

ENDBERICHT

Interdisziplinäres BIM-basiertes Planungs-, Bau- und Betriebsprozessmanagement im Tunnelbau

1 ZIELE UND ERGEBNISSE

Arbeiten am AP „Nutzungsanforderung“ wurden abgeschlossen. Die zu implementierenden Anwendungsfälle (AwF) wurden spezifiziert. Konkret sind das die Fortschreibung des 3D-Fachmodells, die digitale Bauwerksdokumentation und die automatisierte Abrechnung. Weiters wurde ein digitaler Referenzprozess entworfen, der eine vollständig automatisierte Abrechnung ermöglicht. Darüber hinaus wurde ein Vorlagedokument der Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) und des BIM-Abwicklungsplans (BAP) erstellt.

Arbeiten am AP „Implementierung“ stehen kurz vor dem Abschluss. Zu den genannten AwF wurden konkrete Softwareartefakte erstellt. Eine zentrale Rolle spielt das von uns entwickelte Tunnelinformationsmanagementsystem (TIMS). Ein Implementierungsrichtlinie für Industry Foundation Classes (IFC) in der Bauausführung wurde erstellt. Weitere tunnelbauspezifischen Empfehlungen sind in Ausarbeitung.

Die Arbeiten im AP „Demonstration“ wurden gestartet. Ein Teil der definierten AwF wurden bereits mit Daten des Zentrums am Berg (ZAB) demonstriert. Beispielsweise wurde eine vollständig automatisierte Abrechnung eines Vortriebsmonates des ZABs durchgeführt.

2 ARBEITSPAKETE UND MEILENSTEINE

2.1 Übersicht

Table 1: Fortschritt der Arbeitspakete (AP)

AP	Bezeichnung	Fortschritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
1	Projektmanagement	66 %	Siehe MS 1-3.
2	wissenschaftliche Projektleitung	66 %	Siehe MS 4-6.
3	BIM-Readyness	100 %	Siehe MS 7-10.
4	Nutzungsanforderung	100 %	Siehe MS 11-14.
5	Implementierung	75 %	Siehe MS 15-17.
6	Demonstration	50 %	Siehe MS 18-20.
7	Dissemination	66 %	Siehe MS 21-22.

Table 2: Meilensteine (MS, falls definiert)

M S	Bezeichnung	bisheriger Termin	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
AP 1: Projektmanagement			
1	Projektstart	2020-06	Der Projektstart ist ohne Abweichungen erfolgt.
2	Konsortialvertrag	2020-06	Die Unterzeichnung des Konsortialvertrags ist durchgeführt.
3	Projektabschluss	2023-06 2023-12	Gegenwärtig nicht relevant
AP 2: wissenschaftliche Projektleitung			
4	Projektstart	2020-06	Der Projektstart ist ohne Abweichungen erfolgt.
5	Zwischenberichte	2022-06 2022-12	Mit diesem Dokument liegt der zweite Zwischenbericht vor. Im Einvernehmen mit den Projektpartnern und der FFG wurde das zweite Forschungsjahr auf Dezember 2022 verlängert.
6	Projektabschluss	2023-06 2023-12	Gegenwärtig nicht relevant
AP 3: BIM-Readyness			
7	Status-Quo-Bericht über Pilotprojekte und Erfahrungen mit BIM-Softwaretools	2020-12	Die bisherigen Erfahrungen und der Status-Quo in Bezug auf BIM wurden für die Phasen Planung, Bau und Betrieb bei den Projektpartnern erhoben. Daraus ergaben sich Erkenntnisse über den aktuellen

M S	Bezeichnung	bisheriger Termin	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
			<p>Prozess und die aktuell verwendeten Softwarewerkzeuge. Es hat sich gezeigt, dass sich speziell für nicht tunnelbauspezifische Aufgaben und für Planungsaufgaben einige Softwareprodukte als de-facto Standard etablieren. Die Mehrheit dieser Produkte ist jedoch als Closed-BIM einzustufen. Umgekehrt konnten für die tunnelbauspezifische Bauausführung keine etablierten Softwareprodukte gefunden werden, die eine BIM-orientierte Arbeitsweise ermöglichen.</p>
8	<p>Erhebungsbericht über die Open-BIM-Tauglichkeit, IFC-Kompatibilität und benutzerdefinierte Erweiterbarkeit von BIM-Softwaretools</p>	2020-12	<p>Die Softwarelandschaft im Tunnelbau wurde in Hinblick auf verfügbare IFC-Schnittstellen untersucht. Da bis dato kein IFC-Modell für den Tunnelbau veröffentlicht wurde, bedient man sich häufig proprietärer Datenformate wie RVT, DXF und DWG. Die Erweiterbarkeit von Software beruht im Wesentlichen auf der Verfügbarkeit einer API (Automation Programming Interface). Beispielsweise stehen für Revit APIs für C#, Python und Dynamo zur Verfügung. Die Mehrheit der Anwendungen verfügt jedoch über keine API, weshalb man auf eine Dateiaustausch angewiesen ist.</p>
9	<p>Festlegung der Softwaretools für eine prototypische Plugin/Addin-Implementation</p>	2020-12	<p>Aufbauend auf den Erkenntnissen aus dem MS 8 wurden im Tunnelbau übliche Softwareprodukte auf die Möglichkeit einer Implementierung von Plugins oder eines Datenaustausches untersucht. Es wurden die Softwaretools Civil3D, Revit, TUGIS, ABK und iTWO als die am für einen digitalen Datenaustausch am wesentlichsten Softwaretools identifiziert.</p>
10	<p>Erhebungsbericht über IST-Prozesslogik, -</p>	2020-12	<p>Der Dokumentationsprozess ist zeitaufwändig und kostenintensiv. Der</p>

