkmale wie flächenmäßige Anteile unterschiedlicher in der Ortsbrust vorkommenden Lithologien, Raumstellungen von Trennflächen, der Zerlegungsgrad sowie Ausbruchstiefen und -volumina können mit dieser Rekonstruktion bestimmt werden. Die Auswertung erfolgt mittels einer CAD-Software, in der hier beschriebenen Anwendung mit AutoCAD bzw. Civil3D von Autodesk.

Ein wesentlicher Vorteil eines solchen Systems besteht in der Möglichkeit qualitative Auswertungen, als auch quantitative struktureologische Merkmale einer aufgenommenen Ortsbrust zu analysieren. Aufgrund dieser Vielzahl von Auswertungsmöglichkeiten eignet sich dieses Aufnahmesystem als zusätzliches begleitendes Werkzeug zur Ortsbrustdokumentation im kontinuierlichen Vortrieb.

Zukünftige Entwicklungen könnten im Bohrkopf fix verbaute Kameraeinheiten vorsehen, mit deren Hilfe eine automatische Aufnahme der Ortsbrust während der Wartungsschicht oder eventuellen Stillstandszeiten erfolgt. Dieses System müsste aus mehreren robusten Kameraeinheiten bestehen, um eine vollflächige Ortsbrust aufnehmen zu können. Im Anschluss könnten die Aufnahmen automatisch zu einem vollständigen Ortsbrustbild und einer 3D-Rekonstruktion prozessiert und verteilt werden. Ein weiterer Vorteil solch fix

verbauter Systeme wäre die Möglichkeit, bei Versagen der Ortsbrust dennoch Aufnahmen durchführen zu können, da ein Betreten des Bohrkopfes nicht mehr erforderlich wäre.

In Zukunft könnte eine Ortsbrustaufnahme und die darauf abgebildeten Meißelspuren eine Meißelkontrolle ersetzen. Der Abnutzungsgrad der Schneiden der Rollenmeißel könnte durch die Tiefe der jeweiligen Spuren korreliert und errechnet werden. Dadurch könnte mittels eines Kontrollwertes, ein Wechsel des jeweiligen Rollenmeißels, im TVM-Steuerstand angezeigt werden.

Die Verbindung von Ortsbrustaufnahmen mit weiteren aus anderen Messtechnologien gewonnenen Daten ermöglicht eine Vielzahl von unterschiedlichen Auswertungen. Es wäre zum Beispiel eine Kombination mit dem am Brenner Basistunnel eingesetzten Disc Cutter Load Monitoring System (DCLM) möglich. Dieses System stellt kontinuierliche Messwerte der an den Rollmeißeln auftretenden Kräfte bereit. Durch diese Verbindung der zwei Technologien könnten detaillierte Aussagen über die Ortsbrust und deren Abbaueigenschaften getätigt werden. Des Weiteren könnten weiterführende Prognosen über den Werkzeugverschleiß und Penetration angestellt werden.

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Bohrkopf mit Ansicht gegen die Vortriebsrichtung [2].....</i>	<i>4</i>
<i>Abbildung 2: geologische Ortsbrustdokumentation [4]</i>	<i>5</i>
<i>Abbildung 3: Skandinavien – Mittelmeer Korridor [5].....</i>	<i>6</i>
<i>Abbildung 4: Schematische Nord- Südansicht des Brenner Basistunnel [5]</i>	<i>7</i>
<i>Abbildung 5: Ansicht der Haupttunnelröhren mit Erkundungsstollen und Querschlägen [5]</i>	<i>7</i>
<i>Abbildung 6: Vortriebsgrafik des nördlichen Teils des Bauloses mit aktuellem Vortriebsstand per 21.11.2017 [5]</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 7: Vortriebsgrafik des südlichen Teils des Bauloses mit aktuellem Vortriebsstand per 21.11.2017 [5]</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 8: Vortriebsgrafik Wolf mit aktuellem Vortriebsstand vom 05.09.2016 [5]</i>	<i>11</i>
<i>Abbildung 9: Vortriebsgrafik Mauls mit aktuellem Vortriebsstand per 28.11.2017 [5].....</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 10: Vortriebsgrafik Eisackunterquerung mit aktuellem Vortriebsstand per 28.11.2017 [5]</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 11: Schematischer geologischer Längenschnitt des Brenner Basistunnels [5]</i>	<i>14</i>
<i>Abbildung 12: Projektbereich Tulfes-Pfons [5].....</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 13: Tunnelbohrmaschine Baulos Tulfes-Pfons bei der Werksabnahme.....</i>	<i>18</i>
<i>Abbildung 14: oben: Kameraeinheit mit Gehäuse; links unten: Anschlüsse für Stromversorgung und Datenübertragung; rechts unten: Kameraöffnung mit Linse und LED-Blitzring</i>	<i>20</i>
<i>Abbildung 15: Im Schaltschrank eingebaute Steuereinheit.....</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 16: WPF-Anwendungsfenster zur Erstellung der 3D Positionen</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 17: Kalibrierungsziel auf dem LCD Bildschirm.....</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 18: Agisoft Photoscan mit Userinterface</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 19: Ansicht der Erweiterungen in Civil3D</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 20: Civil3D mit Erweiterungen zu Lagenkugelprojektionen von Trennflächen.....</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 21: links: Stützmitteinbau direkt hinter dem Fingerschild; rechts: Stützmitteinbau im Fingerschild</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 22: Systeminstallation des Aufnahmesystems im Erstversuch</i>	<i>42</i>
<i>Abbildung 23: Geringe Platzverhältnisse zwischen feststehendem Bohrkopf und drehendem Schneidrad</i>	<i>43</i>
<i>Abbildung 24: Einbau als Mehrkamarasystem mit zwei Kameraeinheiten</i>	<i>44</i>
<i>Abbildung 25: links und rechts oben: Halterung für das Kamerasystem; links unten: Halterung im eingebauten Zustand; rechts unten: Halterung inkl. angeschlossener Kameraeinheit</i>	<i>45</i>
<i>Abbildung 26: links: Montageorte der Kameraeinheit entsprechend ihrer Reihenfolge mit 5 Positionen; rechts: mit 4 Positionen.....</i>	<i>47</i>
<i>Abbildung 27: links: Doppeldiskenkasten vor Reinigung; rechts: Steuereinheit im eingebauten Zustand</i>	<i>49</i>
<i>Abbildung 28: links: Diskenkasten mit Material zugesetzt; rechts: Diskenkasten nach Entfernung des Materials</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 29: Einbau als zuletzt verwendetes Einkamerasystem</i>	<i>50</i>

<i>Abbildung 30: Drehzahl-Minuten Diagramm zur Darstellung der Gesamtzeit einer Ortsbrustaufnahme mit 4 Positionen</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 31: Drehzahl-Minuten Diagramm zur Darstellung der Gesamtzeit einer Ortsbrustaufnahme mit 5 Positionen</i>	<i>53</i>
<i>Abbildung 32: Drehzahl-Minuten Diagramm mit Verzögerung durch Beschlagen der Linse und Staub</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 33: links: Gestörtes Einzelbild einer Aufnahmereihe durch Beschlagen der Linse; rechts Behinderung der Aufnahme durch Staubbildung</i>	<i>55</i>
<i>Abbildung 34: Serie von Einzelbildern die zu einer vollständigen Ortsbrust zusammengefügt werden</i>	<i>56</i>
<i>Abbildung 35: Generiertes Orthofoto der gesamten Einzelaufnahmen</i>	<i>56</i>
<i>Abbildung 36: Orthofoto mit einer Aufnahmekonfiguration von 5 Kamerapositionen links und von 4 Positionen rechts.....</i>	<i>57</i>
<i>Abbildung 37: Zusammengefügtes Orthofoto von zwei separaten Aufnahmesystemen.....</i>	<i>58</i>
<i>Abbildung 38: Mit Farbkamera prozessiertes Orthofoto</i>	<i>59</i>
<i>Abbildung 39: links: Einzelbilder der Aufnahme mit Farbkamera und Schneider-Kreuznach Objektiv; rechts: Prozessiertes Orthofoto</i>	<i>60</i>
<i>Abbildung 40: links: negativ beeinflusste Einzelbilder durch Beschlagen der Linse; rechts: Rekonstruktion des Orthofotos mit Fehlstellen.....</i>	<i>61</i>
<i>Abbildung 41: links: negativ beeinflusste Einzelbilder infolge des Staubs; rechts: Rekonstruktion des Orthofotos mit Fehlstellen.....</i>	<i>62</i>
<i>Abbildung 42: : Gegenüberstellung von Lagenkugelrepräsentation einschließlich Vortriebsrichtung (blauer Pfeil) und monochrome 3D-Rekonstruktion.....</i>	<i>63</i>
<i>Abbildung 43: ~8 m³ großer Ausbruch, als monochromes Orthofoto links und farbkodiert entsprechend dem Abstand zwischen Bohrkopf und Ortsbrust rechts</i>	<i>64</i>
<i>Abbildung 44: Orthofoto mit Darstellung farbcodierter Tiefen eines Ausbruches, Schieferungen und Harnischen</i>	<i>64</i>
<i>Abbildung 45: rechts: polychromes Orthofoto; links: farbcodierte Reliefdarstellung einer Ortsbrust</i>	<i>65</i>
<i>Abbildung A 1: 04.08.2017; TM 7756,55</i>	<i>76</i>
<i>Abbildung A 2: 20.07.2017; TM 7369,48</i>	<i>76</i>
<i>Abbildung A 3: 18.07.2017; TM 7296,76</i>	<i>77</i>
<i>Abbildung A 4: 26.06.2017; TM 7057,92</i>	<i>77</i>
<i>Abbildung A 5: 23.06.2017; TM 6984,88</i>	<i>78</i>
<i>Abbildung A 6: 21.06.2017; TM 6947,77</i>	<i>78</i>
<i>Abbildung A 7: 18.05.2017; TM 6010,51</i>	<i>79</i>
<i>Abbildung A 8: 13.05.2017; TM 5820,02</i>	<i>79</i>
<i>Abbildung A 9: 11.05.2017; TM 5766,03</i>	<i>80</i>
<i>Abbildung A 10: 10.05.2017; TM 5742,35</i>	<i>80</i>
<i>Abbildung A 11: 28.04.2017; TM 5562,75</i>	<i>81</i>
<i>Abbildung A 12: 13.04.2017; TM 5282,90</i>	<i>81</i>
<i>Abbildung A 13: 04.04.2017; TM5037,40</i>	<i>82</i>
<i>Abbildung A 14: 30.03.2017; TM 4913,30</i>	<i>82</i>
<i>Abbildung A 15: 28.03.2017, TM 4832,26</i>	<i>83</i>
<i>Abbildung A 16: 08.02.2017; TM 3874,18</i>	<i>83</i>

<i>Abbildung A 17: 07.12.2016; TM 3634,28</i>	84
<i>Abbildung A 18: 03.12.2016; TM 3579,99</i>	84
<i>Abbildung A 19: 30.11.2016; TM3528,89</i>	85
<i>Abbildung A 20: 21.11.2016; TM 3433,27</i>	85
<i>Abbildung A 21: 15.11.2016; TM 3342,37</i>	86
<i>Abbildung A 22: 09.10.2016; TM 2595,32</i>	86
<i>Abbildung A 23: 07.09.2016; TM 2258,54</i>	87
<i>Abbildung A 24: 03.08.2016; TM 2112,15</i>	87
<i>Abbildung A 25: 02.07.2016; TM 1858,87</i>	88
<i>Abbildung A 26: 30.06.2016; TM 1811,60</i>	88
<i>Abbildung A 27: 16.06.2016; TM 1590,44</i>	89
<i>Abbildung A 28: 19.05.2016; TM 1158,54</i>	89
<i>Abbildung A 29: 08.04.2016; TM 1007,53</i>	90
<i>Abbildung A 30: 25.03.2016; TM 1007,53</i>	90
<i>Abbildung A 31: 15.03.2016; TM 955,12</i>	91
<i>Abbildung A 32: 04.01.2016; TM 554,45</i>	91

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Auflistung von AutoCAD Versionen mit den jeweiligen .NET Frameworks [22]</i>	32
--	----

Literaturverzeichnis

- [1] R. Wenighofer, G. Six, R. Galler und K. Chmelina, „Ortsbrustkameras zur digitalen geologischen 3D-Dokumentation aus dem Bohrkopf von TBM-Stand der Entwicklungsarbeiten,“ *Geomechanik und Tunnelbau*, pp. 760-766, 11 2017.
- [2] Herrenknecht AG, *S-932 Ansicht gegen Vortriebsrichtung*, 2015.
- [3] W. Fuerlinger, F. Weichenberger, P. Leblhuber und G. Amann, „GIS-Anwendung und baugelogeische Erfahrungen,“ *Felsbau Magazin*, pp. 324-330, 2008.
- [4] AG.TB, ARGE Geologie Tulfes-Pfons; BBT SE, *Einvernehmlicher Baugelogeischer Befund*, 2017.

- [5] BBT SE, [Online]. Available: <https://www.bbt-se.com/information/mediathek/>. [Zugriff am 11 2017].
- [6] BBT SE, „Der Brenner Basistunnel - ein neuer Verbindungsweg durch die Alpen,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.bbt-se.com/fileadmin/broschueren/2017/allgemein/november-de/>. [Zugriff am 11 2017].
- [7] BBT SE, „Projektbereich Innsbruck,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.bbt-se.com/fileadmin/broschueren/2017/innsbruck/index.html>. [Zugriff am 11 2017].
- [8] BBT SE, „Projektbereich Steinach am Brenner,“ 2012. [Online]. Available: <https://www.bbt-se.com/fileadmin/broschueren/2012-08/index.html>. [Zugriff am 11 2017].
- [9] BBT SE, 18 04 2017. [Online]. Available: <https://www.bbt-se.com/information/news/detail/news/angebotsabgabe-zum-groessten-baulos-des-brenner-basistunnels/>. [Zugriff am 28 12 2017].
- [10] BBT SE, „Projektbereich Mauis,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.bbt-se.com/fileadmin/broschueren/2017/mauis-09/index.html>. [Zugriff am 11 2017].
- [11] BBT SE, „Projektbereich Eisackunterquerung,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.bbt-se.com/fileadmin/broschueren/2017/eisackunterquerung/index.html>. [Zugriff am 11 2017].
- [12] K. Bergmeister und A. Töchterle, „Brenner Basistunnel: Wichtigkeit der Vorerkundung,“ *Tunnel*, pp. 12-23, 1 2013.
- [13] BBT SE, „Geologisch - hydrogeologische Prognose Erkundungsstollen Ahrental,“ 2013.
- [14] Allied Vision Technologies GmbH, „Datenblatt Prosilica GT 2000,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.alliedvision.com/de/produkte/kameras/kameradetails/Prosilica%20GT/2000.html>. [Zugriff am 18 12 2017].

