

Photogrammetrische Ortbrust-Dokumentation und deren Korrelation mit Leistungsparametern des Sprengvortriebs

Lisa Sophie Wiesmann, BSc

Betreuer/in: Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Matthias Flora

Arbeitsbereich für Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau

Universität Innsbruck

ibt@uibk.ac.at | www.uibk.ac.at/ibt

KURZFASSUNG: Im Tunnelbau wurden in den letzten Jahrzehnten weitreichende Entwicklungen und Erneuerungen betreffend der Durchführung der zu leistenden Arbeiten, der Datengewinnung und Analyse erzielt. Diese Masterthesis befasst sich mit der digitalen Ortsbrusterfassung als wesentliche Grundlage für die geologische Analyse und untersucht die Zusammenhänge zwischen Trennflächenabständen, Bohrgeschwindigkeit und spezifischem Sprengstoffverbrauch unter Einsatz photogrammetrischer Aufnahmen und automatisierter Datenerfassung.

Vollständige Arbeit: www.uibk.ac.at/ibt/lehre/abgeschlossene-masterarbeiten/

SCHLAGWORTE: Konventioneller Tunnelbau, Photogrammetrie, Trennflächenabstand, Sprengstoffverbrauch, Bohrgeschwindigkeit

1 EINLEITUNG

Die effiziente und sichere Durchführung von Sprengvortrieben im Tunnelbau stellt eine zentrale Herausforderung dar, insbesondere in geologisch komplexen Gebirgsformationen, da eine präzise Anpassung von Bohrgeschwindigkeit und Sprengstoffverbrauch an die geologischen Bedingungen erforderlich ist. [1], [2] Moderne Technologien wie die Photogrammetrie haben sich als effiziente Werkzeuge zur Erfassung und Analyse geologischer Strukturen etabliert und ermöglichen eine präzisere Untersuchung der Einflüsse von Trennflächen auf die Leistungsparameter des Vortriebs. [3]

Ziel dieser Arbeit ist es, die zentralen Parameter – Bohrgeschwindigkeit und Sprengstoffverbrauch – anhand eines Referenzprojekts zu analysieren und deren Abhängigkeit von Trennflächen zu untersuchen. Dazu werden 3D-Modelle aus photogrammetrischen Aufnahmen sowie automatisierte Verfahren und Softwarelösungen eingesetzt, um repräsentative Daten zu erfassen und mit einer bestehenden Studie zu vergleichen.

2 HAUPTTEIL

Im Hauptteil wird ein Referenzprojekt analysiert, um den Einfluss geologischer Trennflächen auf Bohrgeschwindigkeit und Sprengstoffverbrauch zu untersuchen. Eine vorangestellte Literaturrecherche bildet die Grundlage, indem sie theoretische Grundlagen, bestehende Studien und relevante Methoden aufarbeitet. Anschließend werden photogrammetrische 3D-Modelle, automatisierte Datenerhebungen und softwaregestützte Auswertungen genutzt. Die Ergebnisse werden mit einer bestehenden Studie verglichen, um Optimierungspotenziale und Übertragbarkeit auf zukünftige Tunnelbauprojekte zu bewerten.

2.1 Digitale Ortbrust-Dokumentation

Die digitale Ortbrust-Dokumentation ermöglicht durch Photogrammetrie eine detaillierte Erfassung der geologischen Strukturen an der Ortbrust. Die erzeugten 3D-Modelle liefern präzise Daten zu Trennflächenabständen, Rauigkeiten und Ebenheiten. Diese Informationen unterstützen die Optimierung der Vortriebsarbeiten, indem sie Anpassungen an die tatsächlichen geologischen Gegebenheiten ermöglichen. Einschränkungen treten jedoch bei weichen Gesteinen auf, da durch das Ablauten wichtige Merkmale der Ortbrust

verändert werden können. Trotz dieser Herausforderungen bietet die Methode erhebliche Vorteile gegenüber traditionellen Verfahren und wird als wesentliche Grundlage für weitere Analysen genutzt; ein Beispiel dafür ist in Abbildung 2-1 illustriert.