M S	Bezeichnung	bisheriger Termin	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
	Prozessmodell und - Informationsverläufe in Infrastrukturprojekten		Prozess ist von wechselseitigen Medienbrüchen und einer nachträglichen Digitalisierung von Papierdokumenten geprägt. Regelmäßig kommt es zu fehleranfälligen Doppeleingaben von Daten. Digitale Daten liegen oftmals in unstrukturierter und nicht maschinenlesbarer Form vor. Daten sind oftmals auf vielen verschiedene Orte verteilt und es lässt sich ein Zeitversatz zwischen der Entstehung der Daten bis zur Nutzung beobachten.
AP 4: Nutzungsanforderung			
11	Anforderungskatalog für den BIM-basierten Referenzprozess	2021-09	Aufbauend auf den Erkenntnissen aus dem AP 10 wurde das Konzept von sogenannten Datadrops entwickelt. Datadrops ermöglichen den Austausch von Artefakten inklusive ihrer Metadaten. Dieses Konzept wurde ebenfalls prototypisch implementiert.
12	Zusammenstellung der AIA, den BAP und die AwF für den Referenzprozess	2021-09	Es wurde eine Vorlage eines AIAs, BAPs und der AwF für den konventionellen Tunnelbau erstellt.
13	Anforderungskatalog für die Digitalisierung des NATM-Vortriebs und der baubetrieblichen Projektentwicklung	2021-09	Es wurde ein Datenmodell zur Dokumentation eines zyklischen Vortriebs erarbeitet. Das Modell stellt die Grundlage für einen vollständig digitalen Datenfluss von der Ortsbrust zur Abrechnung dar. Die Datenstruktur der BIM-Elemente (Stützmittel wie Anker) wurde in die Vorlage integriert.
14	Pflichtenhefterstellung der PropertySet- Bibliothek	2021-09	Ein Großteil des Pflichtenhefts wurde mit dem Bauwerksmodell im AIA Dokument abgebildet. Darüber hinaus wurde eine Implementierungsrichtlinie für einen IFC-basierten Datenaustausch für den zyklischen Tunnelvortrieb erstellt.

M S	Bezeichnung	bisheriger Termin	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
			Ferner wurde ein Datenmodell für den Baugrund erarbeitet.
AP 5: Implementierung			
15	Auf den Tunnelbau und seine elektromaschinelle Ausrüstung abgestimmte PropertySet-Bibliothek	2022-12 2023-06	Dieser MS wird derzeit bearbeitet.
16	Softwaretechnische Umsetzung von Plugins/Addins BIM-kompatibler Softwaretools	2022-12 2023-06	Es wurde der Softwareprototyp TIMS entwickelt, der als zentrale Datendrehscheibe für die Dokumentation von Tunnelbauprojekten mit zyklischem Vortrieb dient. Im Softwareprototyp gelingt der bidirektionale Austausch mit dem am häufigsten verwendeten BIM-Softwaretool Revit. Der Softwareprototyp beherrscht zudem den Datenexport zur Weitergabe eines ÖNORM-Datenträgers an AVA-Programme wie iTWO oder ABK.
17	Bericht über die IFC-Empfehlung an IFC-Tunnel betreffend umgesetzte AwF und die Dateninteroperabilität sowie alternative Standards	2022-12 2023-06	Dieser MS wird derzeit bearbeitet.
AP 6: Demonstration			
18	Durchführung des Datenaustauschs für die spezifizierten AwF	2023-06 2023-12	Ein Datenaustausch für einen Teil der AwF wurde durchgeführt.
19	Testlauf benutzerdefinierter Addins/Plugins	2023-06 2023-12	Testläufe finden derzeit mit TIMS statt. Darüber wird das ZAB als Testumgebung für erweiterte Realität herangezogen.
20	BIM-Modell des ZaB entsprechend dem Leitfaden zur Modellierung	2023-06 2023-12	Das BIM-Modell liegt als Modell der Ausschreibung einschließlich Elementen des Innenausbau (Innenschale, Widerlager etc.) vor.

M S	Bezeichnung	bisheriger Termin	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
AP 7: Dissemination			
21	Bereitstellen von Plugins entsprechend der Open-Source Strategie	2023-06 2023-12	Für diesen Meilenstein finden derzeit keine Tätigkeiten statt.
22	Bereitstellen des Leitfadens betreffend Modellierung, die AIA, die AwF und den BAP via ÖBV	2023-06 2023-12	Für diesen Meilenstein finden derzeit keine Tätigkeiten statt.

2.2 Beschreibung der durchgeführten Arbeiten

2.2.1 AP 4: Nutzungsanforderung

Im Rahmen des Arbeitspakets 4 wurden zwei Vorlagendokumente zu den Nutzungsanforderungen für Projekte mit konventionellem Tunnelvortrieb erstellt. Die Vorlagen für die AIA und den BAP beinhalten grundlegende Referenzprozesse in der Planungsphase, die Bau- und Betriebsphase mit den entsprechenden BIM-Anwendungsfällen (AwF). Als AwF werden Verwendungszwecke bezeichnet, die mithilfe von BIM im Zuge des Projektes bearbeitet werden und die primär zu der Erfüllung der definierten BIM-Ziele führen. Die vorgestellten BIM-Planungskonzepte sorgen für nahtlose Überleitung der digitalen Planungsdaten in Ausschreibungs- und Angebotsunterlagen (AwF 10) sowie Dokumentation der Bauabläufe (AwF 12) und des Ressourceneinsatzes auch hinsichtlich digitalisierbarer Bauprozesse (AwF 14) sowie die Erstellung des finalen As-built-Modells. Angelehnt an die entsprechenden AwF wurden Informationsanforderungen der Elementklassen für die Digitalisierung des NATM-Vortriebs angeführt, mit der Angabe der entsprechenden Informationstiefe (LOI), Merkmalsets und weiteren Eigenschaften. Basierend auf der AIA-Vorlage wurde ein Modellierungsleitfaden mit entsprechenden BIM-Projektrollen zur Abwicklung der im BAP subsumierten AwF erstellt.