- [15] Allied Vision Technologies GmbH, „Sehen, was kommt. Kamerasystem eröffnet Tunnelbohrmaschinen ganz neue Sichtweisen,“ 27 06 2017. [Online]. Available: <https://www.alliedvision.com/de/news/detail/news/see-whats-next-camera-system-gives-tunneling-machines-new-sights.html>. [Zugriff am 11 2017].
- [16] Gardasoft Vision Ltd., „User manual PP520 LED Lighting Controllers,“ 08 04 2017. [Online]. Available: <http://www.gardasoft.com/de/LED-Steuerungen/RT-PP/PP500.aspx>. [Zugriff am 11 2017].
- [17] Wikipedia, Die freie Enzyklopädie., „.NET,“ 15 12 2017. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=.NET&oldid=171992797>. [Zugriff am 18 12 2017].
- [18] Allied Vision Technologies GmbH, „GigE Features Reference V5.3.2,“ 2017.
- [19] A. Kühnel, C# 6 mit Visual Studio 2015, Rheinwerk Computing, 2016, p. 1482.
- [20] R. Wenighofer, *Entwicklung von Messsystemen zur geologischen 3D-Dokumentation der Ortsbrust und zur Tübbingdeformationsanalyse im maschinellen Tunnelbau. Dissertation*, Montanuniversität Leoben, 2018.
- [21] AgiSoft LLC , „Agisoft Lens User Manual: Version 0.4.0,“ 2011.
- [22] Autodesk Inc., „Managed .NET-Kompatibilität,“ 01 12 2017. [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/de/search-result/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/DEU/AutoCAD-Customization/files/GUID-A6C680F2-DE2E-418A-A182-E4884073338A-htm.html>. [Zugriff am 28 12 2017].
- [23] BBT SE, *Ausschreibung Ausbau Eisenbahnachse München-Verona Brenner Basistunnel, Teil C3: Technische Vertragsbestimmungen EKS Ahrental, TVM Vortrieb*, 2013.
- [24] BBT SE, *Ausschreibung Ausbau Eisenbahnachse München-Verona Brenner Basistunnel, Teil C, Anhang 03, TV Untertage - kontinuierlicher Vortrieb*, 2016.
- [25] BBT SE, *Ausschreibung Ausbau Eisenbahnachse München-Verona Brenner Basistunnel, Teil C, Anhang 07, Technische Vertragsbestimmungen Geotechnische Messungen*, 2016.

- [26] R. J. Plinninger, P. Sommer und G. Poscher, „On the role of the Engineering Geologist in the Construction Phase of Challenging Tunnel Projects,“ in s *World Tunnel Congress 2017*, Bergen, Norway, 2017.
- [27] R. J. Plinninger, Interviewee, *Anforderungen an ein kamerabasiertes Aufnahmesystem*. [Interview]. 06 01 2018.
- [28] R. Wenighofer und R. Galler, „Digitale Ortsbrustbilder mittels Kamerabefahrung eines TBM-Bohrkopfs,“ *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, pp. 568-572, 11 2017.

Anhänge

Anhang A: Darstellungen aller aufgenommenen Ortsbrustbilder

Anhang B: Datasheet Allied Vision Prosilica GT2000
Specificaton Sheet PP520 - LED Lighting Controller
Datasheet 2/3inch Format High resolution 5 Megapixel Lenses
Datasheet 3 Mega-Pixel Lens Cinegon 1.8/4.8-0902

