



Berg Huettenmaenn Monatsh (2023) Vol. 168 (12): 596–600
<https://doi.org/10.1007/s00501-023-01412-w>
 © The Author(s) 2023

BHM Berg- und
Hüttenmännische
Monatshefte

Interdisziplinärer Ansatz zur Implementierung von BIM im Tunnelbau

Karoline Moser, Julia Schmelz, Lucas Weitering und Philipp Zeni

Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

Angenommen 15. November 2023; online publiziert 12. Dezember 2023

Zusammenfassung: Das Projekt „Interdisziplinärer Ansatz zur Implementierung von BIM im Tunnelbau“ erforscht die Integration von Building Information Modeling (BIM) im Tunnelbau. Ziel ist die bessere Zusammenarbeit und Koordination durch die Nutzung von BIM-Technologien. Durch Fallstudien und Untersuchungen sollen wertvolle Erkenntnisse für die Integration von BIM in zukünftige Tunnelbauprojekte gewonnen werden.

In Zusammenarbeit mit verschiedenen Lehrstühlen an der Montanuniversität Leoben konzentriert sich das Projekt auf das Tunnelsystem ZaB – Zentrum am Berg, eine Untertage Forschungsanlage der Montanuniversität Leoben am steirischen Erzberg, das die Einführung eines BIM-fähigen Standards für zukünftige Tunnelprojekte anstrebt.

Die Digitalisierung im Tunnelbau ist aufgrund fehlender effizienter Infrastrukturtechnik notwendig. Dieses Projekt zielt darauf ab, durch die Kombination von Fachwissen aus verschiedenen Bereichen umfassende Lösungen für die Digitalisierung im Tunnelbau zu schaffen.

Langfristig strebt das Projekt die Etablierung einer integrierten Softwarelösung für den Tunnelbau an. Es setzt auf Kollaboration und interdisziplinäres Wissen, um die Implementierung von BIM im Tunnelbau zu erleichtern.

Schlüsselwörter: BIM-Implementierung, Digitalisierung im Tunnelbau, Geotechnik, Softwareintegration, Infrastrukturplanung

Interdisciplinary Approach on Implementing BIM in Tunneling

Abstract: The project “Interdisciplinary Approach to Implementing BIM in Tunneling” aims to explore the integration of Building Information Modeling (BIM) in tunneling,

geotechnics, and underground construction. The focus is on improving collaboration, coordination, and information exchange. Through an examination of the current state of BIM technologies in tunneling and in-depth case studies, this research project seeks to provide valuable insights and recommendations for effectively integrating BIM into future tunneling projects.

This project, a collaboration between the Chair of Subsurface Engineering, the Chair of Information Technology, and the Industrial Data Science Bachelor’s program at Montanuniversität Leoben, centers around the tunnel system ZaB—Zentrum am Berg, an underground research facility of the University of Leoben at the Erzberg in Styria. The objective is to establish a BIM-capable standard for future tunneling projects, with a particular emphasis on the ZaB. The absence of an efficient infrastructure technology solution in tunneling necessitates digitalization. However, adapting to existing standards, integrating software, and promoting interdisciplinary collaboration pose significant challenges. To address these complexities, this project combines expertise from various fields to pave the way for comprehensive digitalization solutions.

In the long term, this project envisions establishing an integrated software solution akin to those used in building construction. By relying on collaboration and multidisciplinary knowledge, the project aims to facilitate BIM implementation in.

Keywords: BIM Integration, Tunneling digitalization, Geotechnics and BIM, Tunneling visualization, Software integration challenges, Industry transformation

1. Einführung

Das Projekt „Interdisciplinary Approach on Implementing BIM in Tunneling“, auf deutsch „Interdisziplinärer Ansatz zur Implementierung von BIM im Tunnelbau“, zielt darauf ab, die Integration von Building Information Modeling (BIM) im Bereich des Tunnelbaus, der Geotechnik und des Untertagebaus zu erforschen und weiterzuentwickeln. Dabei liegt

L. Weitering, BSc (✉)
 Montanuniversität Leoben,
 Franz Josef-Straße 18,
 8700 Leoben, Österreich
lucas.weiering@stud.unileoben.ac.at

der Fokus auf der Verbesserung der Zusammenarbeit, der Koordination und dem Informationsaustausch. Durch eine Untersuchung des aktuellen Standes der BIM-Technologien im Tunnelbau und durch tiefgehende Fallstudien möchte dieses Forschungsprojekt wertvolle Einblicke und Empfehlungen für die effektive Integration von BIM in zukünftige Tunnelbauprojekte bieten.