Im Berichtszeitraum wurde ebenfalls ein Referenzprozess entworfen (Abbildung 1), der eine digitale Abrechnung für NÖT Projekte ermöglicht [14]. Der Fokus liegt dabei auf Projekten mit bautechnischen Leistungsbeschreibungen, die auf der Standardisierte Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur (LB-VI) basieren.

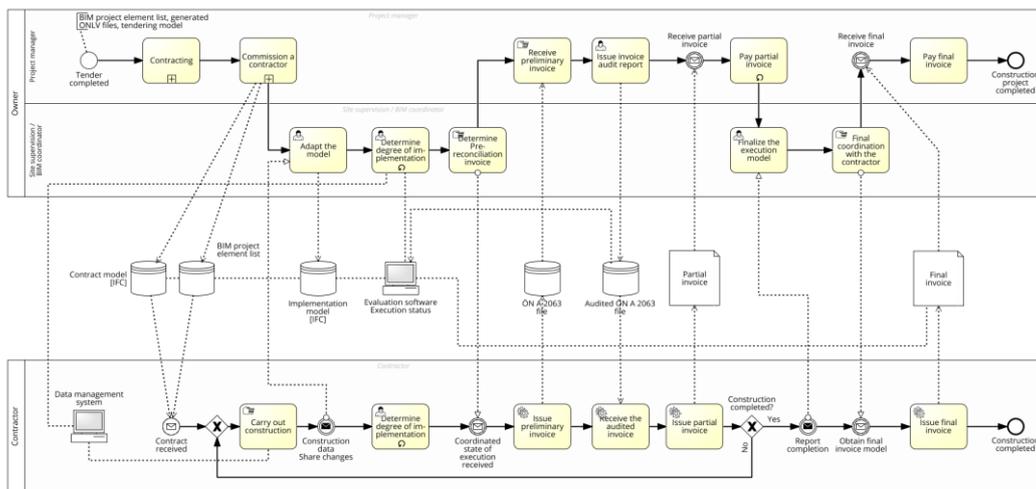


Abbildung 1: Prozesslandkarte für die digitale Rechnungsstellung auf der Grundlage eines BIM-Modells und von Datenverwaltungssystemen

Der vorgeschlagene Prozess erweist sich als effektives Werkzeug für die automatisierte Dokumentation von beispielsweise Materialverbrauch, Personenstunden etc. Die neue Version des Elementkatalogs der LB-VI basiert auf der ÖNORM A 2063:2015, welche die Struktur von Datensätzen regelt, um einen automatisierten Datenaustausch in der Ausschreibungs-, Vergabe- und Abrechnungsphase zwischen den Beteiligten zu ermöglichen. Die in der Software TIMS implementierte ÖNORM A 2063-2:2021 setzt einen Meilenstein im Ausschreibungs- und Abrechnungsprozess für NÖT Projekte. In weiterer Folge können die Leistungsgruppen 62 und 63 aus der LB-VI mit dem sogenannten BIM-Elementkatalog, der mit den für die Abrechnung relevanten IFC-Eigenschaften verknüpft ist, weiter verbunden werden.

2.2.2 AP 5: Implementierung

Im Berichtszeitraum haben wir die Möglichkeit geschaffen, die zeitaufwendige Erstellung eines dreidimensionalen Ausschreibungsmodells vollständig zu automatisieren [2, 13]. Dazu wurden für die Autorensoftware Revit adaptive Familien verschiedener Regelquerschnitte entwickelt. Mithilfe einer tabellarischen Aufstellung lassen sich Elemente dieser Familien entlang der Tunnelachse automatisiert platzieren. Die Elemente ergeben das BIM-Modell für die Ausschreibung.

Auf Grundlage der Erkenntnisse aus dem AP 4 haben wir ein prototypisches TIMS entwickelt [3]. TIMS ist ein Softwarewerkzeug zur Digitalisierung des Tunnelbaus. TIMS ermöglicht die Erfassung, Speicherung und den Austausch von Daten aus dem Tunnelvortrieb. TIMS weist eine moderne, 3-schichtige und modulare Architektur auf (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), bestehend aus einer Datenbank, der Geschäftslogik und einer Benutzeroberfläche (Frontend). Dabei setzen wir auf ein freies und modulare Softwareframework auf, das uns eine schnelle Entwicklung des Prototyps ermöglicht. Die Geschäftslogik beinhaltet im Wesentlichen die tunnelbauspezifischen Datenmodelle und Arbeitsabläufe. Die Geschäftslogik bildet mit der Datenbank das sogenannte Backend. Frontend und Backend