Anhang A: Darstellungen aller aufgenommenen Ortsbrustbilder

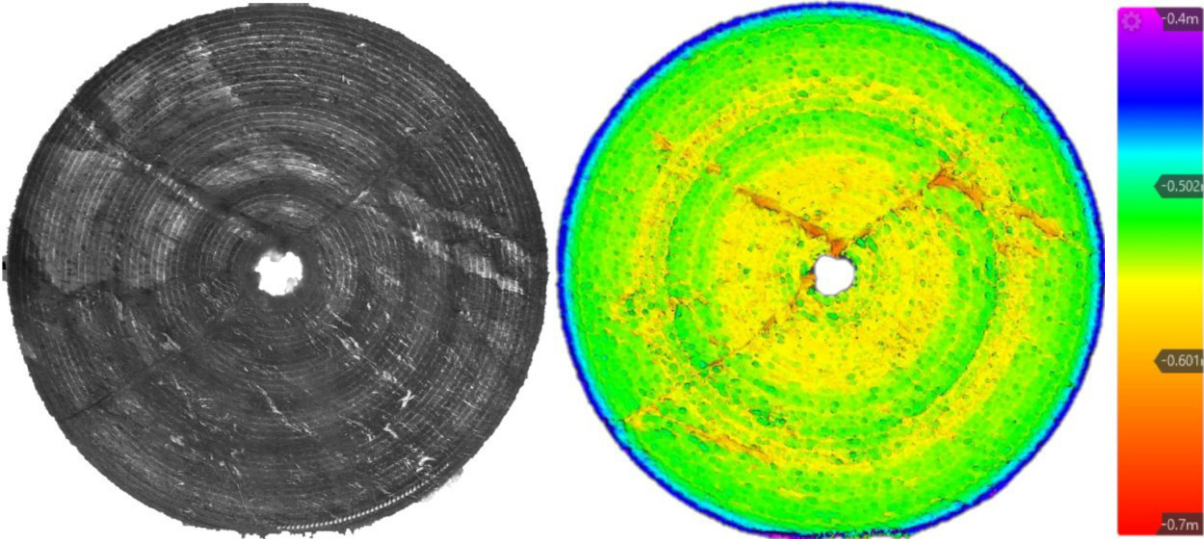


Abbildung A 1: 04.08.2017; TM 7756,55

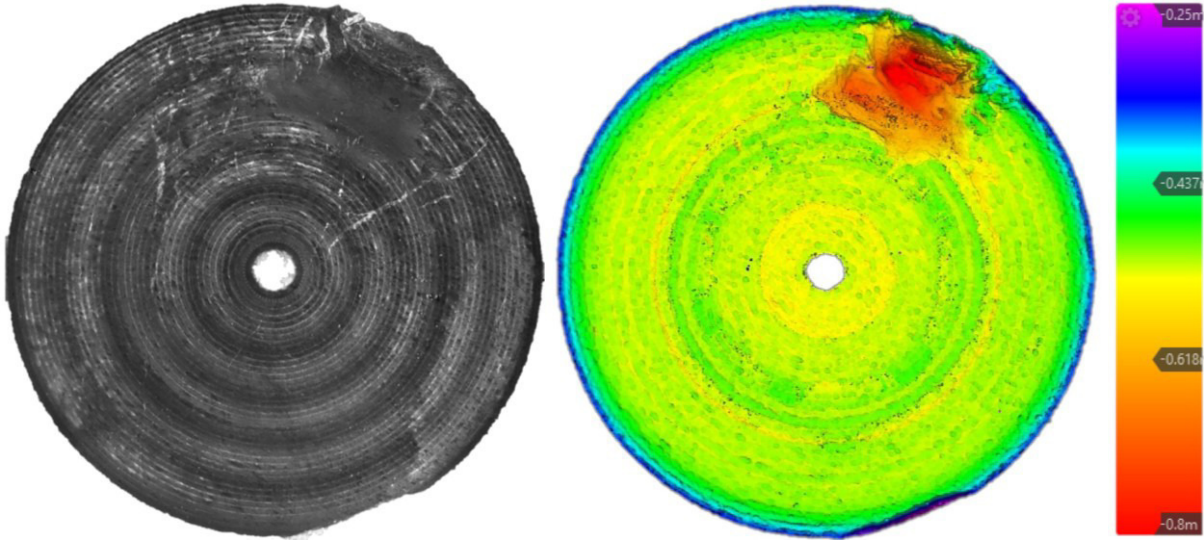


Abbildung A 2: 20.07.2017; TM 7369,48

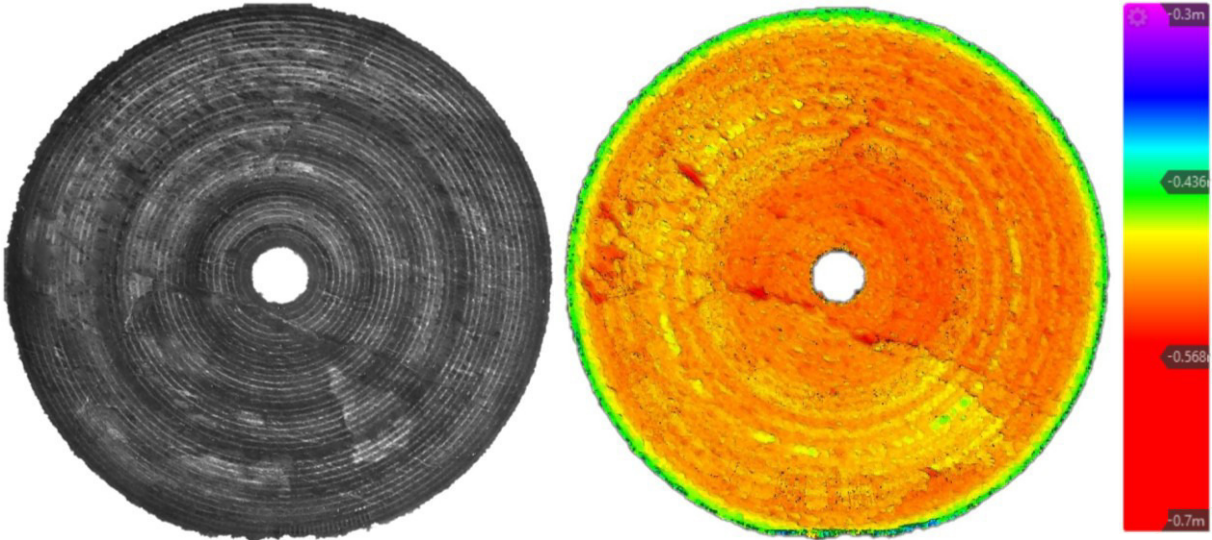


Abbildung A 3: 18.07.2017; TM 7296,76

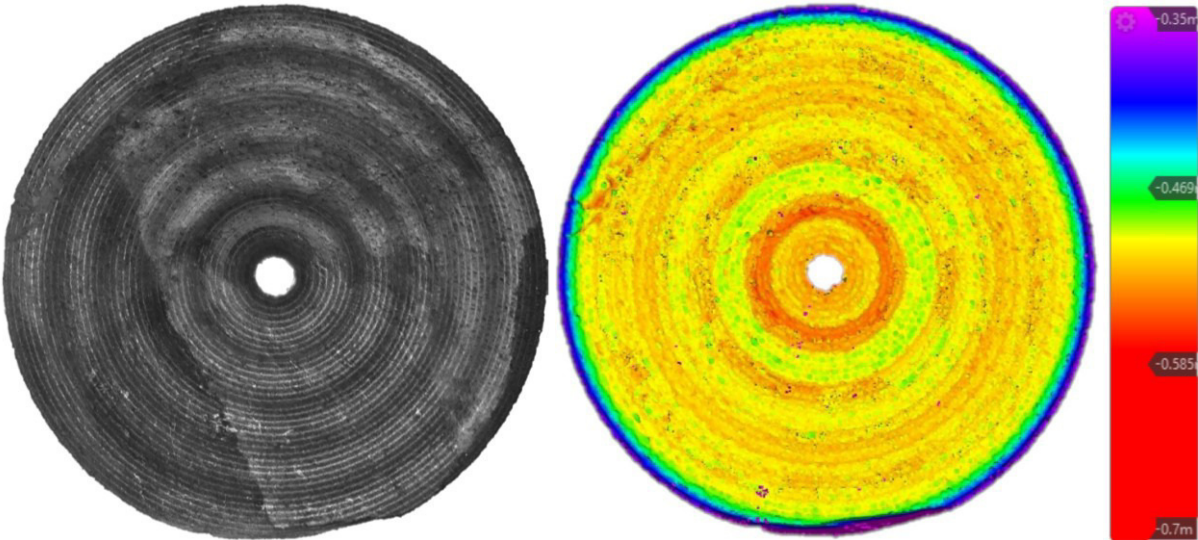


Abbildung A 4: 26.06.2017; TM 7057,92

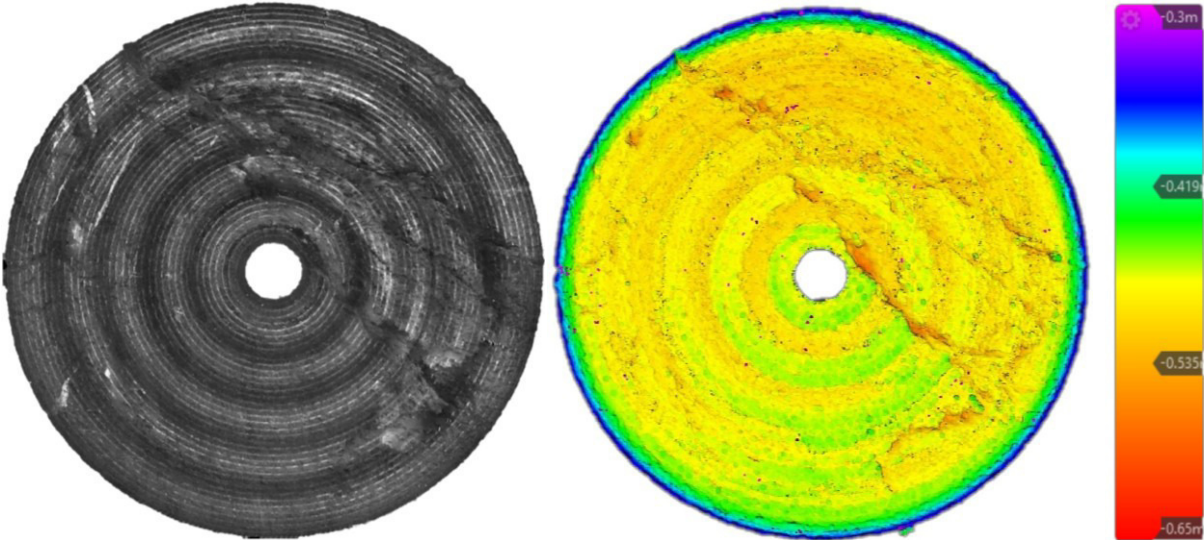


Abbildung A 5: 23.06.2017; TM 6984,88

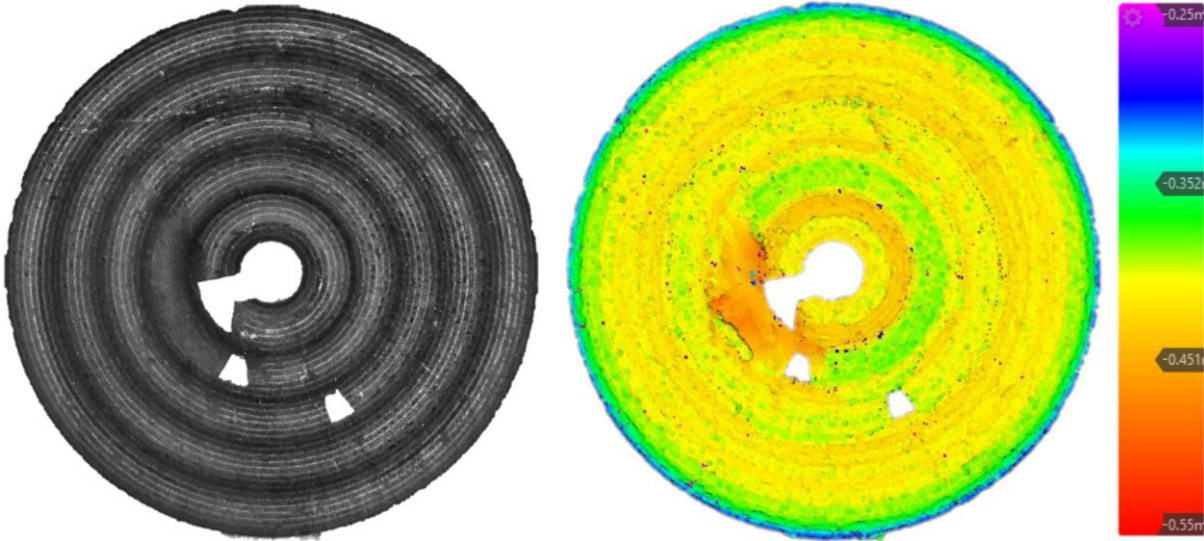


Abbildung A 6: 21.06.2017; TM 6947,77

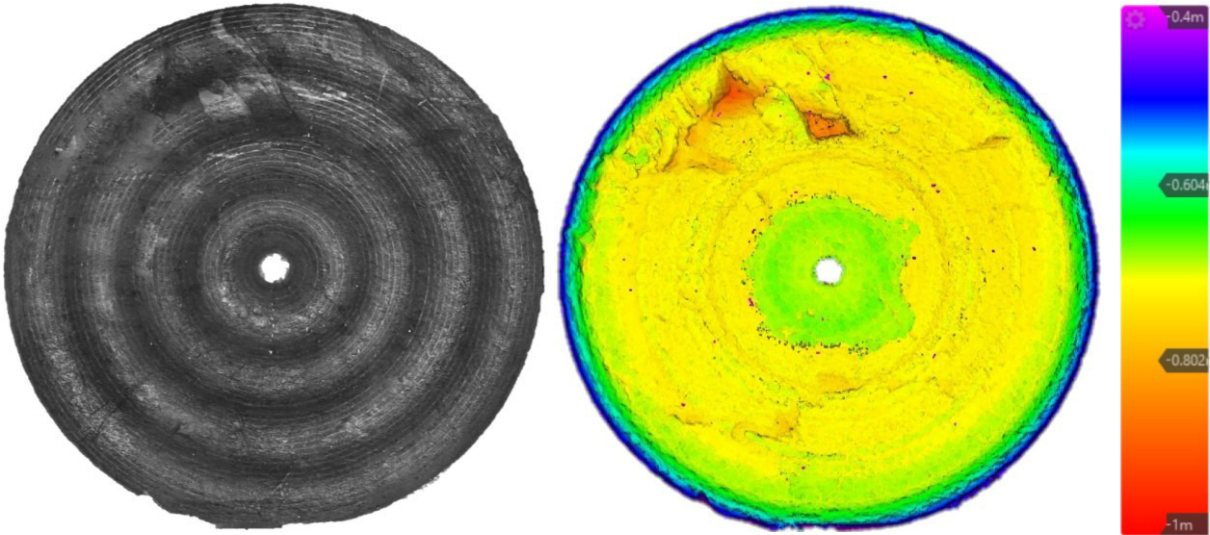


Abbildung A 7: 18.05.2017; TM 6010,51

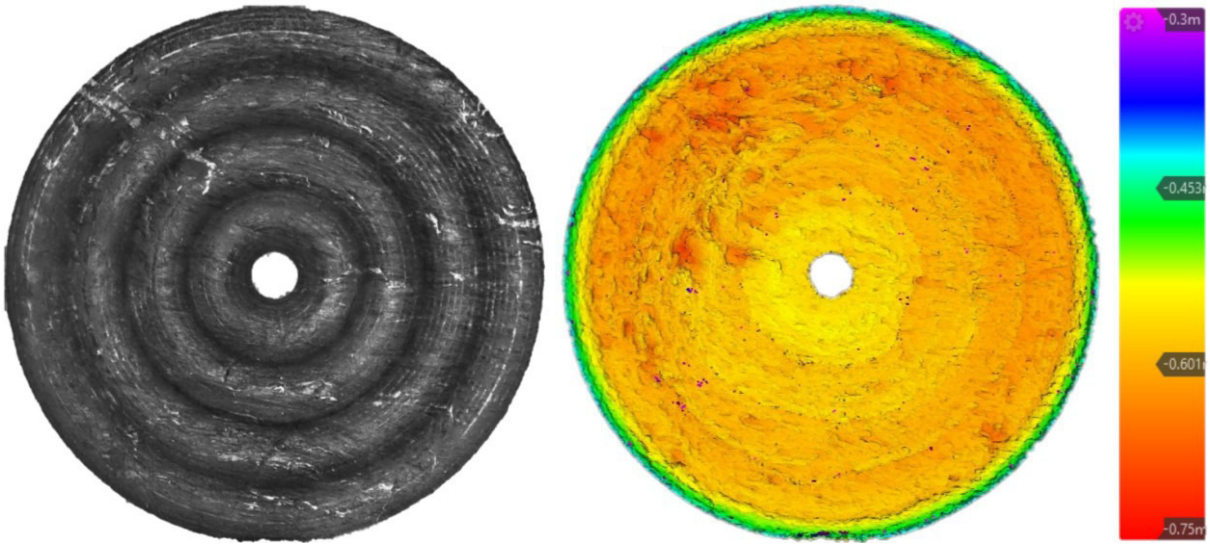


Abbildung A 8: 13.05.2017; TM 5820,02

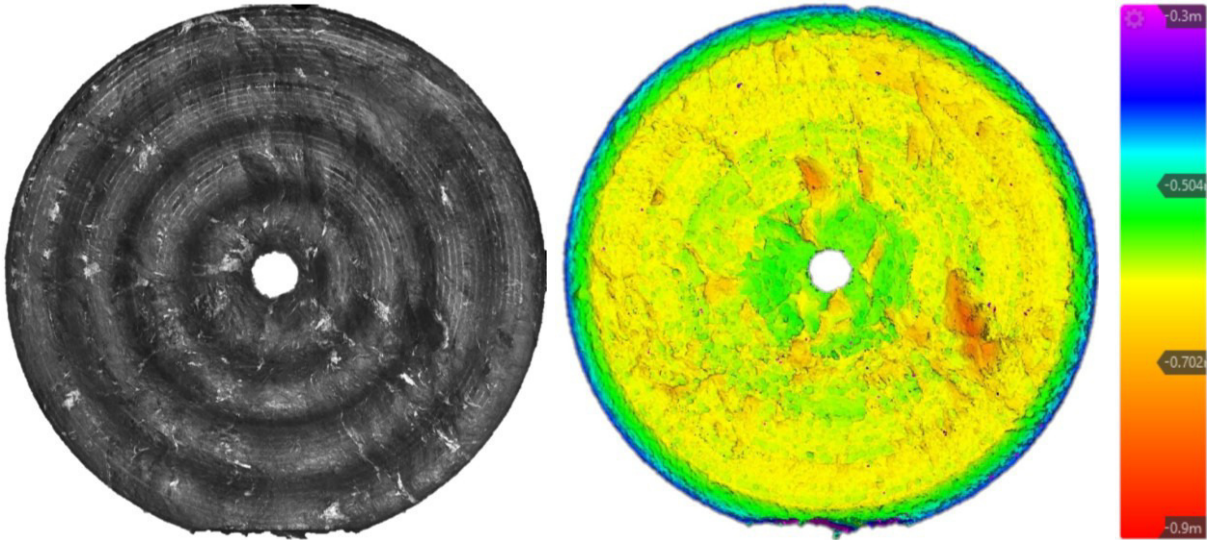


Abbildung A 9: 11.05.2017; TM 5766,03

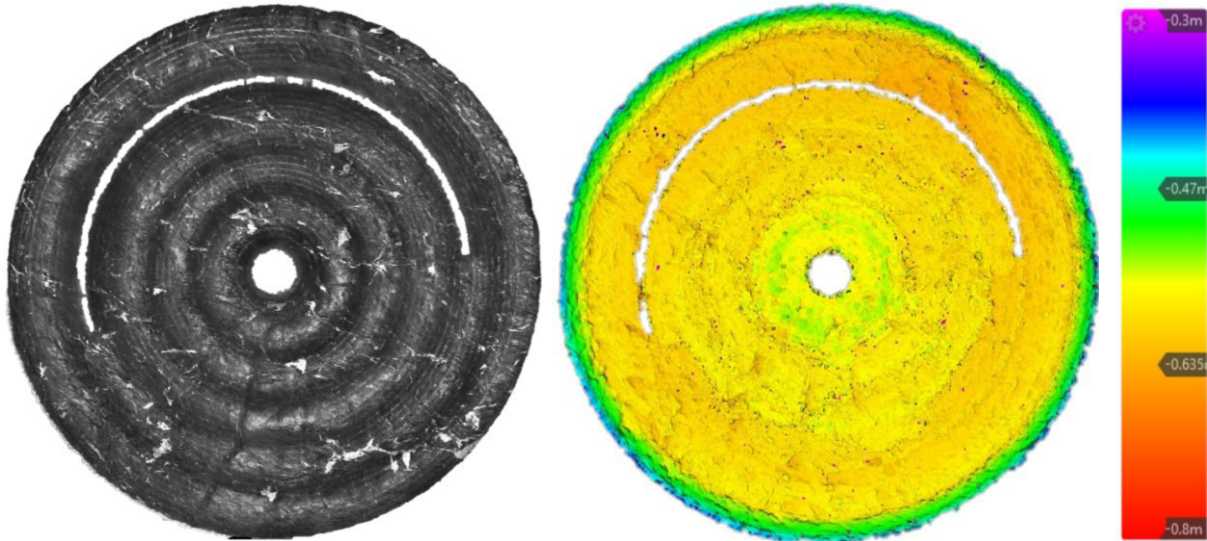


Abbildung A 10: 10.05.2017; TM 5742,35

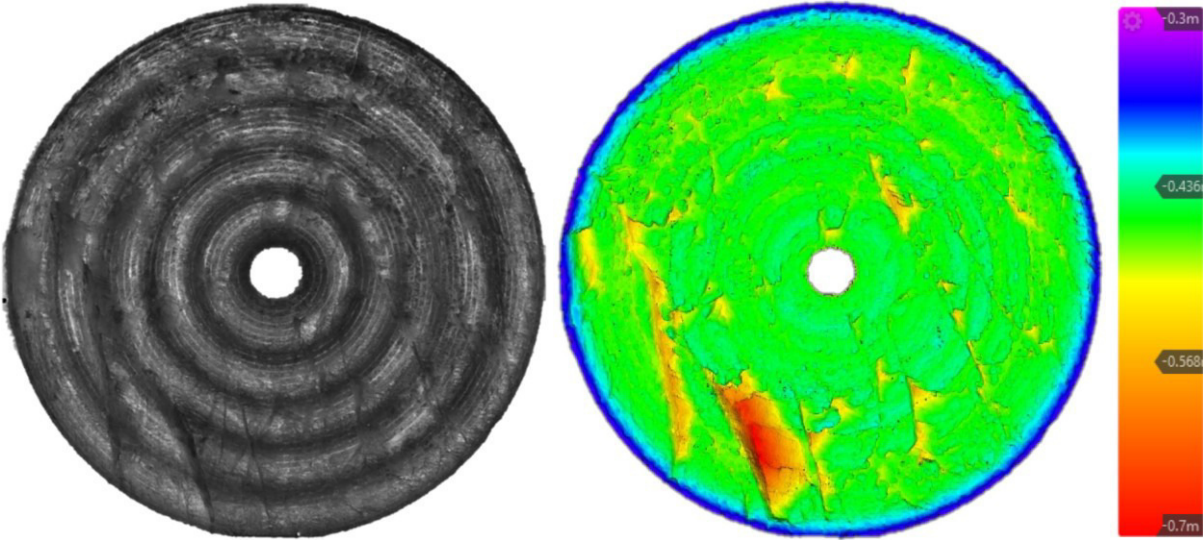


Abbildung A 11: 28.04.2017; TM 5562,75