Dieses Projekt ist eine Zusammenarbeit zwischen dem Lehrstuhl für Subsurface Engineering, dem Lehrstuhl für Informationstechnologie und dem Bachelor-Studiengang Industrial Data Science an der Montanuniversität Leoben. Im Zentrum steht ein Tunnelprojekt im Erzberg-Gebiet, das die Einführung eines BIM-fähigen Standards für zukünftige Tunnelprojekte anstrebt und dabei insbesondere die Untertageforschungsanlage Zentrum am Berg (ZaB) in den Fokus nimmt (Abb. 1).

Die Abwesenheit einer effizienten Infrastrukturtechniklösung im Tunnelbau macht die Digitalisierung in der Branche erforderlich. Die Anpassung an bestehende Standards, die Integration bestehender Softwares und die Förderung interdisziplinärer Zusammenarbeit stellen jedoch erhebliche Herausforderungen dar. Um diese Komplexitäten zu bewältigen, vereint dieses Projekt Fachkenntnisse aus verschiedenen Bereichen, einschließlich dem Subsurface Engineering und der Informationstechnologie, um den Weg für umfassende Digitalisierungslösungen zu ebnet.

Mit der langfristigen Vision, eine integrierte Softwarelösung ähnlich der typischen Gebäudekonstruktion im Hochbau zu etablieren, symbolisiert dieses Projekt einen bedeutenden Schritt zur Transformation des Tunnelbaus. Durch

die fachübergreifende Zusammenarbeit mit dem Ziel, multidisziplinäre Erkenntnisse zu gewinnen, verfolgt das Projekt einen effizienten Ansatz, um die Implementierung von BIM im Tunnelbau zu erleichtern und so zur Weiterentwicklung der gesamten Tiefbaubranche beizutragen.