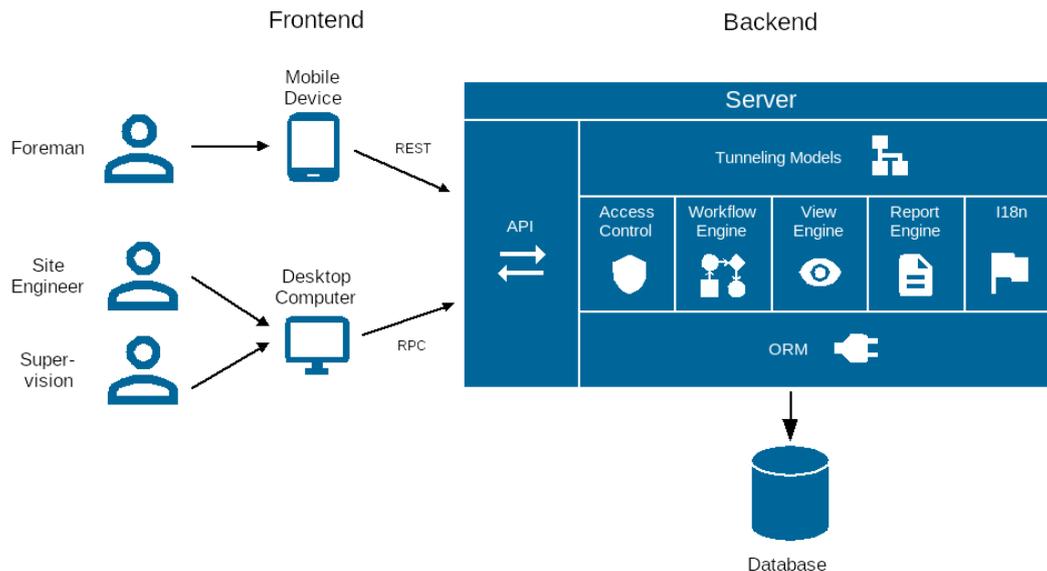


Abbildung 2 Architektur von TIMS

kommunizieren über Schnittstellen miteinander, was einen problemlosen Netzwerk- und Mehrbenutzerbetrieb ermöglicht. Die Schnittstellen können auch dazu genutzt werden, Daten mit anderen Softwarewerkzeugen auszutauschen. Im Zug des Projektes wurden zwei unterschiedliche Benutzeroberflächen entwickelt. Eine Benutzeroberfläche ist für den klassischen Bürobetrieb und Benutzung durch den Bauleiter und die ÖBA konzipiert. Die zweite Benutzeroberfläche ist für die Dateneingabe direkt an der Ortsbrust und für die Benutzung durch den Polier entwickelt. Insgesamt beinhaltet die Architektur alle Komponenten für einen vollständig digitalen Datenfluss von der Ortsbrust bis zur Abrechnung.

TIMS besitzt eine Programmierschnittstelle (engl. Application Programming Interface, API), die auf XML-RPC (Extensible Markup Language — Remote Procedure Call) basiert. Für das weitere Forschungsvorhaben wurde jedoch eine leichtgewichtige und im Web übliche Alternative benötigt. Im Berichtszeitraum haben wir deshalb eine einfache REST-Schnittstelle (Representational State Transfer) für TIMS implementiert. Diese wird von einigen der nachfolgend beschriebenen Anwendungen genutzt.

Im Berichtszeitraum haben wir eine Benutzeroberfläche für Mobilgeräte entwickelt (Abbildung 3), beispielsweise ein Tablett. Die Benutzeroberfläche ist eine Webapplikation zur Erfassung der Daten direkt an der Ortsbrust. Dabei liegt der Fokus auf der Erfassung von Daten, die für eine automatisierte Abrechnung notwendig sind. Die Oberfläche erlaubt es dem Polier, Daten über Personaleinsatz, Materialverbrauch, Einsatz von Baumaschinen sowie den zeitlichen Ablauf der Aktivitäten auf einem mobilen Endgerät zu erfassen. Dabei haben wir auf eine intuitive und praxistaugliche Bedienung geachtet. Die Visualisierung der erfassten Prozessdaten erfolgt sofort mithilfe des branchenüblichen Zyklusdiagramms. Die Daten sind in Echtzeit in den zugriffsberechtigten Unternehmensbereichen des Auftragnehmers verfügbar. Darüber hinaus ist es möglich, die Daten (oder einen Teil davon) mit dem Auftraggeber auszutauschen.

FFG-Programm/Instrument: Collective Research

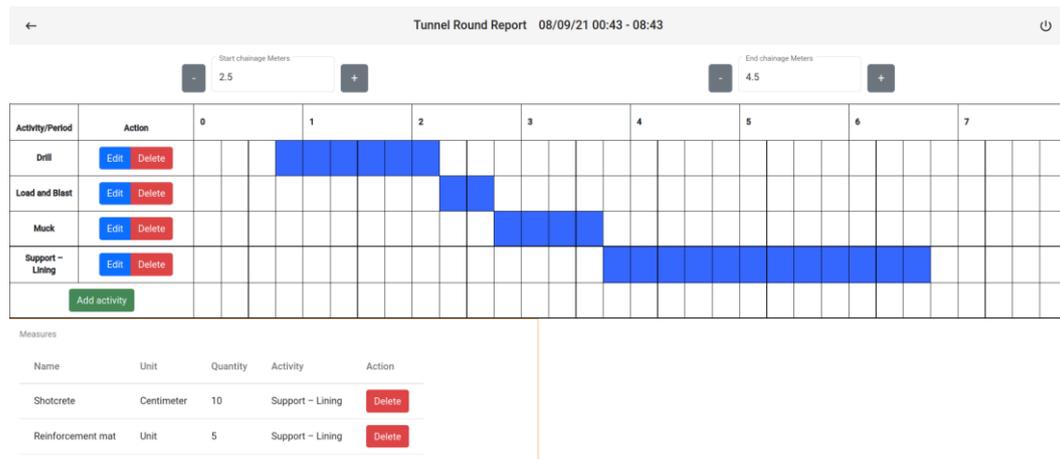


Abbildung 3: Für Mobilgeräte optimierte Oberfläche von TMS

Im Berichtszeitraum haben wir die Geschäftslogik von TIMS weiterentwickelt. Ein Ausschnitt aus dem in TIMS implementierten Datenmodell ist in Abbildung 4 dargestellt. Das Datenmodell beinhaltet allgemeine Konzepte aus der Bauwirtschaft (z. B. Einsatz von Personal Material, Maschinen etc.) als auch tunnelbauspezifische Konzepte (z. B. Abschlüsse, Ausbaufestlegungen etc.).

Gemäß der Werkvertragsnorm ÖNORM B 2118 erfolgt die Ausschreibung und Abrechnung der vom Auftragnehmer erbrachten Leistungen anhand von Leistungspositionen, die hierarchisch in einem Leistungsverzeichnis zusammengestellt sind. Das Datenmodell von TIMS wurde im Berichtszeitraum dahingehend erweitert, Leistungsverzeichnisse zu erfassen und speichern.