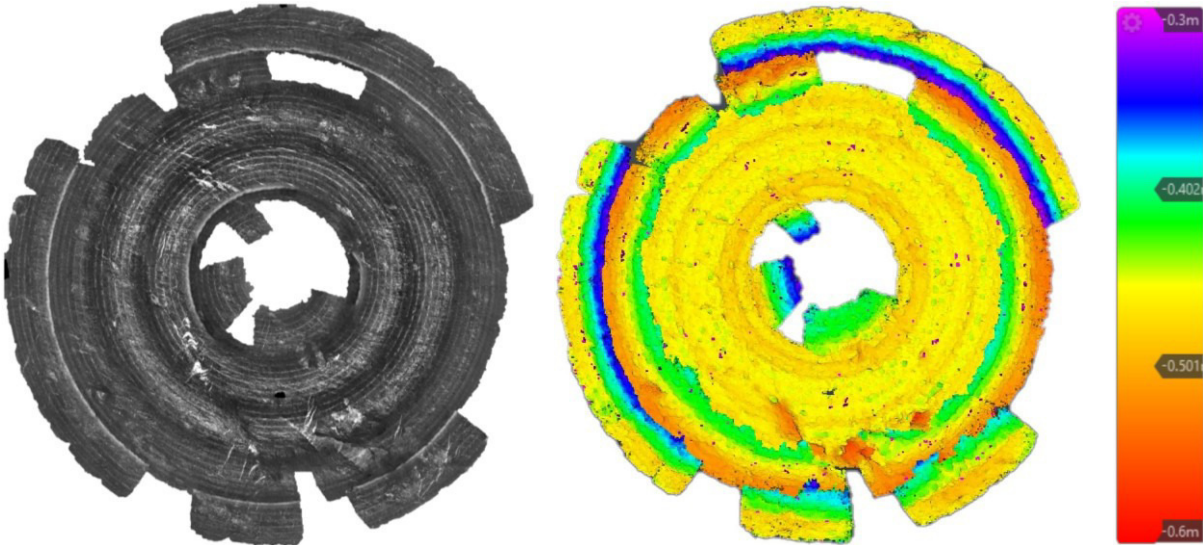


Abbildung A 12: 13.04.2017; TM 5282,90

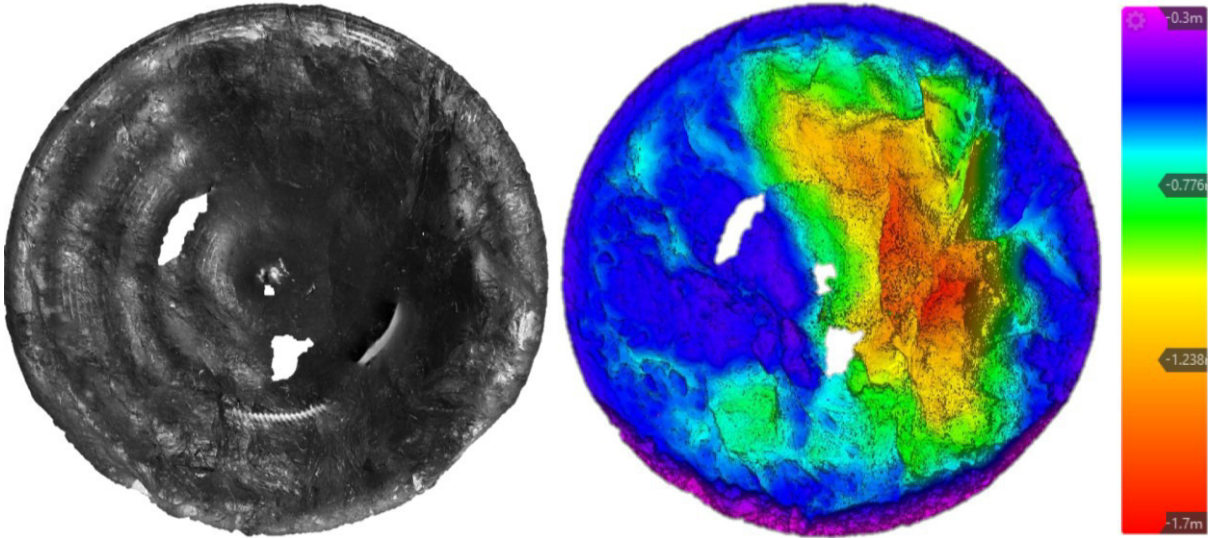


Abbildung A 13: 04.04.2017; TM5037,40

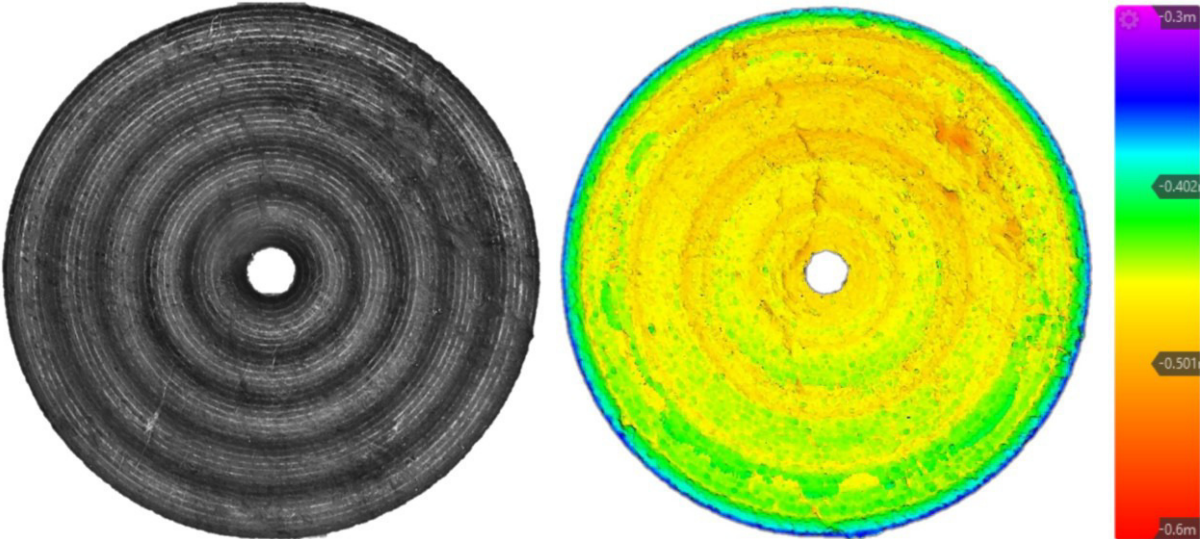


Abbildung A 14: 30.03.2017; TM 4913,30

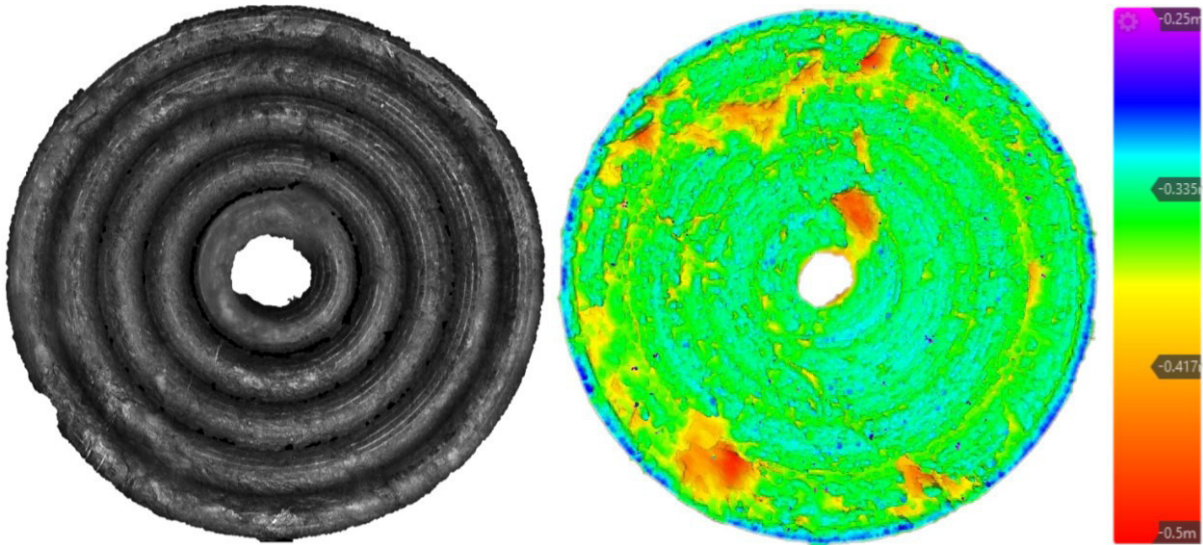


Abbildung A 15: 28.03.2017, TM 4832,26

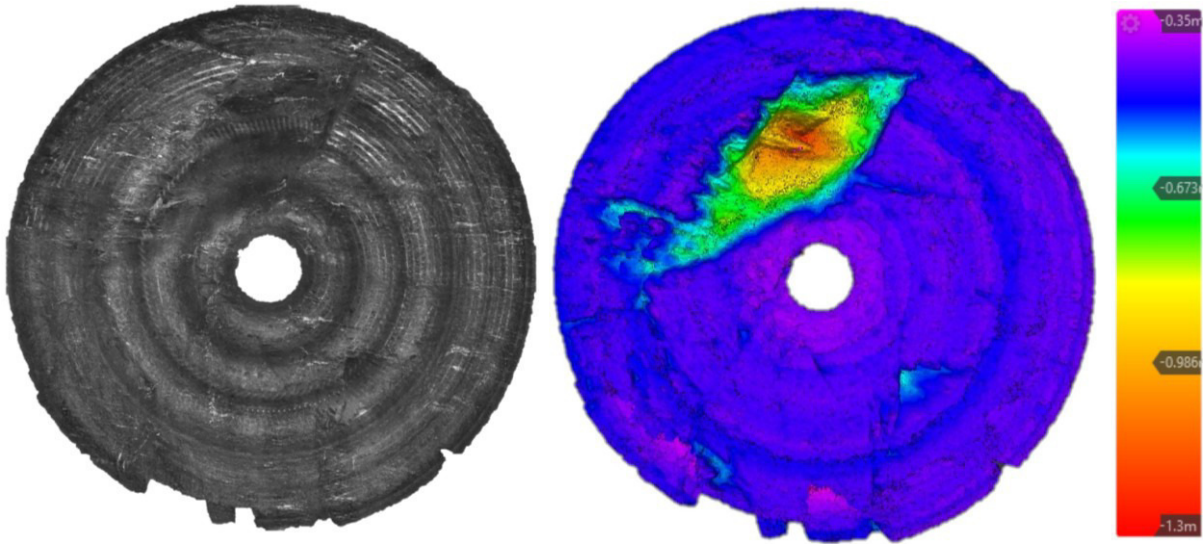


Abbildung A 16: 08.02.2017; TM 3874,18

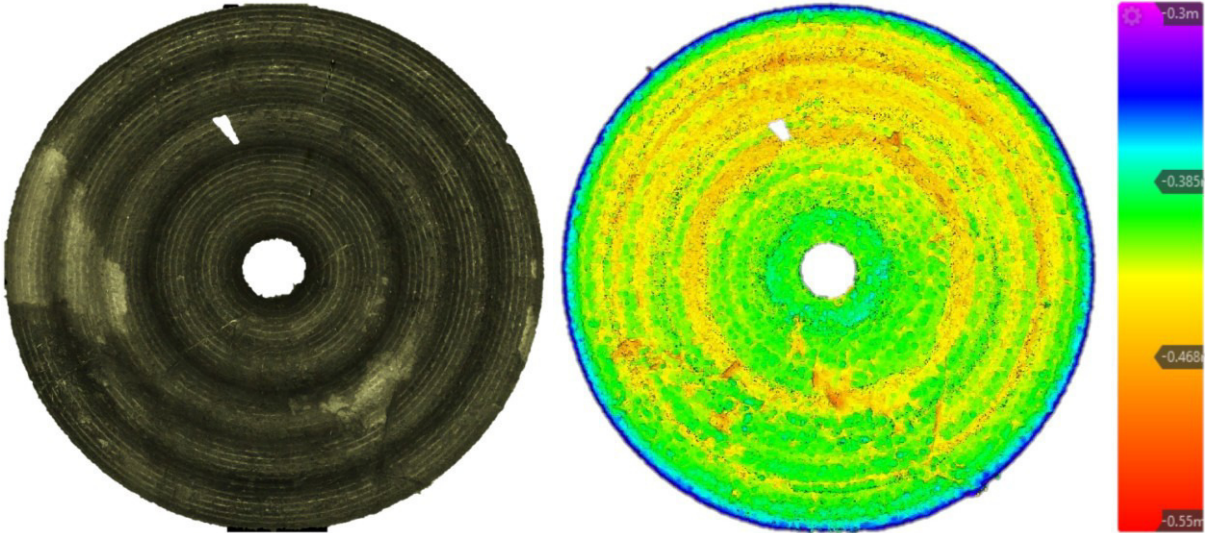


Abbildung A 17: 07.12.2016; TM 3634,28

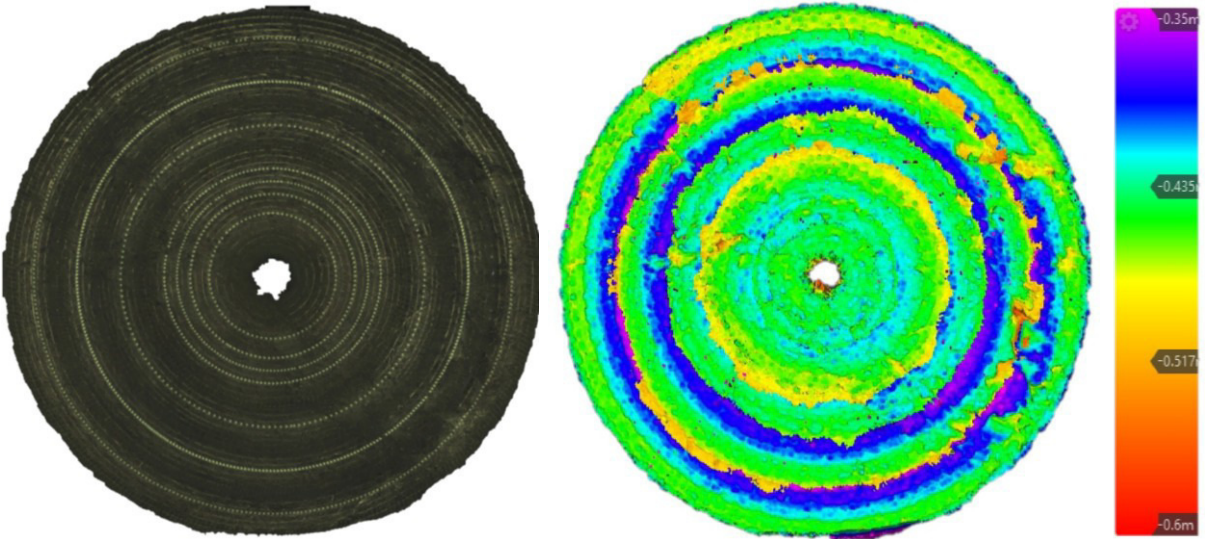


Abbildung A 18: 03.12.2016; TM 3579,99

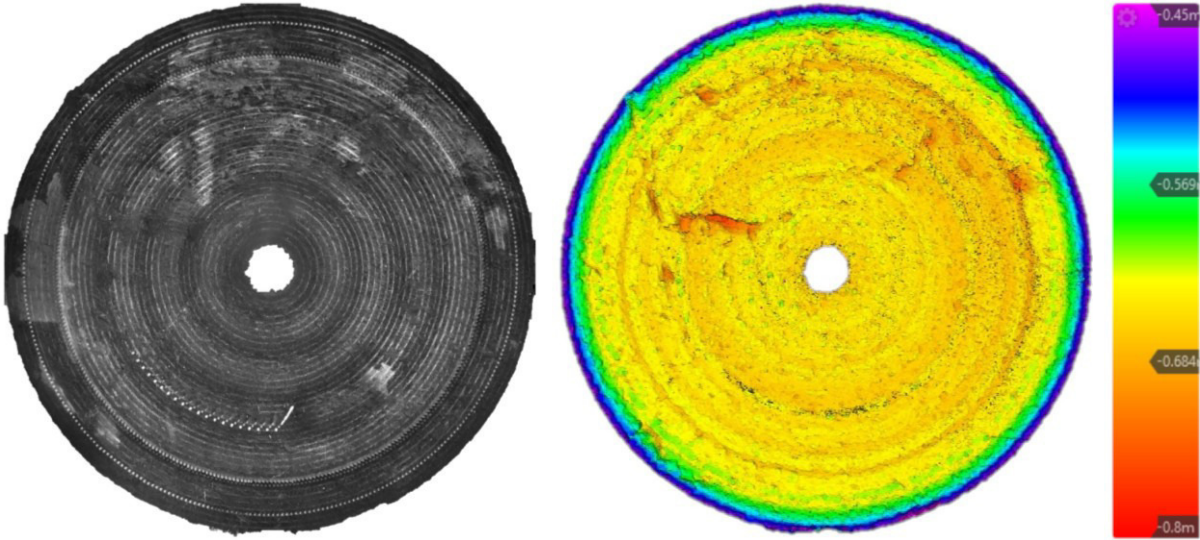


Abbildung A 19: 30.11.2016; TM3528,89

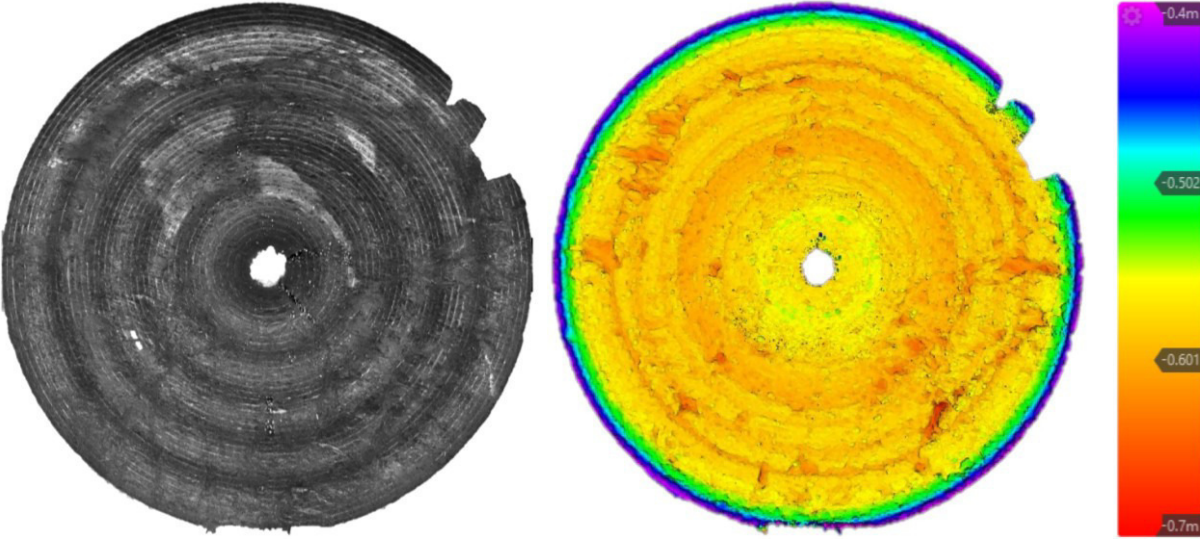


Abbildung A 20: 21.11.2016; TM 3433,27

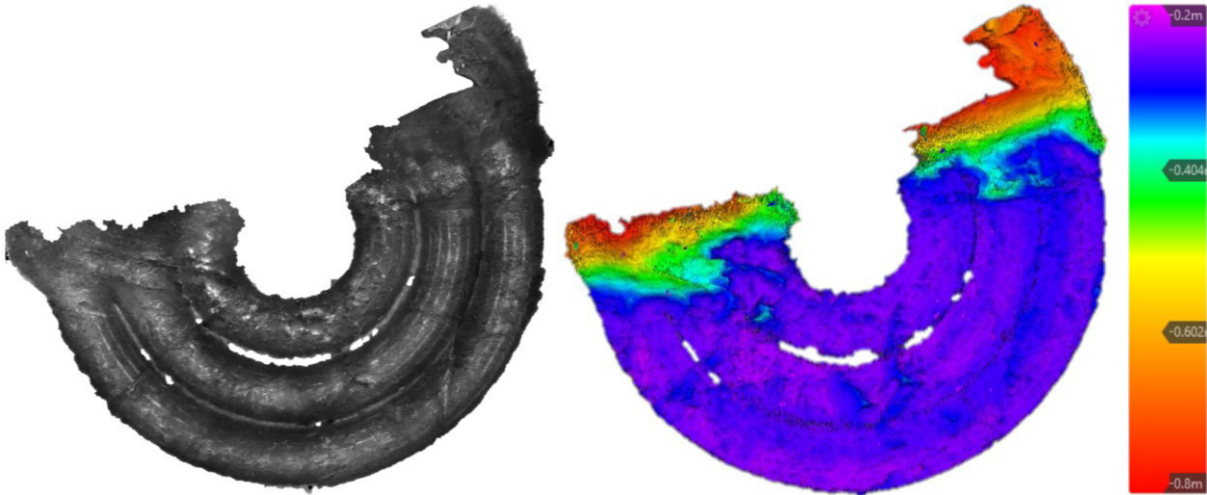


Abbildung A 21: 15.11.2016; TM 3342,37

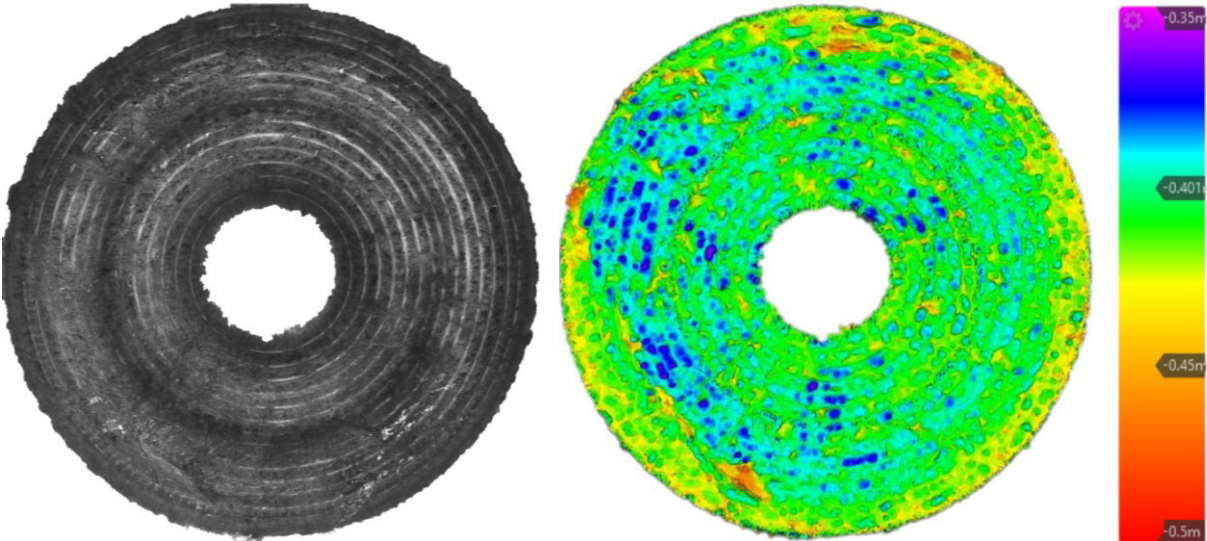


Abbildung A 22: 09.10.2016; TM 2595,32

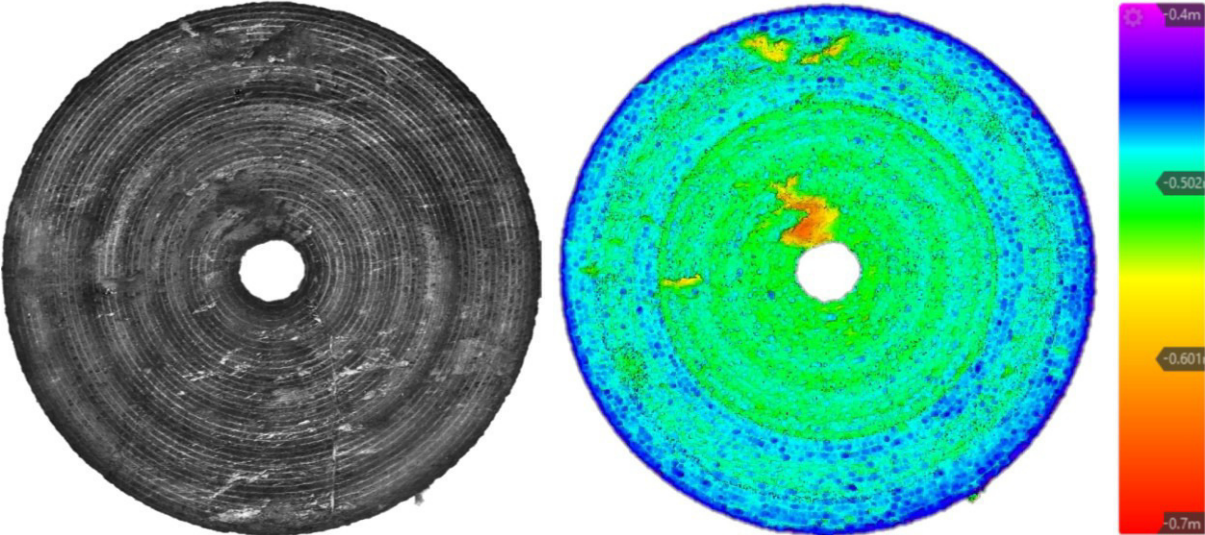