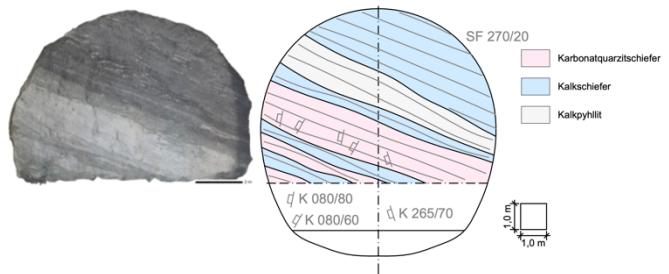


Abbildung 2-1: Ortbrustaufnahme im Bereich B

2.2 Grundlagen der Gebirgslösung

Die Grundlagen der Gebirgslösung im Sprengvortrieb, basierend auf der Studie von Kurosche Thuro und Ralf J. Plininger, konzentrieren sich auf die Leistungs- und Verschleißparameter zyklischer Vortriebsverfahren, insbesondere in Muschelkalk. Die Bohrbarkeit, definiert durch die Bohrgeschwindigkeit, wird maßgeblich durch die Leistungsklassen der Bohrhämmer sowie durch die geologischen Eigenschaften des Gesteins, wie Festigkeit und Trennflächenabstände, bestimmt. Die Studie zeigt, dass enge Trennflächen die Bildung von Makro- und Mikrorissen fördern, was in Muschelkalk zu einer signifikant höheren Bohrgeschwindigkeit führt, während weiterständige Trennflächen konstante oder reduzierte Geschwindigkeiten aufweisen. Ähnlich beeinflussen die Trennflächen die Sprengbarkeit, gemessen am spezifischen Sprengstoffverbrauch: Dichtere Trennflächen führen zu einer effizienteren Energieübertragung und einem geringeren Verbrauch, während bei weiterständigen Trennflächen im Muschelkalk höhere Lademengen erforderlich sind. [4]

2.3 Wesentliche Grundlagen zum Referenzprojekt

Innerhalb dieser Arbeit wurden drei Tunnelabschnitte (A, B und C) untersucht, die sich in unterschiedlichen geologischen Formationen befinden: A und B im Schiefer und C im Gneis. Abschnitt A und B wurden im Teilausbruch mit vorauselender Kalotte und nachgezogenem Strossen- und Sohlvortrieb ausgeführt, während Abschnitt C im Vollausbruch vorangetrieben

wurde. Für die Sprengarbeiten wurde ausschließlich ein pumpfähiger Emulsionssprengstoff (RIOMEX MU) verwendet, der vor Ort während des Ladevorgangs mit einem Mischladegerät hergestellt und direkt in die Bohrlöcher gepumpt wurde. Die Bohrarbeiten erfolgten mit einem halbautomatisierten Bohrwagen, der pro Abschlag etwa 100 bis 120 Bohrlöcher bohrte und umfassende Bohrdaten wie Schlagdruck, Rotationsgeschwindigkeit und Bohrtiefe automatisch erfasste. Zur Dokumentation der Trennflächenabstände wurden photogrammetrische 3D-Aufnahmen erstellt, die mithilfe von Punktwolken und 3D-Modellen eine detaillierte Analyse der geologischen Strukturen ermöglichen, wie in Abbildung 2-2 exemplarisch dargestellt wird.

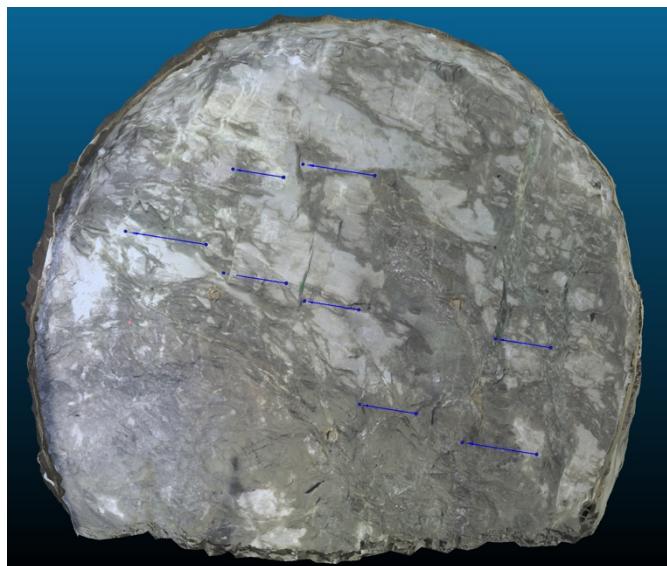


Abbildung 2-2: Beispiel Erfassung der Trennflächen

2.4 Vergleich mit bestehender Forschung

Im Vergleich zur bestehenden Studie von Kurosch Thuro und Ralf J. Plinninger, die sich auf die Gesteinsart Muschelkalk konzentriert, zeigt die aktuelle Untersuchung im Schiefer und Gneis deutliche Unterschiede. In der bestehenden Studie wurde festgestellt, dass geringere Trennflächenabstände zu höheren Bohrgeschwindigkeiten und einer Zunahme von Risiken im Gebirge führen. Gleichzeitig nahm der spezifische Sprengstoffverbrauch bei größeren Kluftabständen zu.

