

Animation und Visualisierung von Gebirgsverhaltenstypen

Evaluierung verschiedener Programme mit anschließender Anwendung anhand eines Praxisbeispiel

Malte Baumscheiper, 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: Die Digitalisierung im Tunnelbau, insbesondere durch Tunnel Information Modeling, ermöglicht Optimierungen in Planung und Ausführung. Diese Arbeit vergleicht verschiedene Softwarelösungen zur Animation und Visualisierung von Gebirgsverhaltenstypen und bewertet deren Eignung. Trotz Einschränkungen in der Animation, insbesondere bei der Darstellung von Übergängen zwischen Gebirgsverhaltenstypen, zeigt die Analyse Potenziale für zukünftige Entwicklungen im maschinellen Tunnelbau auf. Zukünftige Forschungen sollten sich auf die Integration von Logistik- und Aufwandswerten sowie die Zusammenarbeit mit digitalen Zwillingen konzentrieren, um die Effizienz in Planungsprozessen weiter zu steigern. Ein schneller Fortschritt in der 3D-Visualisierung ist notwendig, um den Rückstand im Tunnelbau gegenüber anderen Baubereichen aufzuholen.

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

SCHLAGWORTE: TIM, BIM, Gebirgsverhaltenstypen, Animation, Unity

1 EINLEITUNG

Bauprojekte werden zunehmend digital durch Building Information Modeling (BIM) und Tunnel Information Modeling (TIM) abgewickelt, um Planungsfehler zu minimieren, Kosten zu senken und Risiken zu reduzieren. TIM ermöglicht eine bessere Entscheidungsfindung durch die Integration diverser Datenquellen und unterstützt den gesamten Lebenszyklus von Tunnelprojekten. Künstliche Intelligenz und autonome Systeme optimieren dabei den Bauprozess, während Visualisierungen, wie VR, das Verständnis erleichtern.

2 THEORIE

Die zunehmende Digitalisierung im Tunnelbau führt zu einer verstärkten Nutzung moderner Methoden wie Building Information Modeling (BIM), das speziell als Tunnel Information Modeling (TIM) im Untertagebau Anwendung findet. TIM ermöglicht eine umfassende Modellierung und Verwaltung von Projektinformationen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks. Dabei spielt der „Digitale Zwilling“ eine zentrale Rolle: Durch bidirektionalen Datenaustausch mit Sensoren und IoT-Technologien unterstützt er die Planung, den Bau und die Wartung von Tunneln in Echtzeit.

Visualisierungspotentiale liegen insbesondere in der präzisen Modellierung von Baugrund und Geologie, was eine verbesserte Planung, Risikobewertung und Entscheidungsfindung ermöglicht. Digitale Modelle erleichtern zudem die Koordination und Kooperation aller Projektbeteiligten und bieten Möglichkeiten für Virtual- und Augmented-Reality-Anwendungen zur besseren Darstellung geotechnischer Bedingungen. Herausforderungen bleiben jedoch die Standardisierung von Datenformaten und die Akzeptanz neuer Technologien in der Branche. [1]

Visualisierungen und die Nutzung von VR (Virtual Reality) sowie die Integration von BIM ist im Hochbau bereits mit sehr großem Potential eingestuft worden. [2] Im Tunnelbau muss dieser Schritt nun ebenfalls folgen.

3 SOFTWAREVERGLEICHSANALYSE

Es werden mehrere Softwareprogramme anhand von fünf Hauptkategorien verglichen: Benutzeroberfläche und User Experience, Datenimport, Animationsmöglichkeiten, Bewegung entlang von Pfaden und Kollision, sowie Datenexport. Die analysierten Programme umfassen 3ds Max, Cinema 4D, Blender, TwinMotion, Lumion und Unity. Jede Software zeichnet sich durch unterschiedliche Stärken aus, wobei 3ds Max und Cinema 4D insbesondere durch ihre professionelle Ausstattung und umfangreichen Schulungsmöglichkeiten hervorstechen. Blender überzeugt durch seine Open-Source-Natur und Flexibilität, während TwinMotion und Lumion auf benutzerfreundliche Echtzeit-Visualisierung abzielen.