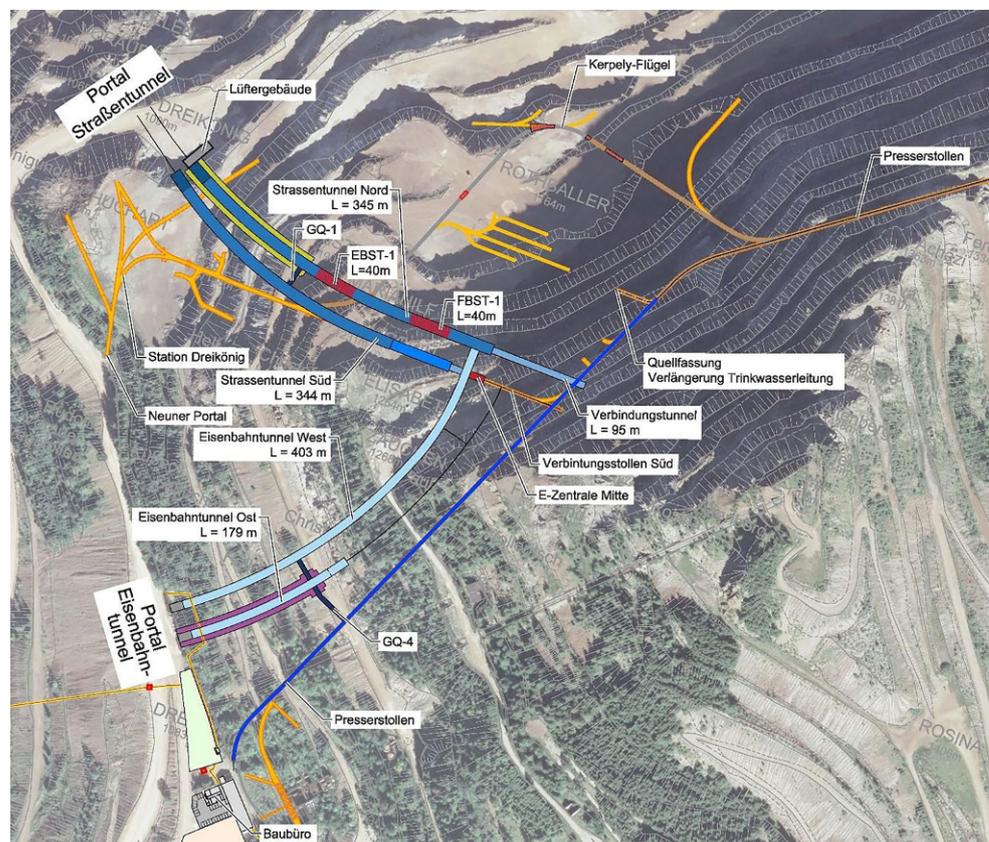
2. Literaturrecherche

Building Information Modeling (BIM) hat die Baubranche revolutioniert, indem es einen digitalen Prozess für das Design, die Konstruktion und das Management von Strukturen, einschließlich Tunneln [1], bietet. Diese Zusammenfassung hebt die Bedeutung von BIM im Tunnelbau hervor und konzentriert sich auf Messmethoden, BIM-Standards und die Herausforderungen bei deren Einführung.

2.1 Messungen im Tunnelbau

Akkurate Messungen sind im Tunnelbau von äußerster Wichtigkeit, um Sicherheit, Effizienz und Erfolg zu gewährleisten. Sie spielen eine entscheidende Rolle, von den initialen Planungsphasen bis hin zur laufenden Wartung. Präzise Messungen überwachen die Gebirgsstabilität und erkennen potenzielle Risiken. Auch geben sie unerlässliche Einblicke in geotechnische Aspekte und helfen bei der Beurteilung von vorliegenden Bodeneigenschaften [2]. Des Weiteren stellen sie sicher, dass der Tunnel den Designspezifikationen entspricht, und überwachen den Baufortschritt

Abb. 1: Lageplan Zentrum am Berg (ZaB), Erzberg



und die Qualitätskontrolle. Letztlich tragen genaue Messungen auch unterstützend für die Kostenabschätzung, die erforderlichen Wartungsarbeiten und zur Leistungsbewertung bei [3].

2.2 BIM Standard

BIM hat sich von einer 2D-Repräsentation zu den heutigen vielfältigen datenreichen Modellen entwickelt, die über die 3D-Raummodellierung hinausgehen. Beispiele dafür sind die abzubildende Zeit, die entstehenden Kosten, das Lebenszyklus-Management sowie die Verwaltung von Anlagen. In Tunnelbauwerken verbessert BIM die Designkoordination, die Kollisionsdetektion und die Risikoverminderung [1]. Die Einführung von BIM im Tunnelbau ist jedoch nicht ohne Herausforderungen. Die besonderen Eigenschaften von Tunnelprojekten verkomplizieren die Einführung standardisierter Verfahren. Interoperabilitätsprobleme entstehen aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Softwaretools mit nicht standardisierten Dateiformaten [4].

2.3 IFC Standard

Der Industry Foundation Classes (IFC)-Standard erleichtert den Informationsaustausch zwischen BIM-Softwareprogrammen. Obwohl IFC 4.3 der Standard für Tunnelerweiterungen des IFC-Datenformats für Gebäudebauprojekte ist, wurden einige notwendige Anwendungsmethoden für die vollständige Nutzung des IFC-Standards und von BIM im Tunnelbau noch nicht implementiert. Beispielsweise ist es noch nicht möglich, die geologische Beschreibung des Untergrundes oder die Setzungsüberwachung in der IFC-Datenbank zu speichern [5].