Weiters haben wir das Datenmodell so angepasst, dass mithilfe der aufgenommenen Daten eine Abrechnung der Ausbruchsarbeiten durchgeführt werden kann. Eine Vergütung der Ausbruchsarbeiten wird in Österreich üblicherweise gemäß ÖNORM B 2203-1 durchgeführt, welche zur Abrechnung sogenannte Vortriebsklassen vorsieht. TIMS wurde dahingehend erweitert, die Vortriebsklassen anhand der eingegebenen Daten automatisch zu ermitteln. Basierend auf den ermittelten Vortriebsklassen werden automatisiert Leistungspositionen für die Abrechnung erstellt.

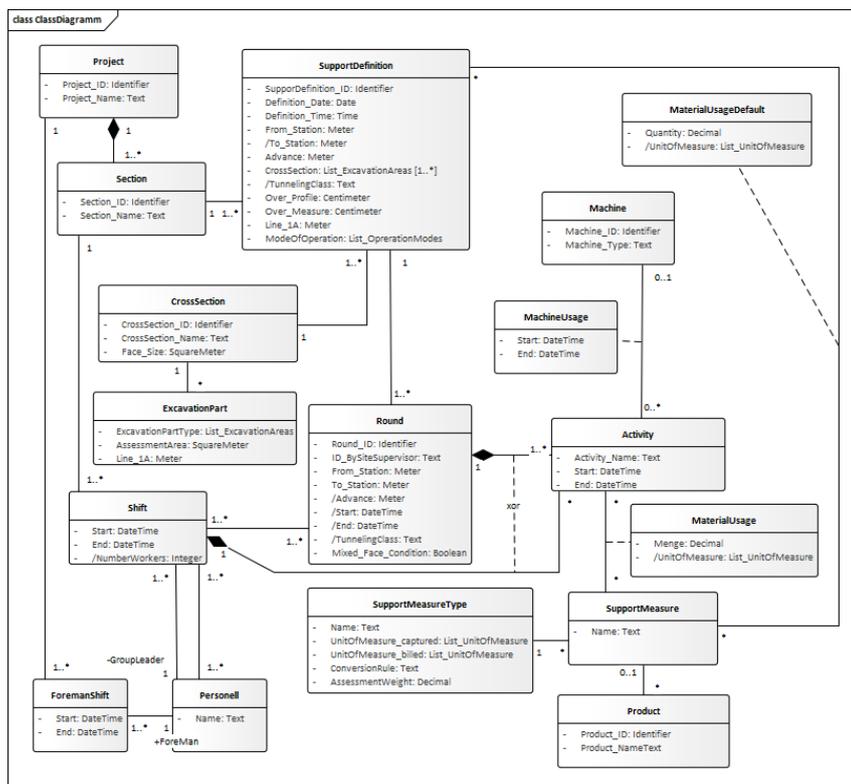


Abbildung 4: Datenmodell TIMS

Die Norm A 2063-1 definiert ein Datenformat zum elektronischen Datenaustausch von AVA-Daten (Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung). Unter anderem spezifiziert die Norm ein Datenformat zum Austausch von Ausschreibungsleistungsverzeichnissen (Dateierweiterung ONLV). Im Berichtszeitraum haben wir die Funktionalität implementiert, ein normgemäßes Leistungsverzeichnis zu importieren.

Die Norm A 2063-1 definiert überdies ein Datenformat zur Übertragung von abzurechnenden Leistungspositionen (Dateierweiterung ONRE). Im Berichtszeitraum haben wir TIMS dahingehend erweitert, die generierten Leistungspositionen an AVA-Software zu übertragen. Diese Art Software wird von Planern, örtlicher Bauaufsicht (ÖBA) und Bauunternehmen zur operativen Projektabwicklung verwendet und stellt die Schnittstelle zu der auf Unternehmensebene angesiedelten ERP-Software (Enterprise-Resource-Planning) dar.

Untersuchungen im AP 3 haben gezeigt, dass das Ist-Modell des Tunnels nach Abschluss der Bauarbeiten für Betreiber von großer Bedeutung ist. Deshalb haben wir im Berichtszeitraum die Möglichkeit geschaffen, mithilfe von Daten aus dem Tunnelvortrieb aus dem Planungsmodell („as-planned“) automatisch das Ist-Modell („as-built“) abzuleiten [7]. Dazu wurde ein Plugin für Autodesk Revit entwickelt, das baubetriebliche Informationen über eine API von TIMS abrufen. Die Informationen werden dazu genutzt, die Geometrie der Elemente im Planungsmodell anzupassen. Dies wird durch die Verwendung adaptiver Familien ermöglicht [2]. Ferner werden die modifizierten Elemente um Attribute aus der Bauphase angereichert, wie beispielsweise die Anzahl der eingebauten Stützmittel oder dokumentierte Vorkommnisse. Das Ergebnis ist ein Ist-Modell des gebauten Tunnels, das beispielhaft in Abbildung 5 zu sehen ist.