Abbildung A 23: 07.09.2016; TM 2258,54

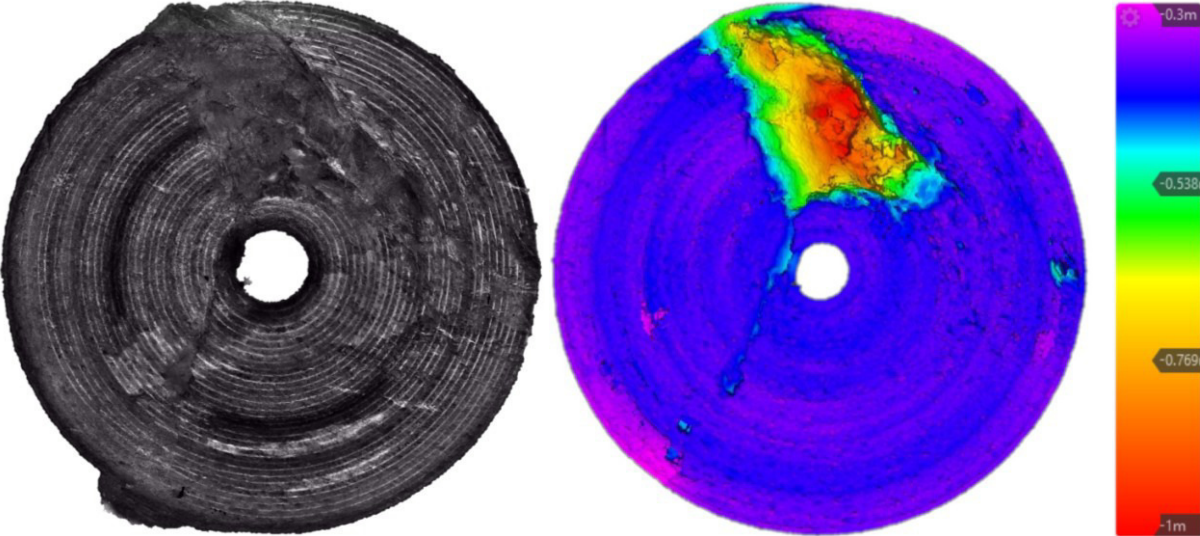


Abbildung A 24: 03.08.2016; TM 2112,15

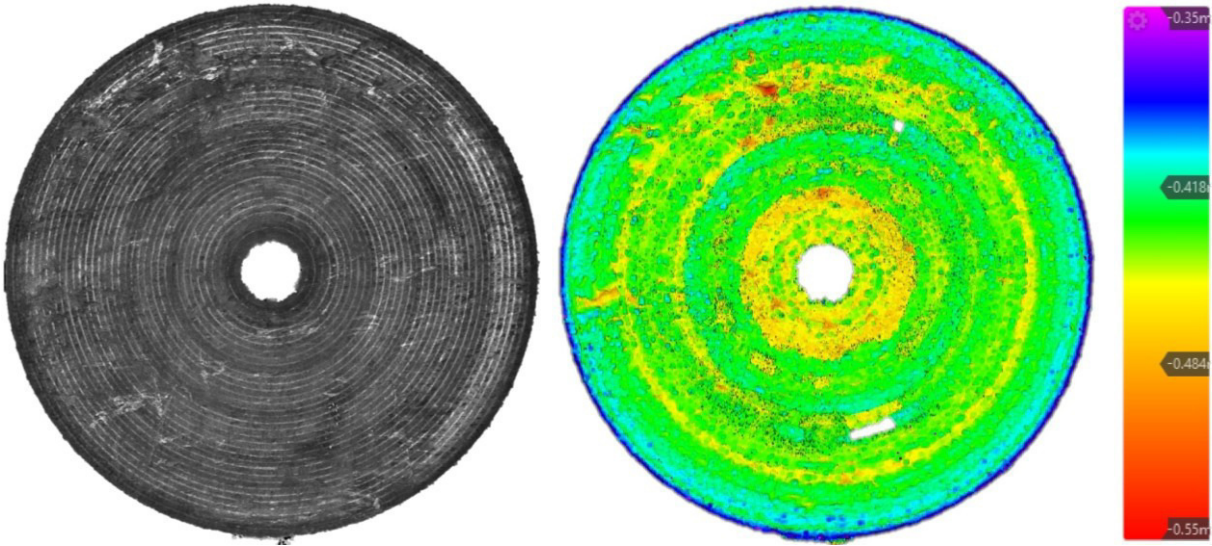


Abbildung A 25: 02.07.2016; TM 1858,87

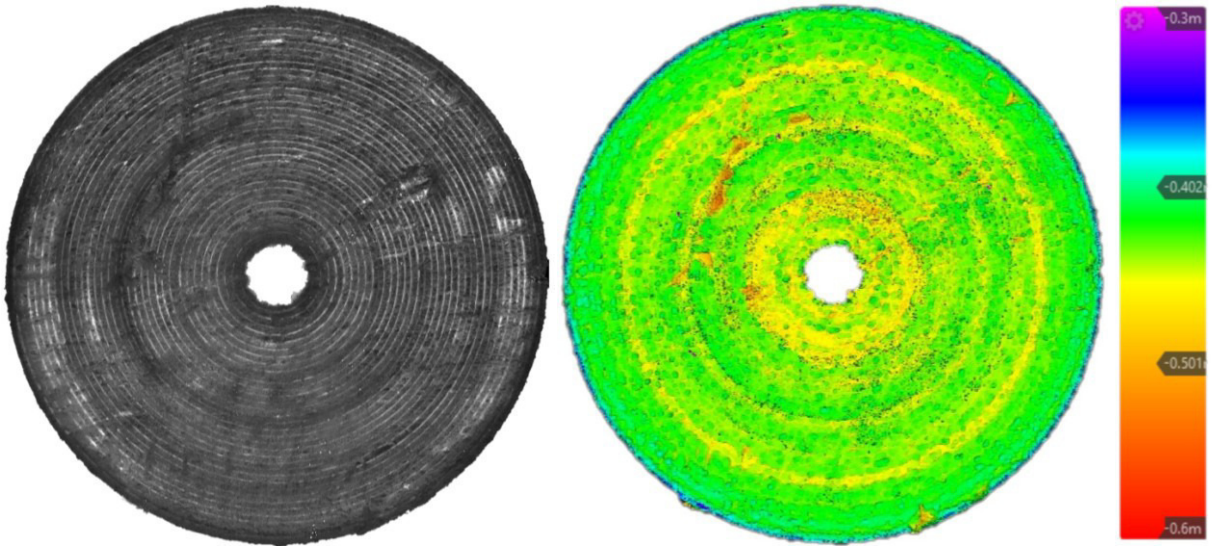


Abbildung A 26: 30.06.2016; TM 1811,60

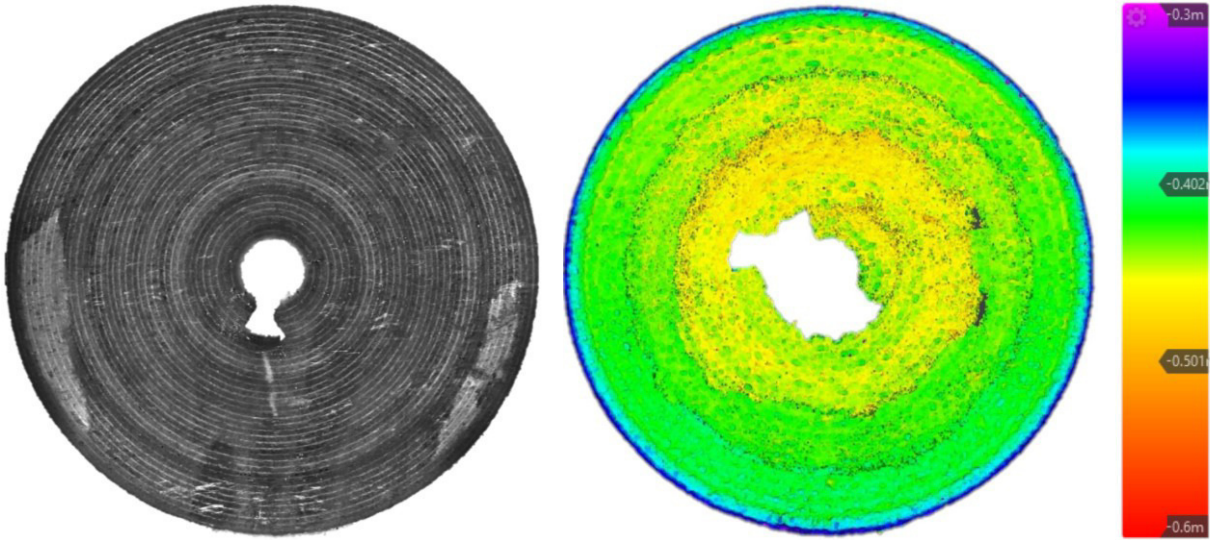


Abbildung A 27: 16.06.2016; TM 1590,44

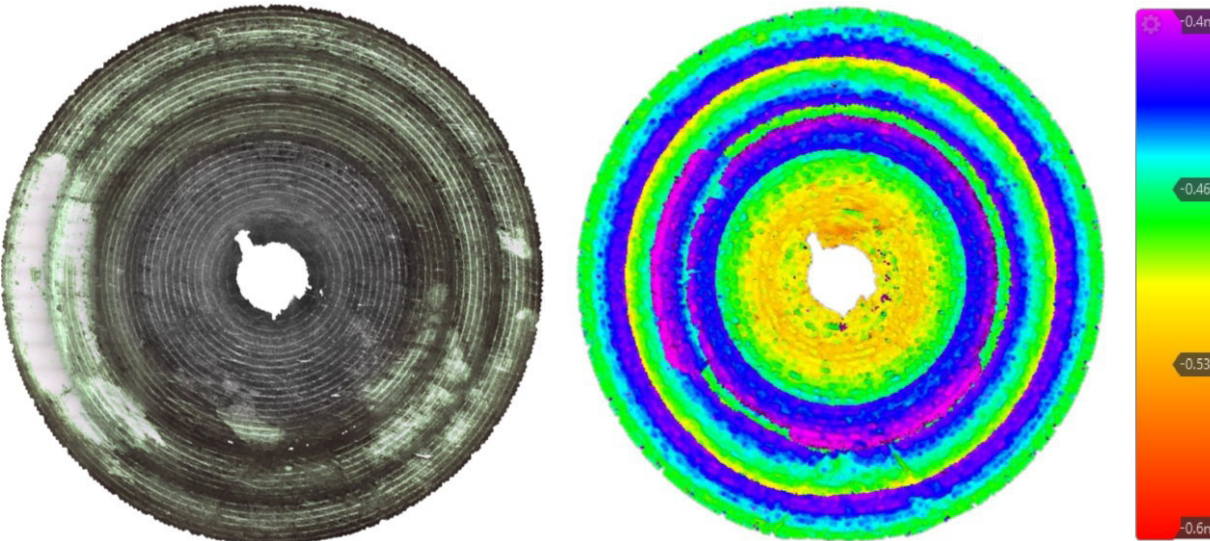


Abbildung A 28: 19.05.2016; TM 1158,54

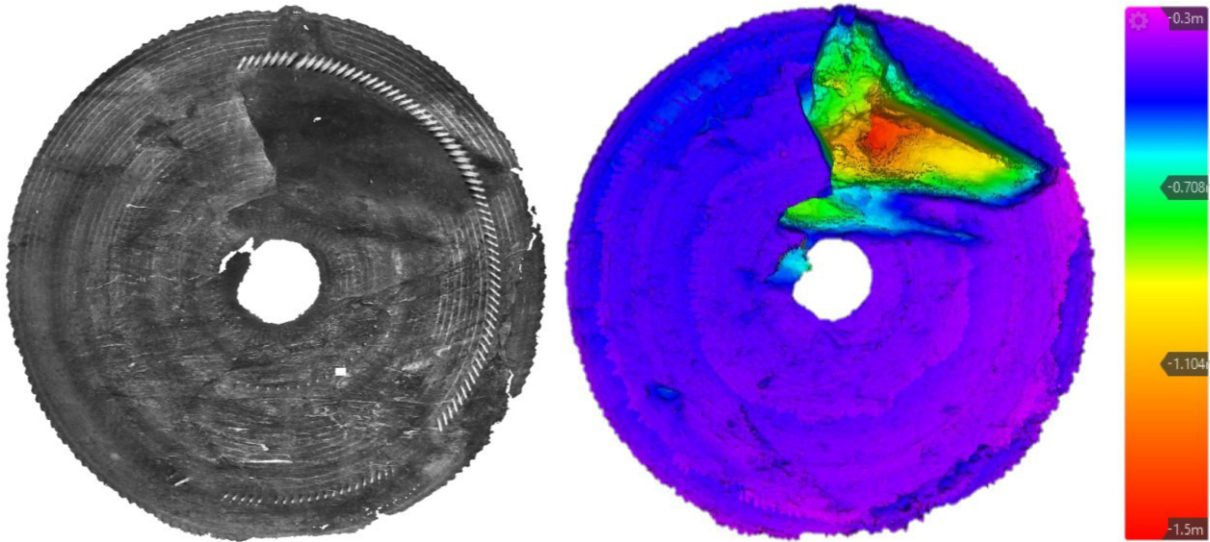


Abbildung A 29: 08.04.2016; TM 1007,53

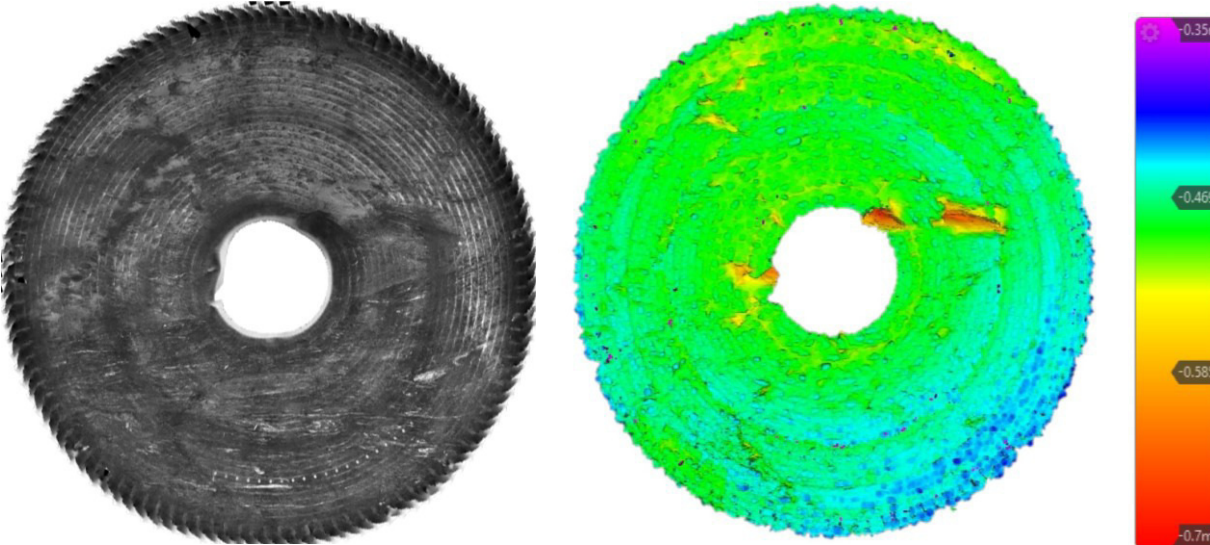


Abbildung A 30: 25.03.2016; TM 1007,53

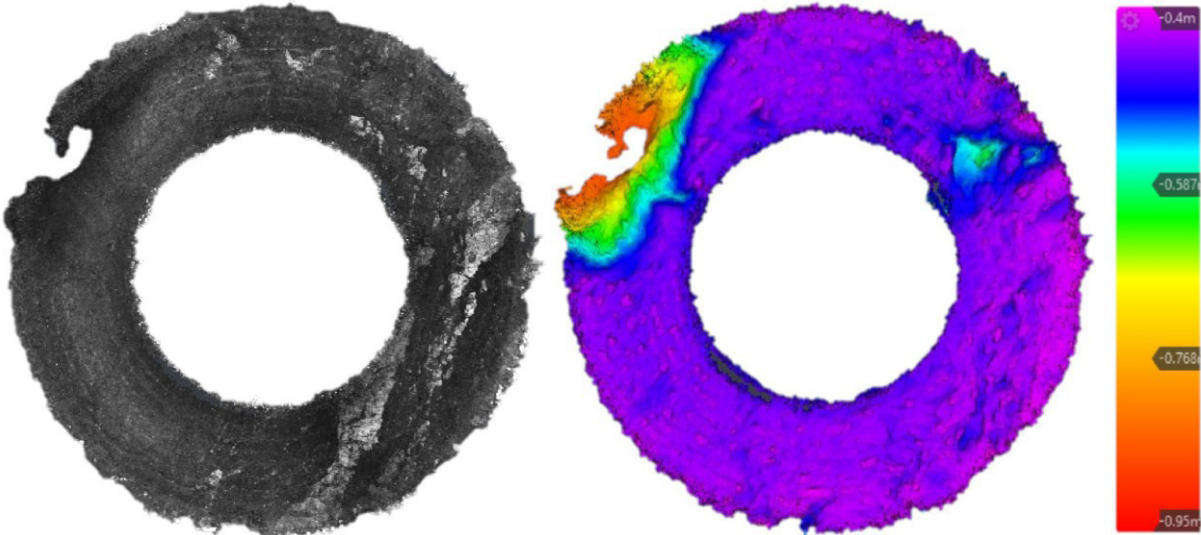


Abbildung A 31: 15.03.2016; TM 955,12

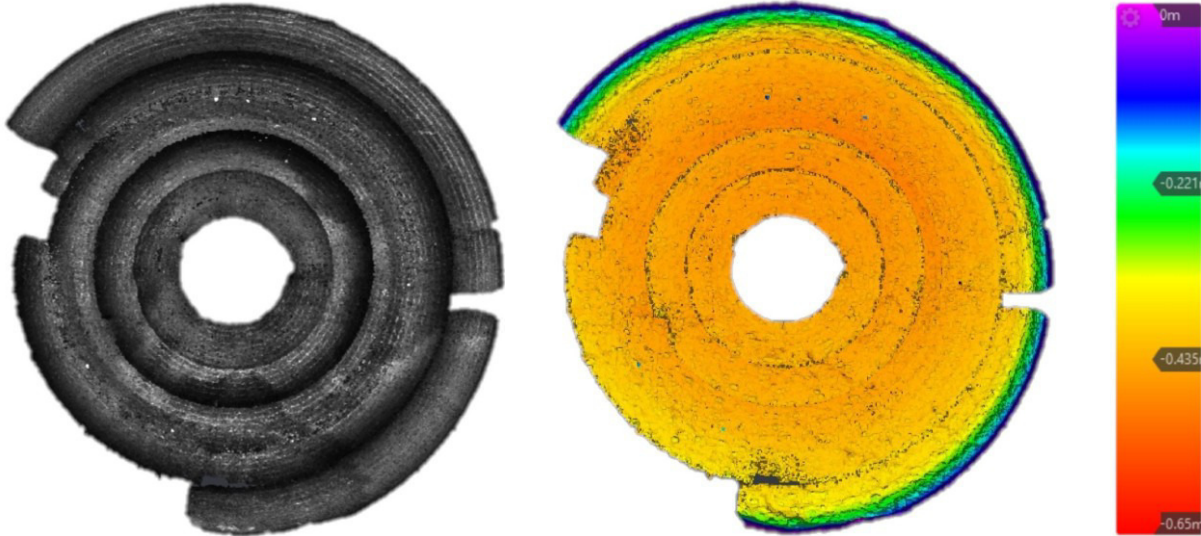


Abbildung A 32: 04.01.2016; TM 554,45

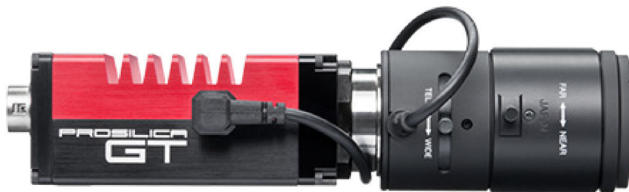
Anhang B:

Datasheet Allied Vision Prosilica GT2000

Specification Sheet PP520 - LED Lighting Controller