2.4 Überwachung der Verschiebungen

Die Überwachung von Bodenverformungen während der Bauphase ist von großer Bedeutung. Die Digitalisierung dieses Prozesses ist allerdings noch stark ausbaufähig. Zwei potenzielle Datenstrukturen für die digitale Setzungsüberwachung, lfcSensor und SensorML, wurden diskutiert. lfcSensor integriert Sensordaten in die BIM-Struktur, während SensorML eine XML-basierte Datenübertragungsoption zur Verarbeitung von Messdaten bietet [6].

2.5 Relevanz für das Projekt

Das Projekt zielt darauf ab, Messungen von Verschiebungen im Tunnelbau mithilfe der Revit-Software zu visualisieren. Der potenzielle Nutzen von BIM im Tunnelbau wurde bereits erkannt, allerdings erschweren verschiedene Herausforderungen, wie das Projektausmaß, der Zeitplan sowie die spezifischen Anforderungen und Charakteristika, eine vollständige Einführung. Der Fokus des Projekts auf die Setzungsüberwachung hat den Bedarf an digitalen Lösungen

verdeutlicht, wobei lfcSensor und SensorML als potenzielle Optionen auftauchen.

Zudem bietet BIM transformative Vorteile für Tunnelbauprojekte. Die vollständige Einführung wird jedoch durch Herausforderungen im Zusammenhang mit Standardisierung, Interoperabilität und den Besonderheiten von Tunnelbauprojekten behindert.

3. Ein Ansatz für BIM im Tunnelbau

Der erste Schritt zur Integration von BIM ist die Herstellung einer Datenbankanbindung. Ein Anbieter für die Speicherung von Messdaten im Tunnel- und Tiefbau ist die Firma Geodata.

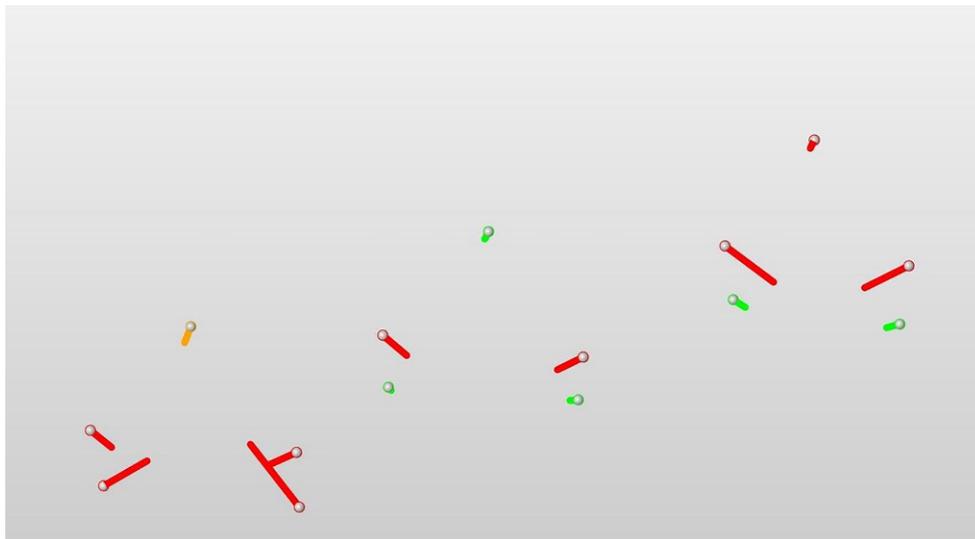
Da die Montanuniversität Leoben und Geodata bereits im Vorfeld gemeinsam an verschiedenen Projekten zusammengearbeitet haben, wurde die Diskussion mit Vertretern dieser Firma gesucht, um die Nachfrage und das Angebot hinsichtlich benötigter echtzeitfähiger Datenbankanbindungen zu besprechen. Solche Anbindungen sind essentiell, um einen BIM-fähigen Modellierungsprozess in Anwendungen, wie etwa Autodesk Revit, zu etablieren. Eine solche Schnittstelle steht derzeit jedoch noch nicht zur Verfügung.