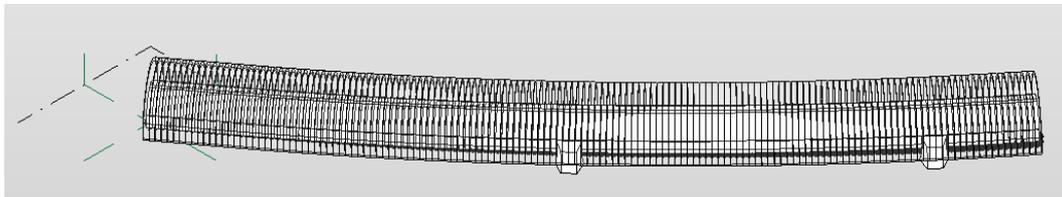


Abbildung 5: Automatisch erzeugtes Ist-Modell eines Tunnels

Derzeit arbeiten wir daran, Daten aus der Bauphase des Tunnels in der Betriebsphase nutzbar zu machen. Erhebungen im AP 3 haben ergeben, dass gewisse Teilaspekte der Abschlagsdokumentation für den Betreiber von Interesse sind. Insbesondere ist das die Dokumentation baubetrieblicher Schwierigkeiten, wie beispielsweise das Auftreten von geologischen Störzonen oder Wasserzutritt. Ziel ist es, mithilfe von erweiterter Realität (engl. Augmented Reality, AR) Daten aus der Bauphase benutzerfreundlich in der Betriebsphase darzustellen. AR ist eine Technik, die die Wahrnehmung der realen Welt um virtuelle Aspekte anreichert. Industriell eingesetzte Anwendungen erreichen dies mit Anwendungen auf mobilen Endgeräten oder speziellen AR-Brillen. Aufgrund der technischen Möglichkeiten haben wir uns für letztere Variante entschlossen. Auf Basis einer umfangreichen Marktrecherche über Hersteller von AR-Brillen haben wir uns für den Einsatz des Produktes HoloLens entschieden. Neben der Softwareentwicklung für die AR-Brille ist eine Erweiterung von TIMS notwendig. Konkret muss das Datenmodell angepasst werden, damit die geolokalisierte Tunnelachse abgebildet werden kann. Darüber hinaus muss die API

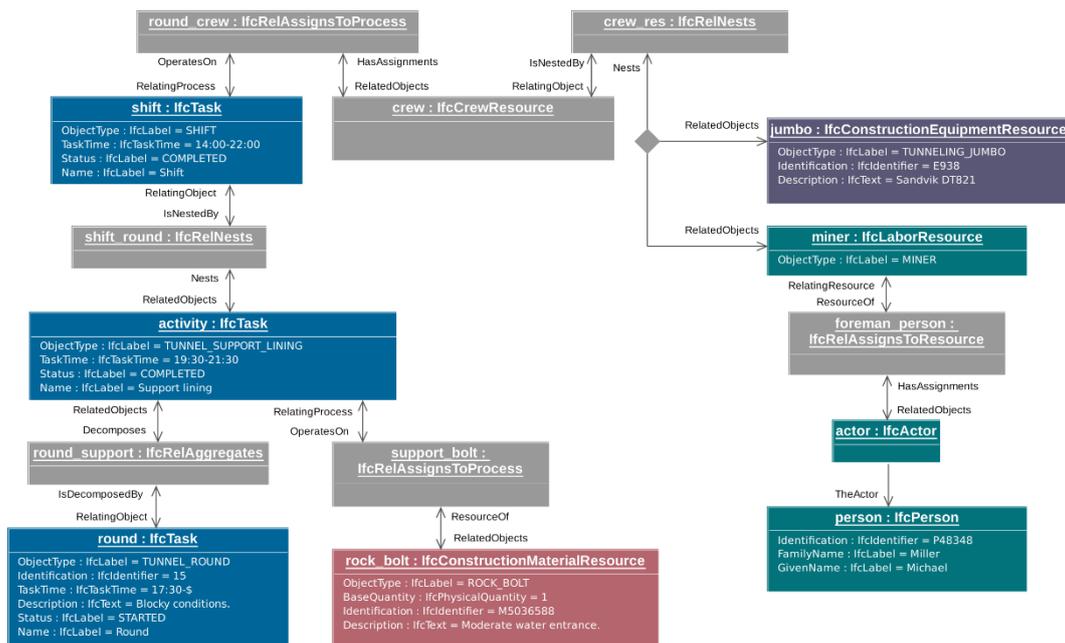


Abbildung 6: Objektdiagramm des IFC-Referenzmodells

angepasst werden um die auf der AR-Brille anzuzeigende Information bereitzustellen. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass die Lokalisierung im Tunnel die größte Herausforderung bei der Nutzung von AR im Tunnel darstellt.

Unseren Untersuchungen aus AP 3 zufolge gibt es derzeit kein BIM-konformes Datenformat für den Austausch baubetrieblicher Daten im konventionellen Tunnelbau. Im Berichtszeitraum haben wir ein IFC-basiertes Referenzmodell für die Ausführungsphase von Tunnelbauprojekten entwickelt [5]. Das Modell ist jedoch generisch konzipiert, sodass es auf die Ausführungsphase anderer Arten von Bauprojekten angewendet werden kann. Ausgehend von unseren Erkenntnissen aus dem AP 4 wurden wesentliche Informationen in einem Vortriebsbericht identifiziert. Konkret sind das zeitliche Angaben über den Prozess sowie Informationen über Personal-, Material und Geräteinsatz. Darüber hinaus wurden Möglichkeiten gefunden, externe Daten in das Modell einzubinden. Zu externen Daten zählen Mediendateien, beispielsweise Fotos und Videos, Daten von Bestandssoftware sowie BIM-Daten aus anderen Teilmodellen. Als Referenzmodell dient ein Objektdiagramm eines vereinfachten Vortriebsberichts, welches in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** abgebildet ist. Das Modell wurde schließlich in eine maschinenlesbare STEP-Datei serialisiert, welche in Abbildung 7 zu sehen ist. Das