Datasheet 2/3inch Format High resolution 5 Megapixel Lenses

Datasheet 3 Mega-Pixel Lens Cinegon 1.8/4.8-0902



- Weiter Temperaturbereich für extreme Umgebungen
- IEEE 1588 PTP
- PoE
- P-Iris und DC-Blendensteuerung

Beschreibung

2.2 Megapixel CMOSIS/ams CMOS Kamera für extreme Umgebungen - GigE Vision

Die Prosilica GT2000/GT2000C ist eine Kamera mit Gigabit Ethernet (GigE Vision) und 2.2 Megapixeln Auflösung und dem beliebten CMOSIS/ams CMV2000 CMOS Sensor. Die Prosilica GT2000/GT2000C ist robust und eignet sich für den Einsatz unter extremen Umgebungsbedingungen und schwankenden Lichtverhältnissen. Sie ermöglicht die P-Iris-Objektivsteuerung (Präzisionssteuerung). P-Iris regelt präzise Blendenöffnung, Belichtungszeit und Gain (ohne zusätzliche Bedienelemente) für eine optimale Bildqualität mit der erforderlichen Schärfentiefe. Monochrome Modelle sind standardmäßig nicht mit Abschlussglas ausgestattet, Color-Modelle mit IRC30 IR Cut Filter.