Um diese Schwierigkeit zu überwinden, wurde eine BIM-fähige Datenbankverbindung simuliert. Ein solcher Ansatz ist für den verfolgten Proof-Of-Concept-Ansatz ausreichend. Es sei darauf hingewiesen, dass dieser Ersatz nicht als tatsächlicher Bestandteil eines BIM-Ansatzes betrachtet werden soll, sondern als eine effiziente Lösung, um dieses Projekt weiter verfolgen zu können. Da nun eine simulierte Verbindung zu einer Datenbank hergestellt wurde, die alle notwendigen Daten liefert, konnte der auf die Modellierung und Visualisierung ausgerichtete Teil des Projekts beginnen.

Der Fokus wurde auf die Erstellung erster Prototypen zur Visualisierung der Verschiebungen der Reflektoren gelegt. Mithilfe des umfassenden und leistungsstarken Modellierungswerkzeugs Autodesk Revit 2023 wurde versucht, den Anforderungen von Architekten, Ingenieuren und weiteren Anwendern von BIM in Infrastrukturprojekten gerecht zu werden. Erklärtes Ziel war es, eine Verbindung zwischen Revit und KRONOS, der von Geodata entwickelten Geologiedatenanalyse-Software, herzustellen, um die gewonnenen Erkenntnisse für aussagekräftige Visualisierungen zu nutzen. Mit Visual Studio als integrierter Entwicklungsumgebung und den weitreichenden Möglichkeiten der Programmiersprache C# in Kombination mit der Revit-API konnten verschiedene Funktionalitäten implementiert werden.

Im Mittelpunkt des Projekts stand die sorgfältige Integration einer speziellen Funktionalität zur Visualisierung von Verschiebungen innerhalb des Tunnels. Im Speziellen ging es dabei um die Erstellung und Darstellung von Linien und Kugeln zur Veranschaulichung dieser Verschiebungen. Die Komplexität ergab sich aus dem komplizierten Zusammenspiel zwischen den geometrischen Konstruktionen und den Parametrisierungen von Autodesk Revit. Der Weg zur Lösung war geprägt von innovativen Umgehungs-lösungen und Ideen, bei denen neuartige Anwendungen der API zum Vorschein kamen, die es ermöglichten, die im Rah-

Abb. 2: Überhöhte Darstellung der Verformungen der Tunnelschale



men des Projekts angestrebte Darstellung von Gesteinsverschiebungen mit verbesserter Präzision und Effizienz zu konkretisieren.

Autodesk Revit bietet die Möglichkeit, ein maßgeschneidertes Menüsystem nach den Vorgaben des Entwicklers zu erstellen. Dieses System ermöglicht den Entwurf und die Bereitstellung einzelner Skripten, die jeweils eigene Funktionen erfüllen und zusammen einen hochgradig anpassungsfähigen Ansatz für BIM ermöglichen. Für dieses Projekt wurden Anwendungen erstellt, die dem Benutzer die Kontrolle über die Visualisierung der Bewegung der an der Tunnelwand angebrachten Reflektoren geben.

4. Technische Details

Die Verwendung des so genannten Ribbon Panels, der Symbolleiste am oberen Rand des Revit-Fensters, hat sich als äußerst hilfreiches Werkzeug erwiesen, wenn es darum geht, eine verständliche und reproduzierbare Anwendung zu erstellen. Das Ribbon Panel wurde ähnlich der bereits bestehenden Menüleiste entwickelt und bietet eine spezielle Schnittstelle für die Ausführung von Funktionen und Skripten. Der Entwicklungsprozess wurde von der komplexen Architektur der Revit-API geleitet, ergänzt durch eine Ansammlung verschiedener Hilfsmaterialien, wie YouTube Tutorials oder diversen Websites. Es ist anzumerken, dass sich der Bereich der Digitalisierung im Tunnelbau in Verbindung mit BIM-Ansätzen noch in einer frühen Phase befindet, was sich auf den Umfang des verfügbaren Wissens auswirkt. Dies gilt auch für den Bereich der Revit-API.