Im Bereich der Animation bieten 3ds Max und Cinema 4D umfassende Werkzeuge, während Blender durch seine modulare Struktur und Anpassbarkeit überzeugt. TwinMotion und Lumion weisen hingegen eingeschränkte Animations- und Kollisionserkennungsfunktionen auf. Unity bietet eine flexible skriptbasierte Architektur, die es ermöglicht, Animationen unabhängig von Projekten zu erstellen und wiederzuverwenden.

Abschließend wird Unity aufgrund seiner flexiblen, wiederverwendbaren Animationen, die durch C# und die Integration von Datenbanken unterstützt werden, als das geeignetste Programm für die Visualisierung eines Beispielprojekts ausgewählt.

4 ANIMATION EINES BEISPIELS

Als Projekt wird das Baulos H41 des Brennerbasistunnels ausgewählt. Dieses Baulos erstreckt sich vom Portal Sillschlucht bis zum Dorf Pfons, ca. 15 km südlich von Innsbruck. Verwendet wurde nach vorherigen Auswertung das Programm „Unity“.

In dem Baulos liegen 4 verschiedene GVTs vor. Diese wurden im Geotechnischen Bericht charakterisiert. In der folgenden Tabelle sind die ÖNORM 2203-1 [3] beschrieben.

Gebirgsverhalten	Beschreibung
GVT 2	Großvolumige gefüge- und schwerkraftbedingte Ausbrüche, vereinzelt lokales Überschreiten der Scherfestigkeit an Trennflächen
GVT 3	Spannungsbedingte Neubrüche bzw. Plastifizierung des Gebirges in Hohlraumnähe, ev. in Kombination mit gefügebedingten Ausbrüchen
GVT 4	Spannungsbedingte tiefreichende Neubrüche bzw. Plastifizierung im Gebirge mit großen Deformationen
GVT 7	Großvolumige Ausbrüche überwiegend im Firstbereich mit progressiven Scherversagen

Tab. 4-1: Übergeordnete Kategorien von GVTs [4]

4.1 MODELLIERUNG

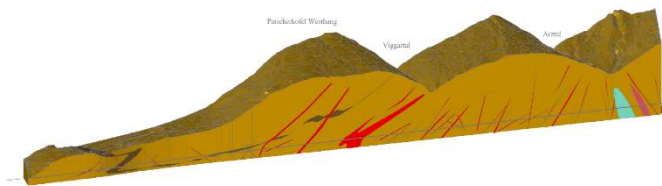


Abb. 4-1: Darstellung des Geologiemoells

Die Geländeoberfläche wird mit CIVIL 3D unter Nutzung von Laserscandaten modelliert und in 3D extrudiert. Geologieabschnitte werden anhand von Längenschnitten und Ausschreibungsunterlagen erstellt. Das Modell wird anschließend in das Programm Unity überführt, wobei das FBX-Format für den Export verwendet wird. Verschiedene Gebirgsverhaltenstypen (GVTs) werden im Modell visualisiert und farblich dargestellt. Die Tunnelquerschnitte werden entlang der Tunnelachse in 1-Meter-Intervallen modelliert, wobei die GVTs und deren prozentuale Verteilung integriert werden

In „Unity“ werden die einzelnen Objekte miteinander verbunden. Die Tunnelbohrmaschine wird als zusätzlicher Körper in das Projekt hineingeladen. Diese besitzt die Funktion zur Darstellung der Bewegung innerhalb des Tunnelkorridors und so wie zur Kollisionsprüfung.