In der aktuellen Untersuchung konnte hingegen keine klare Tendenz zwischen den Trennflächenabständen und dem Sprengstoffverbrauch festgestellt werden. Ebenso blieb die Bohrgeschwindigkeit bei Zunahme der Abstände in beiden Gesteinsarten konstant. Diese Abweichungen sind auf unterschiedliche Eingangsparameter zurückzuführen, insbesondere die variierenden Gesteinseigenschaften und die eingesetzten Sprengstoffe.

3 FAZIT

Die Photogrammetrie hat sich im Tunnelbau als wichtiges Werkzeug zur präzisen Erfassung geometrischer Strukturen der Ortsbrust etabliert, insbesondere unter zeitlich begrenzten Bedingungen. Während sie detaillierte digitale Modelle zur Analyse von Trennflächenabständen ermöglicht, ist sie für nicht-geometrische Phänomene wie Wasserzutritte oder Kluftfüllungen auf Vor-Ort-Analysen angewiesen. Trotz ihrer Genauigkeit ist sie nicht überall optimal einsetzbar, da

beispielsweise durch das Ablauten bei weichen Gesteinen wichtige Merkmale verloren gehen können.

In der Masterarbeit wurden Trennflächenabstände innerhalb von Schiefer- und Gneisformationen untersucht, wobei vorwiegend weite Trennflächenabstände festgestellt wurden. Im Vergleich zur Studie von Thuro und Plinninger, die Muschelkalk analysierte, zeigen sich Unterschiede: Während in der bestehenden Forschung eine klare Korrelation zwischen Trennflächenabständen und spezifischem Sprengstoffverbrauch sichtbar ist, konnten in der aktuellen Arbeit keine eindeutigen Tendenzen festgestellt werden. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung der Eingangsparameter wie Gesteins- und Sprengstoffart für die Analyse und verdeutlichen, dass eine Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf andere Projekte mit Vorsicht erfolgen sollte, da geologische Variationen eine erhebliche Rolle spielen.

4 AUSBLICK

Die Photogrammetrie spielt in der Praxis noch eine untergeordnete Rolle, bietet jedoch großes Potenzial für die Optimierung und präzise Kostenkalkulation von Projekten. Es wird empfohlen, den Einsatz dieser Technologie durch geeignete Softwarelösungen und eine erhöhte Automatisierung zu verstärken, um menschliche Einflüsse bei der Datenauswertung zu minimieren.

Die Analyse von Trennflächen mit Leistungsparametern sollte stets an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden, um die Qualität der Ergebnisse zu gewährleisten. Eine differenzierte Untersuchung der geologischen Einheiten, insbesondere bei Schiefer- und Gneisformationen, ist notwendig, da diese in ihrer Zusammensetzung und Druckfestigkeit stark variieren. Bisher fehlt eine feingliedrige Analyse, die auch andere Gesteinsarten einbezieht. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten daher diese Lücken schließen, um breiter anwendbare und präzisere Erkenntnisse zu gewinnen.

QUELLEN

- [1] B. Maidl, H. G. Jodl, L. Schmid und P. Petri, Tunnelbau im Sprengvortrieb, 6. Aufl. 2018. Springer Berlin / Heidelberg, 1997, ISBN: 3-540-62556-9. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-60723-3>.
- [2] R. Schillinger, Sprengtechnik in der Praxis, 2., vollständig überarbeitete Auflage. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2023. DOI: 10.3139/9783446476219. Adresse: <https://www.hanser-eli-brary.com/doi/abs/10.3139/9783446476219>.
- [3] S. Eder, H. Kontrus und M. Egger, „Anwendung photogrammetrischer Tunnelscans für die geologische Dokumentation“, 22. DGFT Fachsektionstagung Ingenieurgeologie, 2021.
- [4] K. Thuro und R. J. Plinninger, „Geologisch-geotechnische Grundlagen der Gebirgslösung im Fels“, in Fels- und Tunnelbau II, Ser. Kontakt und Studium, K. Eichler u.a., Hrsg., Bd. 684, Renningen-Malmsheim: Expert, 2007, S. 112–160.