Die Simulation der Datenbankverbindung erfolgt durch die Verwendung von sogenannten PRP-Dateien. Diese Dateien vereinfachen die Abfrage und bieten eine intuitive Möglichkeit der Kommunikation mit unserer simulierten Datenbankverbindung. Eingelesen werden diese PRP-Dateien durch selbst geschriebene C# Skripte, welche den Import und das Verarbeiten der Daten ermöglichen.

Beim Festlegen der Rahmenbedingungen wurde die pragmatische Entscheidung getroffen, den Datenimport durch das Parsen von PRP-Dateien mit Reflektorkoordinaten zu bewerkstelligen. Anschließend wurden die Daten verfeinert, um eine kompakte Vektorwiedergabe der Verschiebungen zu erzeugen. Um die Einfachheit dieses Ansatzes zu verdeutlichen, umfasst die resultierende Visualisierung die Synthese von Linien in der Revit-Umgebung. Jeder dieser Vektoren wird jeweils von einer Kugel angeführt, die den Ursprungspunkt des Reflektors repräsentiert (Abb. 2). Die für die Linien verwendete Farbkodierung, die auf der Größe der Verschiebungen basiert, liefert eine klare visuelle Klassifizierung, die eine einfache und intuitive Darstellung ermöglicht.

5. Künftige Arbeiten und Ausblick

Wenn wir über die Herausforderungen nachdenken, die während des Projekts aufgetreten sind, erkennen wir, dass diese Schwierigkeiten den Weg für wertvolle zukünftige Möglichkeiten geebnet haben. Die Komplexität der Revit-API, verbunden mit dem Mangel an Online-Ressourcen und kryptischen Fehlermeldungen, machte deutlich, wie wichtig es ist, die verfügbaren Wissensbestände zu erweitern. Die Einarbeitung in Software-Tools wie Revit, AutoCAD und Visual Studio sowie das Erlernen von Programmiersprachen wie C# zeigten den Wert der technischen Vielseitigkeit und Anpassungsfähigkeit.

Zukünftige Projekte können von einer Erweiterung der Funktionen zur Visualisierung profitieren. Dazu gehört die Implementierung erweiterter Optionen zur selektiven Anzeige vollständiger Messverläufe oder zur ausschließlichen Konzentration auf Anfangs- und Endpunkte. Die Anpassung von Farbdarstellungen für Verformungen in Kombination mit der Visualisierung von individuellen Querschnittsprofilen wird eine reichhaltigere Analyse ermöglichen. Die Erstellung einer autonomen Navigation durch Abschnitte wird die detaillierte Analyse erleichtern. Längsverformungsschnitte können mit umfassenden Revit-Tunnelmo-

dellen und präzisen Messungen entlang der Tunnelachse eingeführt werden.

Bei zukünftigen Bemühungen bleibt die Datenintegration von zentraler Bedeutung. Eine Integration einer Schnittstelle, die den Abruf von Daten in Echtzeit ermöglicht, ist sehr vielversprechend. Die Verwendung solcher Schnittstellen steht im Einklang mit der fortschreitenden BIM-Vision für den Tunnelbau und die Infrastrukturplanung. Zudem wirken sie der aktuellen Abwesenheit standardisierter Verfahren in diesem Bereich entgegen. Zusätzlich ermöglicht die Integration weiterer Daten aus Datenbanken, wie beispielsweise Informationen über die geologische Beschaffenheit entlang der Tunnelachse, wertvolle Einblicke in geologische Aspekte.

Der Ausbau einer umfassenden Online-Dokumentation im Bereich der Revit-Programmierung könnte im Mittelpunkt eines unabhängigen Projekts stehen. Durch die Erstellung einer umfassenden Dokumentation mit anschaulichen Programmierbeispielen kann diese Initiative die Lernkurve künftiger Projekte positiv beeinflussen. Anleitungen und Tutorials, die über Plattformen wie YouTube verbreitet werden, können den Zugang zu essentiellen Wissen erweitern. Optimalerweise sollte ein solches Vorhaben in Zusammenarbeit mit Autodesk durchgeführt werden.