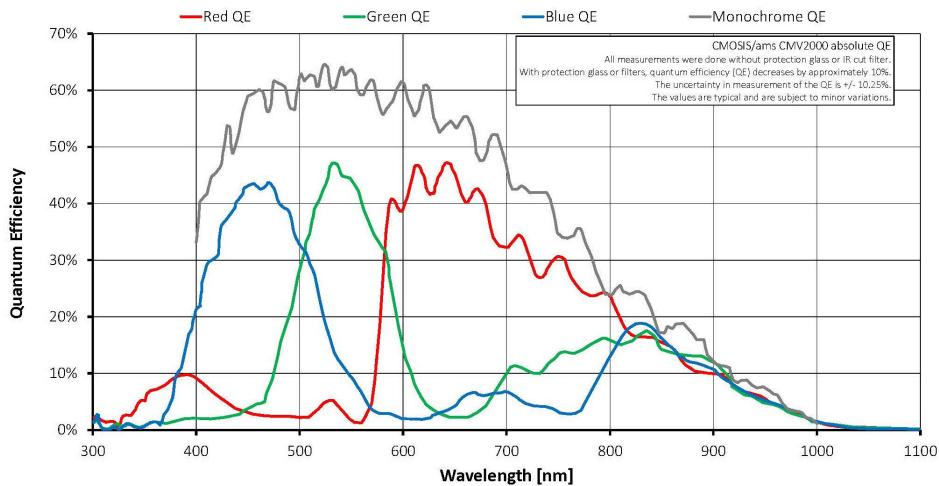
Optionen:

- Diverse IR Cut/Pass Filter
- Diverse Objektivanschlüsse

Spezifikationen

Prosilica GT	2000
Interface	IEEE 802.3 1000BASE-T, IEEE 802.3af (PoE)
Auflösung	2048 (H) × 1088 (V)
Sensor	CMOSIS/ams CMV2000
Sensortyp	CMOS
Zellgröße	5.5 µm x 5.5 µm
Objektivanschluss	C-Mount
Maximale Framerate bei voller Auflösung	53.7 fps
ADC	12 bit
Bildzwischenspeicher (RAM)	128 MByte

Prosilica GT	2000
	Output
Bit-Tiefe	8/12 bit
Mono Modi	Mono8, Mono12, Mono12Packed
Farbmodi YUV	YUV411Packed, YUV422Packed, YUV444Packed
Farbmodi RGB	RGB8Packed, BGR8Packed, RGBA8Packed, BGRA8Packed
Raw Modi	BayerGB8, BayerGB12, BayerGB12Packed
General purpose Inputs/Outputs (GPIOs)	
TTL I/Os	1 input, 2 outputs
Optogekoppelte I/Os	1 input, 2 outputs
RS-232	1
Betriebsbedingungen/Abmessungen	
Betriebstemperatur	-20 °C to +65 °C ambient (without condensation)
Spannungsversorgung	7 to 25 VDC; PoE
Leistungsaufnahme (@12 V)	3.4 W @ 12 VDC; 4.2 W PoE
Masse	210 g
Abmessungen (L × B × H in mm)	86 × 53.3 × 33 mm (inkl. Anschlüsse)
Konformität	CE, RoHS, REACH, WEEE, FCC, ICES



Features

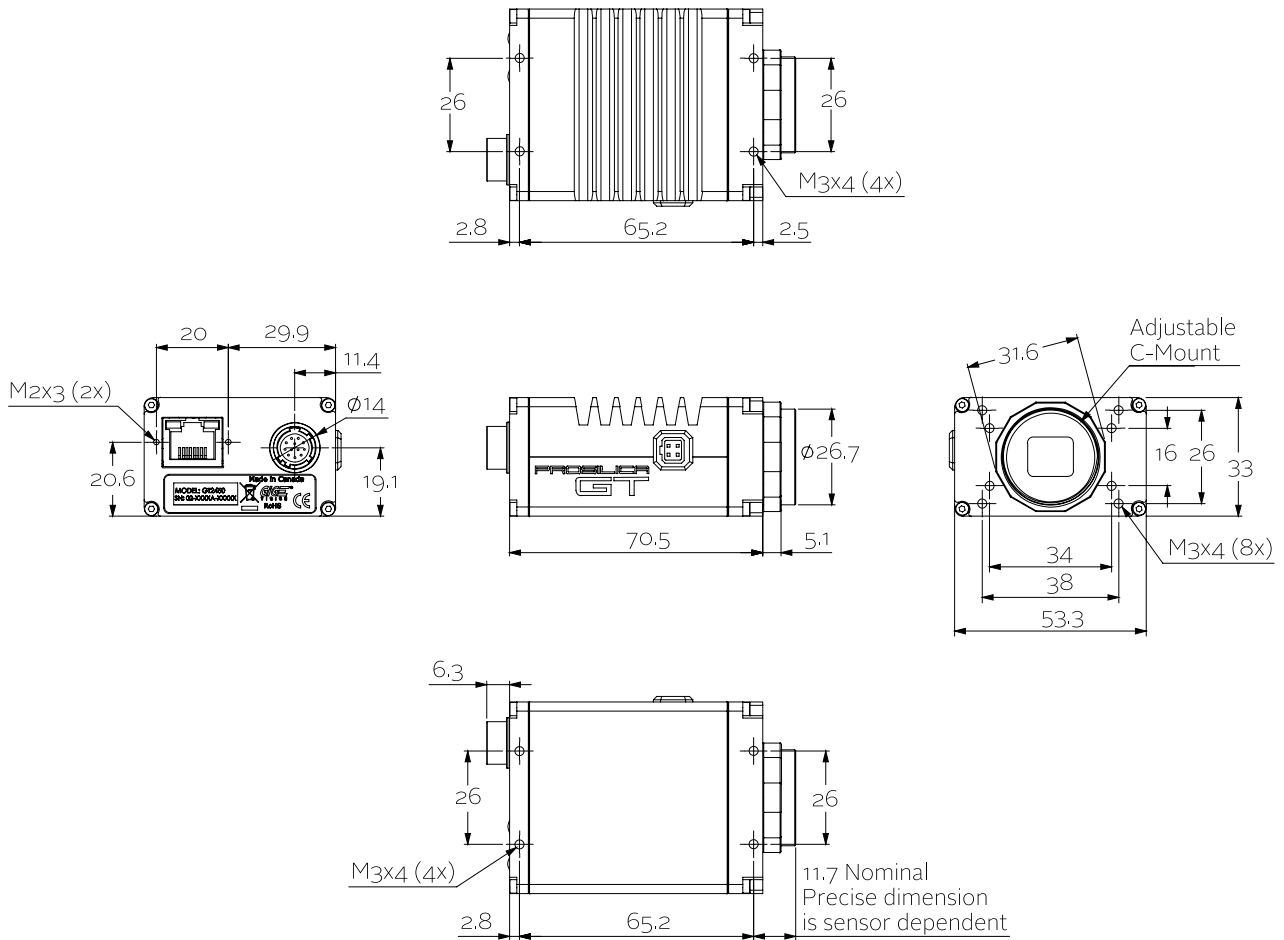
Features zur Bildoptimierung:

- Auto Gain (manuelle Gainsteuerung: 0 bis 26 dB)
- Auto Belichtung (manuelle Belichtung: 25 μ s bis 122 s)
- Auto Weißabgleich (Color-Modelle)
- Binning
- Black Level
- Farbton, Sättigung, Farbkorrektur (Color-Modelle)
- Gamma
- LUTs (Look-Up Tables)
- Piecewise Linear HDR Modus
- Region of interest (ROI), separates ROI für Auto Features

Kamerakontroll-Features:

- Auto Iris (P-Iris und DC-Iris)
- Event Channel
- Chunk Daten
- IEEE 1588 Precision Time Protocol (PTP)
- RS232
- Speicherbare Benutzereinstellungen
- StreamBytesPerSecond (einfache Bandbreitenkontrolle)
- Stream Hold
- Sync out Modi: Trigger ready, input, exposing, readout, imaging, strobe, GPO
- Kamertemperatur-Überwachung (Mainboard)
- Trigger over Ethernet (ToE) Action Commands

Technische Zeichnung





Applikationen

Die Prosilica GT2000/GT2000C eignet sich für viele Anwendungen, zum Beispiel:

- Outdoor Bildverarbeitung
- Verkehrsüberwachung / Intelligent Traffic Systems (ITS)
- Öffentliche Sicherheit und Überwachung
- Industrielle Inspektion
- Machine Vision
- Militär und Raumfahrt

PP520 - LED Lighting Controller with Ethernet Interface

Ethernet – the future for Machine Vision

Uses Same Cabling as GigE

Configure Using Web Browser

SafeSense™ Technology

Integrates with Machine Vision Software



Miniature Web Server

The PP520 LED Lighting controller has all the features of Gardasoft's LED Lighting controllers with the addition of an Ethernet connection. The PP520 acts as a miniature web server and can be controlled by image processing software on a remote PC.

With the introduction of GigE cameras, the machine vision market is moving towards Ethernet. The advantage of Ethernet is that it is fast, long distance, standardised worldwide and implementation is inexpensive.

Flexible Operation

The PP520 provides control of LED lighting for machine vision applications. It includes the power regulation, intensity control, timing and triggering functions required for machine vision systems.



Three modes of operation are provided separately for each channel:
Continuous: Output is a continuous current.
Pulsed: Output is pulsed once per trigger.
Switched: Output switched according to a digital input.

Three Ways to Configure

Firstly, a Web Browser can be used to access its web pages allowing status to be viewed and parameters to be changed.

Secondly, simple string commands can be sent from an application program using TCP/IP or UDP. The Gardasoft Vision website www.gardasoft.com has a free download of a demonstration program (with fully commented source) showing how the PP520 can be controlled from a PC using Visual Basic.

Thirdly, the PP520 can be configured using the front panel display and buttons. This is a very popular and easy to use interface which has been proven on many of Gardasoft's products.

The configuration is stored in non-volatile memory.



Patented SafeSense™ Technology

The PP520 provides automatic, operation with current-rated and voltage-rated lighting, providing plug and play operation. Using the technology set out in our patent application, the PP520 detects the connection and disconnection of a light. On connection, the PP520 will automatically sense the current rating of the light.

Continuous Monitoring for Fault Detection

The PP520 monitors the output voltage and current continuously for sudden and long term changes. When an unexpected change occurs, a fault is alerted and the output is disabled. The PP520 can detect lighting that fails open or short circuit, lighting which is overheating or degrading over time and single LED failures, depending on conditions.

Ethernet Features

The PP520 needs an IP address. It can be configured to work using a specific IP address entered using the front panel or using a Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) server, which supplies a temporary IP address. If a Domain Name Server (DNS) is present, the PP520 can be accessed by machine name. For example, "PP520_100113" can be entered into the browser address bar.



The Ethernet connection is provided on a standard RJ45 connector and with two link status lights.

Specification

	PP520
User interface	Ethernet plus push button and display.
Output channels	Two independent constant current outputs with SafeSense™.
Output current	From 0mA to 10A in steps of 2.5mA. Up to 4A per channel continuous or 10A pulsed.
Trigger inputs	2 opto-isolated digital inputs. Require 5V to 24V.
Pulse width timing	From 20us to 999 milliseconds in steps of 20us. Timing repeatability 0.1us
Delay from trigger to pulse	From 20us to 999 milliseconds in steps of 20us. Timing repeatability 1us
Output voltage	0V to 47V.
Supply voltage	Regulated 12V to 48V. The supply voltage must be at least 1V higher than the output voltage required by the lighting.
Dimensions	118mm long by 76mm wide by 27mm high (excluding DIN fixing).
Weight	240g excluding DIN fixing.
Mounting	DIN rail or panel mounting.

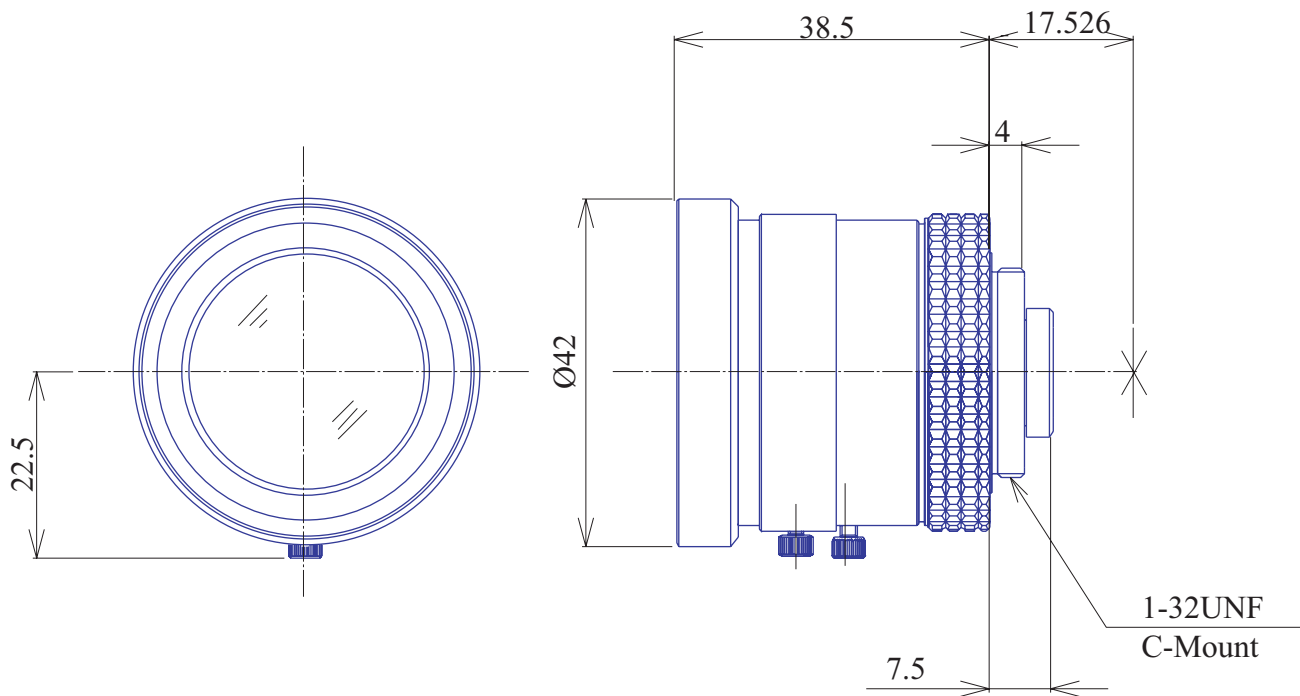
Also available is the PP500 which is set up from the front panel only. For further information see the PP500 specification sheet or www.gardasoft.com.

Local Distributor:



Units 1 and 2, Castle Acres, Elsworth
Cambridge, CB23 4JQ, UK
Tel: +44 1954 200343
Fax: +44 1954 204343
Web: www.gardasoft.com

© 2006 Gardasoft Vision Ltd
All trademarks acknowledged.

2/3inch Format**High resolution 5 Megapixel Lenses****Item No.GMB5HR30528MCN**

ITEM NO.		GMB5HR30528MCN
Focal Length		5 (mm)
Iris Range		F2.8 - 16
Angle of View (H x V x D)	2/3"	82°4' x 66°9'
MOD		0.1 (m)
Filter Thread		M=40.5, P=0.5
Dimention (D x L)		Ø42 x 38.5 (mm)
Weight		90 (g)

3 Mega-Pixel Lens

Cinegon 1.8/4.8-0902

In accordance with the sensitivity of modern 2 / 3" CCD and CMOS sensors, the 3 megapixel lenses are corrected and broadband-coated for the spectral range of 400 – 1000 nm (VIS + NIR). Even under production and / or extreme conditions, the robust mechanical design with lockable focus and iris setting mechanism guarantees reliable continuous use in which the set optical parameters remain in place.