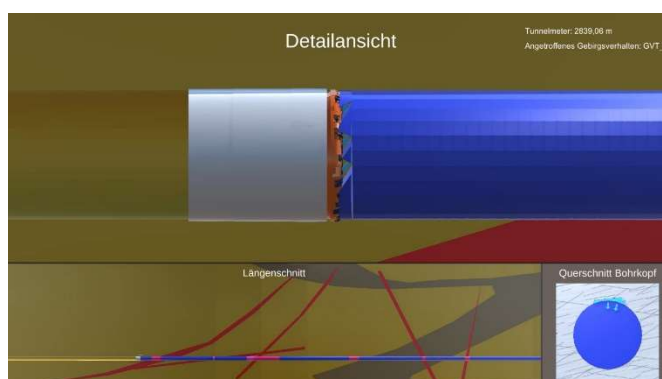


Abb. 4-2: Darstellung vom GVT 2 in Unity

4.2 MEHRWERT UND GRENZEN DER ANIMATION

Die Animation des Gebirgsverhaltens und die Bewegung der Tunnelbohrmaschine (TBM) entlang der Tunnelachse können für andere Tunnelprojekte angepasst werden. Die TBM ist skalierbar und nur visuell relevant. Der Mehrwert der Animation liegt in der Planungs- und Ausführungsphase, indem Aufwandswerte visualisiert, Prognoseunsicherheiten besser dargestellt und die Logistik optimiert werden. Grenzen bestehen in der fehlenden dynamischen Reaktion des Gebirges und dem hohen Aufwand für Partikeleffekte in zukünftigen Projekten.

5 FAZIT

Ziel dieser Masterarbeit war es, verschiedene Softwarelösungen zur Visualisierung und Animation von Gebirgsverhaltenstypen im Tunnel Information Modeling zu vergleichen. Dabei wurden Kriterien wie Datenimport, -export und Animationsmöglichkeiten untersucht. Das Programm „Unity“ wurde aufgrund seiner Modularität und Programmierbarkeit ausgewählt und für die Animation des Bauloses H41 des Brenner Basistunnels verwendet. Die Arbeit zeigt das Potenzial von Animationen, weist jedoch auf Grenzen hin, wie ungenaue Übergänge zwischen Gebirgsverhalten. Diese Arbeit dient als Grundlage für zukünftige Entwicklungen im Bereich der Visualisierung im Tunnelbau.

6 AUSBLICK

Diese Arbeit untersucht sechs Programme zur Visualisierung und Animation im Tunnelbau. Die Animation wurde nur grundlegend umgesetzt, mit Potenzial für die Integration weiterer Gebirgsverhaltenstypen und Effekte. Zukünftige Entwicklungen sollten Aufwandswerte und Logistik beinhalten, um die Nutzbarkeit mittels Digitalem Zwilling und Datenbank zu verbessern. Erweiterungen auf konventionellen Vortrieb und tiefere Studien könnten die Planungsprozesse erleichtern.

7 QUELLEN

- [1] DAUB-Arbeitskreis, Hg., *Modellanforderungen - Teil 3: Baugrundmodell*, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.daub-ita.de/fileadmin/documents/daub/gtcrec5/2022-08_DAUB_BIT_Modelanforderungen_T3_Baugrundmodell_Rec_DE.pdf
- [2] A. David, E. Joy, S. Kumar und S. J. Bezaleel, "Integrating Virtual Reality with 3D Modeling for Interactive Architectural Visualization and Photorealistic Simulation: A Direction for Future Smart Construction Design Using a Game Engine" in *Lecture Notes in Networks and Systems Ser*, v.300, *Second International Conference on Image Processing and Capsule Networks: Icipcn 2021*, J. I.-Z. Chen, Hg., Cham: Springer International Publishing AG, 2021, S. 180–192, doi: 10.1007/978-3-030-84760-9_17.
- [3] Austrian Standards, Hg., *ÖNORM B 2203-1: Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm*. Teil 1: Zyklischer Vortrieb, 2023. Aufl.
- [4] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, *Richtlinie Geotechnische Planung von Untertagebauten Zyklischer und Kontinuierlicher Vortrieb: Gebirgscharakterisierung und Vorgangsweise zur nachvollziehbaren Festlegung von bautechnischen Maßnahmen während der Planung und Bauausführung*, 2023.