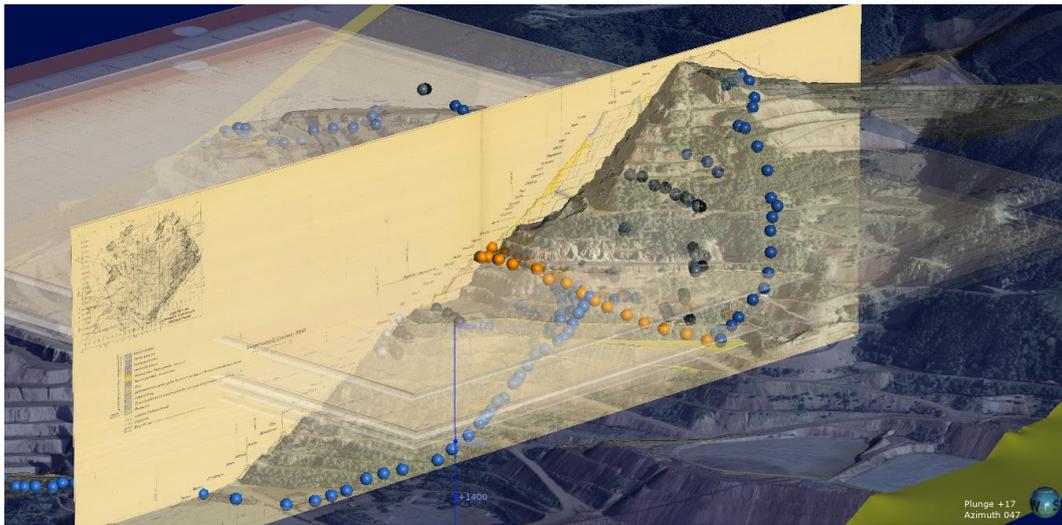


Abbildung 8: Grundlagendaten für die Modellierung des Geologiemo­dells. Historische Karten, Schnitte und der Laserscan des Erzbergs

▲ Vortriebsmeter: 387,8 #272389

- ▲ IfcBuildingElementProxy
 - Axis - BuildingElementProxy #272396
 - Sauberger Kalk - BuildingElementProxy #2724
 - Phyllit - BuildingElementProxy #272500
 - Sauberger Kalk - BuildingElementProxy #2725
 - Kalkschiefer - BuildingElementProxy #272620**
 - K095/30 - BuildingElementProxy #272682
 - Trennflächen - BuildingElementProxy #272737
 - S005/82 - BuildingElementProxy #272792
 - Trennflächen - BuildingElementProxy #272845
 - K280/85 - BuildingElementProxy #272906

Object	Type	Materials	Properties	Quantities
ifcPropertySet				
id	4346			# 322673
roundID	4015			# 322674
name	D			# 322675
Gesteine	Porphyroid			# 322676
Gesteine2	Porphyroid			# 322677
percentageLith1	80			# 322678
percentageLith2	20			# 322679
Baugeologische Einheit	GWZ-Norische Decke/Norr			# 322680
Gebirgsart	GA 3			# 322681
Bemerkungen	Porphyroid, lokal geschiefe			# 322682
Veränderlichkeit	nicht veränderlich			# 322683
Gebirgstemperatur	0			# 322684
Schichtabstand	2 - 6 cm			# 322685
Schichtabstand2	0,6 - 2 cm			# 322686
Kluft/ H.Flächenabstand	6 - 20 cm			# 322687
Kluft/ H.Flächenabstand2	2 - 6 cm			# 322688

Abbildung 9: Geologisch-geotechnischen Parameter in TUGIS.NET

Im Berichtszeitraum wurden Ergänzungen und eine detaillierte Validierung des vorhandenen aus TUGIS.NET exportierten Fachmodells der aufgefah­renen und dokumentierten Geologie des ZABS im IFC-Format durchgeführt. Schwerpunkt dabei war die standardkonforme Abbildung der wesentlichen geologisch-geotechnischen Parameter in das PropertySet der IFC-Datei. Möglichkeiten der hierarchischen Gliederung der geologischen Dokumentation im Rahmen des aktuellen IFC-Standards IFC4 wurden testweise implementiert und validiert.

Geoconsult hat einen BIM-Daten-Viewer entwickelt, der auf einfache Handhabung insbesondere von Baugrunderdarstellungen optimiert ist. Ein Prototyp wurde bereits fertiggestellt, der derzeit für den allgemeinen Gebrauch weiterentwickelt wird.

Ziel von Process Mining ist es, Erkenntnisse aus Zeitaufzeichnungen von Prozessen zu gewinnen. Wie oben beschrieben wurde, bietet TIMS die Möglichkeit detaillierte Zeitaufzeichnungen von Prozessen aufzunehmen. Wir untersuchen derzeit ob diese Zeitaufzeichnungen für Process Mining genutzt werden können.

2.2.3 AP 6: Demonstration

Für Tests am ZAB haben wir die serverseitigen Komponenten von TIMS auf geeigneter Serverinfrastruktur aufgesetzt. Zur schnellen und flexiblen Entwicklung haben wir dabei moderne Virtualisierungslösungen eingesetzt.

In Zusammenarbeit mit dem Berufsförderungsinstitut (BFI) bildet der Lehrstuhl für Subsurface Engineering Kursteilnehmer zu Tunnelbautechnikern aus. Wir haben die Gelegenheit dazu genutzt, die Benutzerinteraktion der Kursteilnehmer mit TIMS zu evaluieren. Konkret haben wir einen Fall untersucht, bei dem Prozessdaten und Stützmittel eines fiktiven Abschlags mit der Benutzeroberfläche für Mobilgeräte erfasst werden sollten. Die Fallstudie hat gezeigt, dass die Kursteilnehmer in kürzester Zeit Vortriebsdaten korrekt erfassen konnten.

Mit den in AP 5 entwickelten Komponenten wurde ein vollständig digitaler Abrechnungsprozess demonstriert. Der Prozess ist schematisch in Abbildung 10 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt. Der Abrechnungsprozess wurde mithilfe von Vortriebsdaten (Abschlagsblättern und Tagesdiagrammen) eines Monats des ZAB verifiziert. Da die Bauphase des ZABs mit Beginn des Projektstartes bereits abgeschlossen worden war, konnten die Vortriebsdaten nicht an der Ortsbrust erfasst werden. Stattdessen wurden die Daten in maschinenlesbare Form gebracht und mithilfe eines im Berichtszeitraum entwickelten Skripts in TIMS importiert. Darüber hinaus wurde das Angebotsleistungsverzeichnis des ZABs importiert. Aus den importierten Daten wurde mit TIMS eine Abrechnung gemäß ÖNORM B 2203-1 erstellt. Die generierten Leistungspositionen wurden manuell auf Korrektheit überprüft und mit der tatsächlichen Abrechnung des ZABs verglichen. Schließlich wurden die generierten Leistungspositionen exportiert und in zwei in der Branche populäre AVA-Werkzeuge (iTWO, ABK) importiert. Es hat sich gezeigt, dass eine vollständig automatisierte Abrechnung von konventionellen Tunnelbauprojekten möglich ist und die Abrechnung in gängige Softwarewerkzeuge integriert werden kann.