Cinegon 1.8/4.8

Key Features

- High-resolution optics
- Highest optical imaging performance even with smallest pixel sizes
- Broadband coating (400 - 1000 nm)
- Compact and low weight
- Vibration insensitivity for stable imaging performance
- Focus and iris setting lockable

Applications

- Machine Vision and other imaging applications
- 3D measurement
- Traffic
- Medical
- Robot vision
- Food processing

Technical Specifications

F-number	1.8
Focal length	5.0 mm
Image circle	11 mm
Transmission	400 - 1000 nm
Interface	C-Mount
Weight	90 gr.
Option	Filter holder with M62 x 0.75
Code no.	1001955

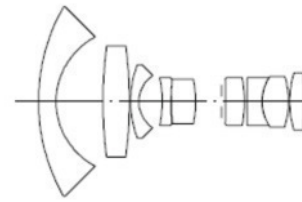
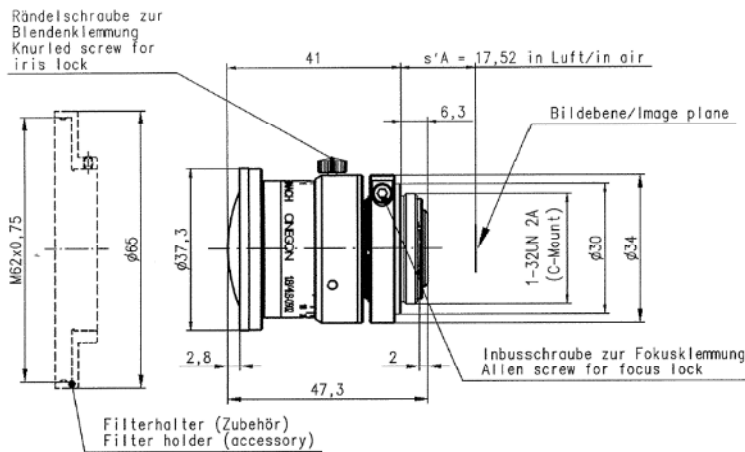
Contact

Jos. Schneider Optische Werke GmbH
 Ringstraße 132
 55543 Bad Kreuznach
 Germany
 Phone +49 671 601-205
 Fax +49 671 601-286
<http://www.schneiderkreuznach.com/en/industrial-solutions/>
industrie@schneiderkreuznach.com

Schneider Asia Pacific Ltd.
 20/F Central Tower, 28 Queen's Road
 Central, Hong Kong
 China
 Phone +852 8302 0301
 Fax +852 8302 4722
www.schneider-asiapacific.com
info@schneider-asiapacific.com

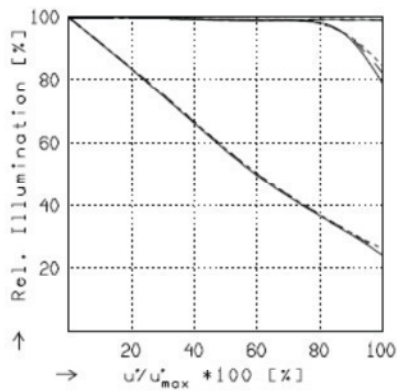
Schneider Optics Inc.
 285 Oser Ave.
 Hauppauge, NY 11788
 USA
 Phone +1 631 761-5000
 Fax +1 631 761-5090
www.schneideroptics.com/industrial
industrial@schneideroptics.com

Cinegon 1.8/4.8



CINEGON 1.8/4.8

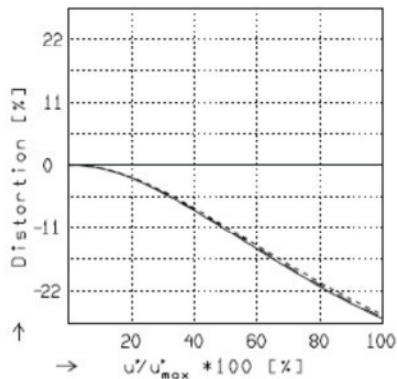
f'	=	5,0 mm	β'_p	=	6,632
s_F	=	13,2 mm	s_{EP}	=	13,9 mm
$s_{F'}$	=	13,2 mm	s_{AP}	=	-19,8 mm
HH'	=	35,4 mm	Σd	=	45,3 mm



RELATIVE ILLUMINATION

The relative illumination is shown for the given focal distances or magnifications.

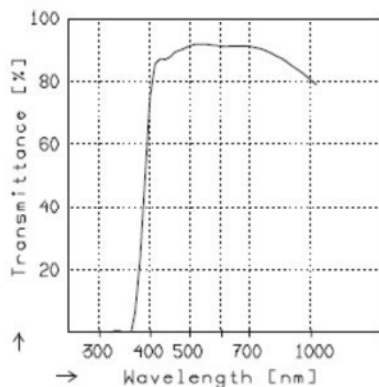
	$f / 1.9$	$f / 4.0$	$f / 8.0$
— $\beta' = -0.0200$	$u'_{max} = 5.5$	$00' = 294.$	
- - $\beta' = -0.0333$	$u'_{max} = 5.5$	$00' = 195.$	
--- $\beta' = -0.0500$	$u'_{max} = 5.5$	$00' = 145.$	



DISTORTION

Distortion is shown for the given focal distances or magnifications. Positive values indicate pincushion distortion and negative values barrel distortion.

— $\beta' = -0.0200$	$u'_{max} = 5.5$	$00' = 294.$
- - $\beta' = -0.0333$	$u'_{max} = 5.5$	$00' = 195.$
--- $\beta' = -0.0500$	$u'_{max} = 5.5$	$00' = 145.$



TRANSMITTANCE

Relative spectral transmittance is shown with reference to wavelength.

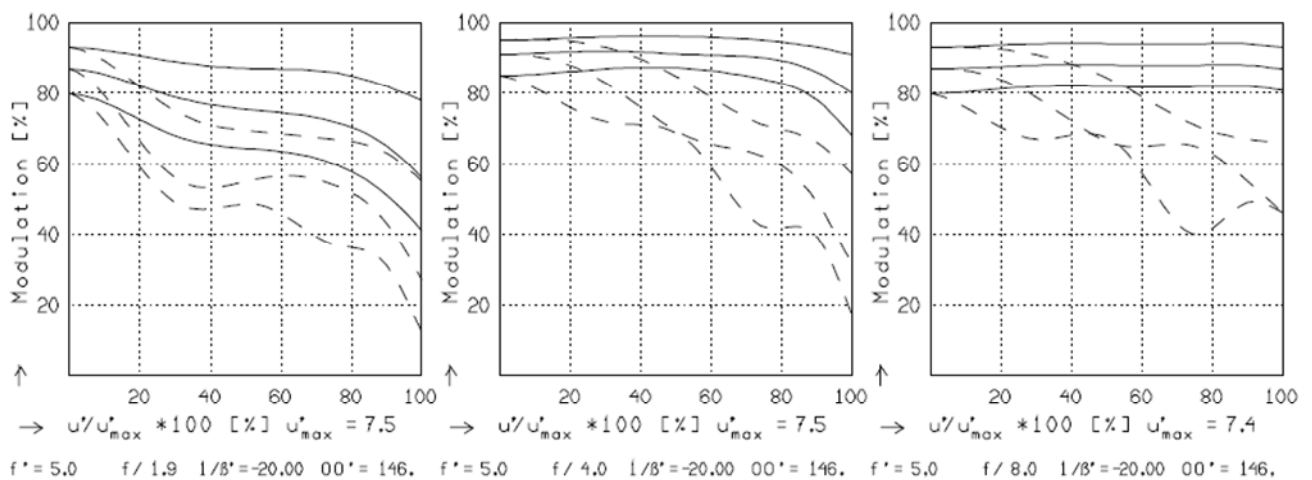
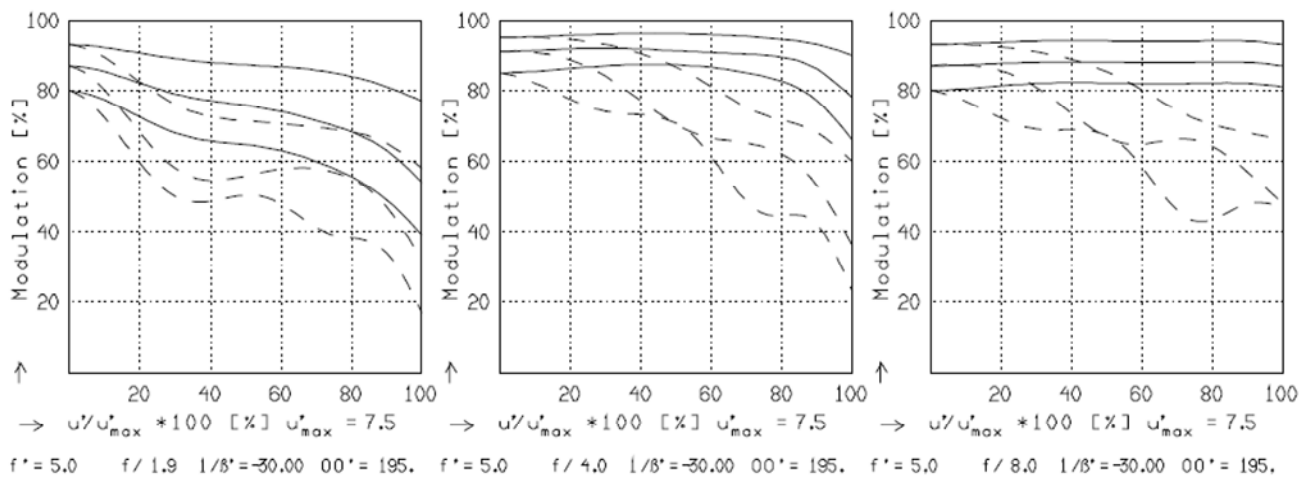
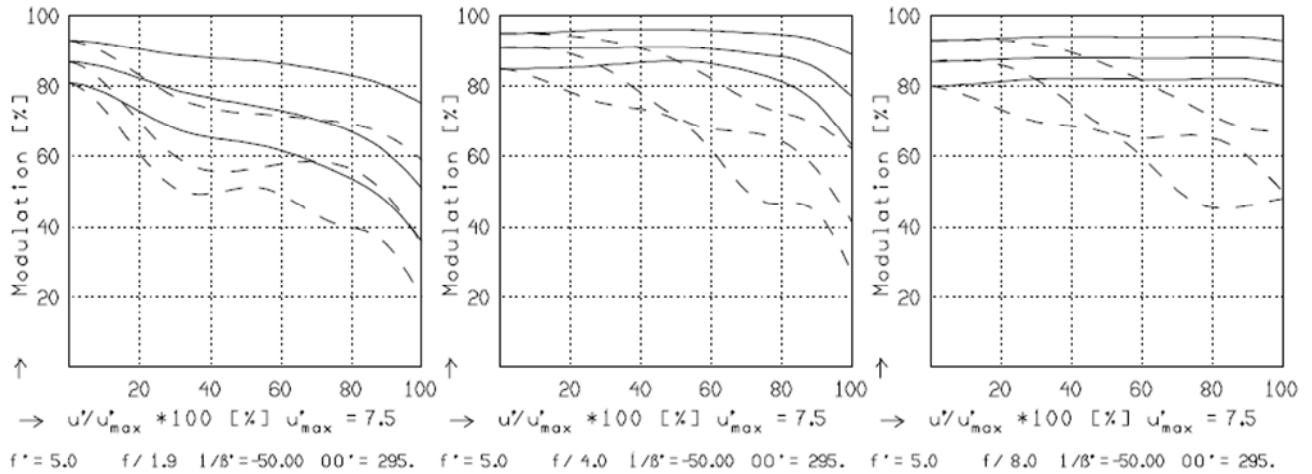
Cinegon 1.8/4.8

CINEGON 1.8/4.8

MODULATION with reference to the relative image height

Wavelength λ	[nm]	555	655	605	505	455	405
Spectral weighting	[%]	19.4	23.2	21.7	15.4	11.8	8.5
Spatial frequency R	[1/mm]	10	20	30			
Format	[mm X mm]	6.6	X	8.8			
Diagonal $2u'$	[mm]	11.0					

radial —
tangential - -



Focusing : MTF_{max} at $f / 1.8$, $R = 30$ 1/mm, $u'/u'_{max} = 0$

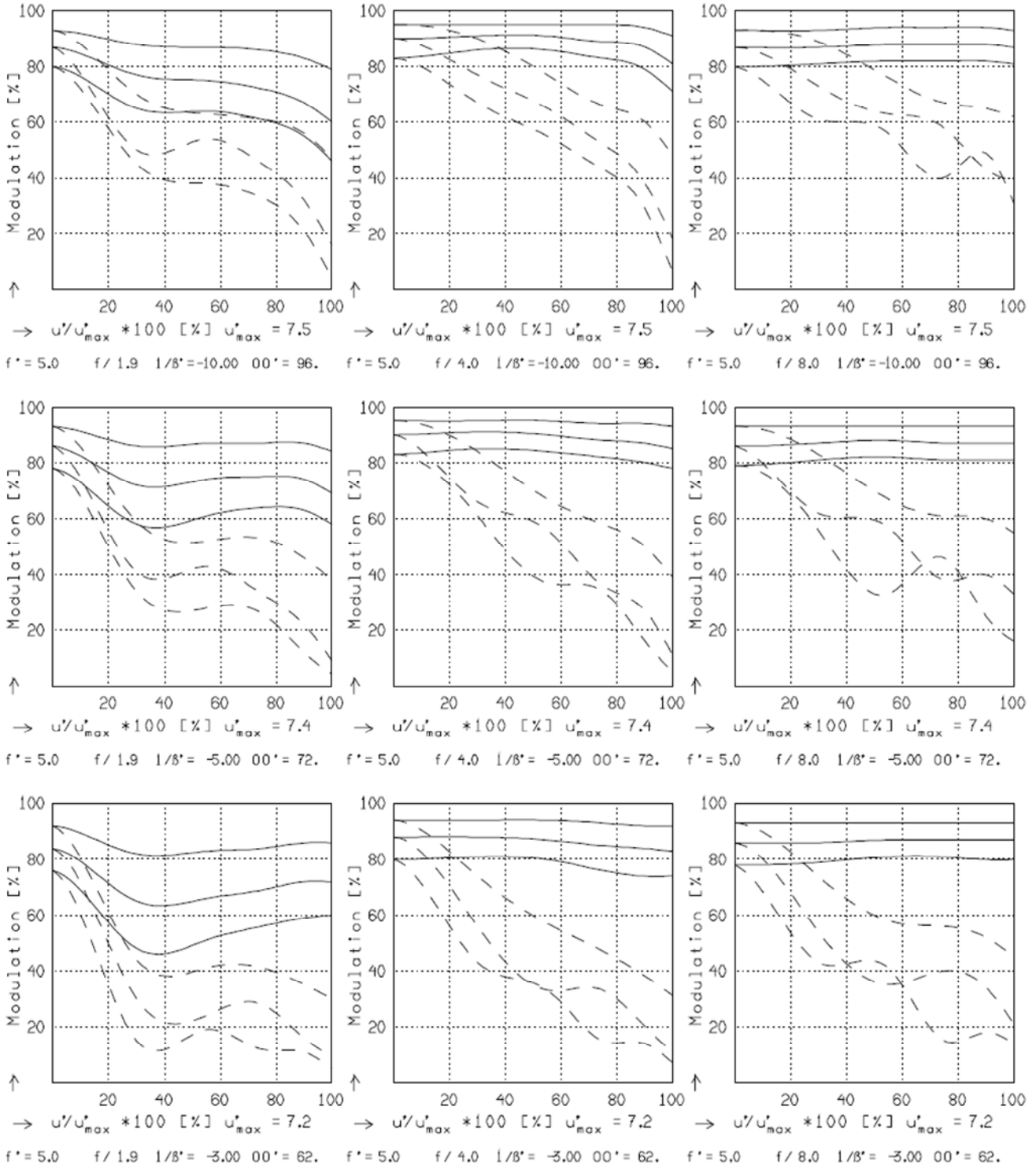
Cinegon 1.8/4.8

CINEGON 1.8/4.8

MODULATION with reference to the relative image height

Wavelength λ	[nm]	555	655	605	505	455	405
Spectral weighting	[%]	19.4	23.2	21.7	15.4	11.8	8.5
Spatial frequency R	[1/mm]	10	20	30			
Format	[mm X mm]	6.6	X	8.8			
Diagonal $2u'$	[mm]	11.0					

radial —
tangential - -



Focusing : MTF_{max} at $f / 1.8$, $R = 30$ 1/mm, $u'/u'_{max} = 0$