Das Industrial Data Science Projekt zeigt die aktuelle Bedeutung der Digitalisierung im Tunnelbau auf. Die Sensibilisierung von Hochschulen, Forschungseinrichtungen und der Industrie ist entscheidend. Diese Verbreitung von Wissen wird die Qualität, Sicherheit und Kosteneffizienz von Tunnelbauprojekten steigern. Der Einsatz der Digitalisierung hat das Potenzial, verschiedene Aspekte des Tunnelbaus zu revolutionieren und die Effizienz sowie die Ergebnisse zu verbessern.

Dieses Projekt ist eine Bestandsaufnahme des aktuellen Standes der Digitalisierung im Tunnelbau und soll einen Grundstein nachfolgende Arbeiten legen. Die Umsetzung der vorgeschlagenen Ideen stellt einen bedeutenden Fortschritt bei der Integration digitaler Technologien im Tunnelbau dar und optimiert die Projektplanung und -ausführung.

Gleichzeitig stellen sich Fragen nach der Eignung von Revit für BIM-Anwendungen und dessen mögliche Rolle bei zukünftigen Infrastrukturprojekten. Die Beantwortung dieser Fragen erfordert eine Definition des Anwendungsbereichs von BIM in der Infrastrukturplanung und die Berücksichtigung der sich entwickelnden Landschaft von Softwaretools. Ein neues Paradigma für die Tunnelplanung, das sich an die BIM-Standards anpasst, ist von entscheidender Bedeutung. Dies erfordert die Bewältigung der Komplexität von Softwareumgebungen und die Förderung interdisziplinärer Ausbildungen im Bauwesen und der Informatik.

Im Wesentlichen haben die Schwierigkeiten, mit denen wir konfrontiert wurden, Wege für zukünftige Fortschritte aufgezeigt. Durch eine interdisziplinäre Ausbildung, die Verfeinerung technischer Fähigkeiten und die Erweiterung der Wissensbestände können künftige Ingenieur:innen

ähnliche Projekte mit Einfallsreichtum und Zuversicht erfolgreich bewältigen. Die Ergebnisse dieses Projekts zeigen nicht nur neue Wege für die Infrastrukturplanung auf, sondern schaffen die Grundlage für aufschlussreiche Diskussionen, wie die von Professor Galler im Berg- und Hüttenmännischen Monatsheft (BHM) geführte, die sich mit den Herausforderungen bei der Einführung eines BIM-Standards im Tunnelbau befasst.

Danksagung. Wir bedanken uns bei Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert Galler für die Bereitstellung der notwendigen Ressourcen und für seine unermüdete Unterstützung während des gesamten Projekts sowie für die Einführung in die Welt des Tunnelbaus. Unser Dank gilt auch Herrn Dipl.-Ing. Robert Wenighofer und Herrn Dipl.-Ing. Alexandros Evangelatos für die konsequente Führung und Betreuung des Projektes. Wir bedanken uns bei Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Auer und Dipl.-Ing. Dr. mont. Martin Antenreiter für die Betreuung des Kurses und für ihre unschätzbaren Einblicke in die Informatik. Diese Arbeit ist der Erinnerung an Erik Weitering gewidmet.

Funding. Open access funding provided by Montanuniversität Leoben.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Steiner, S.: BIM Projektplanung im Tunnelbau: Planungsprozesse für den Bergmännischen Vortrieb (2018)
- Skibniewski, M.J.: Information technology applications in construction safety assurance (2014). <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.987693>
- Luo, Y., Jianxun Weizheng Pengyu Xiong Xianghui, C.X.Z.Q.D.L.Q.: Analysis of tunnel displacement accuracy with total station. **83**, 29–37 (2016)
- Mazak-Huemer, A., Galler, R., Wenighofer, R., Vierhauser, M., Huemer, C.: BIM-basierte digitale Transformation im Untertagebau anhand von zwei anwendungsorientierten Forschungsprojekten. (2020). <https://doi.org/10.1007/s00501-020-01053-3>
- Building Smart International: IFC-tunnel project, report WP2: requirements analysis report (RAR) (2020)
- Building Smart International: Industry Foundation Classes 4.0.2.1, Version 4.0—Addendum 2—Technical Corrigendum 1 (2020)

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.