In weiterer Folge wurde evaluiert, wie sich das Modell des ZABs unter Berücksichtigung der Weiterentwicklung des Standards für Baugrundmodelle in den Arbeitskreisen der DAUB (Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen) sowie der buildingSMART im System TUGIS.NET implementieren lässt. Das Fachmodell Baugrund des ZABs wird in weiterer Folge als fortgeführtes, ergänztes oder angepasstes Modell

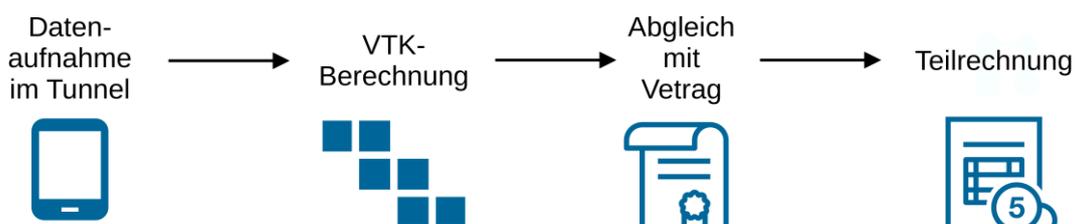


Abbildung 10: Digitale Abrechnung mit TIMS

an die MUL übergeben. Der BIM-Daten-Viewer soll dabei als App der Wirtschaft zugeführt werden.

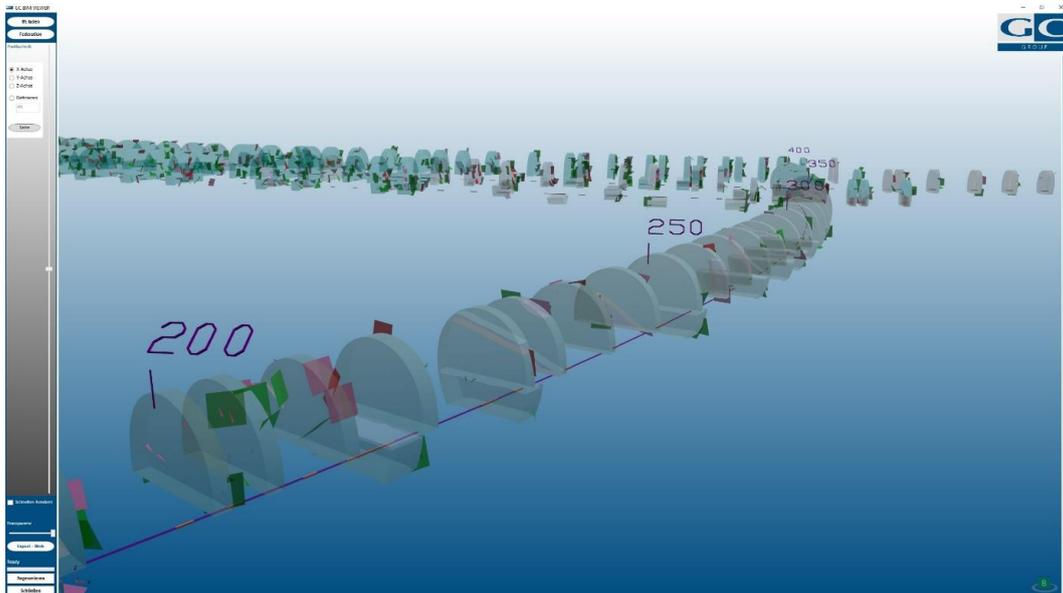


Abbildung 11: Visualisierung des Baugrundmodells in TUGIS.NET

2.2.4 AP 7: Dissemination

Wir waren an der Ausarbeitung der Empfehlung des DAUB, die im Sommer 2022 publiziert wurde, in den Bereichen Baugrundmodellierung und Informationsmanagement wesentlich beteiligt. Weiters leisteten wir Beiträge in der Arbeitsgruppe für Geologie und Geotechnik im Rahmen des Projektes IFCTunnel bei buildingSMART in den Bereichen Datenmodellierung, Geometrie als Informationsträger und Unsicherheit in interpretierten Modellen. Wir nehmen an den Treffen der EUTF (European Underground & Tunnel Forum) teil, wobei wir die Fortschritte bei BIM im Tunnelbau in Österreich vorstellen. Wir werden zukünftig zusätzlich an der Arbeit der ITA (International Tunnelling and Underground Space Association) Working Group 22 beteiligt sein.

Im Zuge des Projektes ist eine Vielzahl wissenschaftlichen Arbeiten entstanden, welche in Abschnitt 4 angeführt sind.

3 PROJEKTTEAM UND KOOPERATION

Oleksandr Melnyk unterstützt seit Juni 2021 das Projekt. Nach dem Ausscheiden von Leopold Winkler im Februar 2022 übernahm er dessen Agenden.

Oleksandr Melnyk, MSc. ist seit Juni 2021 als Assistent am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft tätig. Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf dem Gebiet BIM im Tunnelbau, nachhaltige Baumethoden und Gebäudesimulation an der TU Wien zuständig. Nachhaltigkeit der Energieversorgung, Digitalisierung sowie Weiterentwicklung des Bausektors sind drei wesentliche Triebkräfte seiner Arbeit. Oleksandr hat im Jahr 2019 das Masterstudium für erneuerbare Energiesysteme an

der FH Technikum Wien mit ausgezeichnetem Erfolg abgeschlossen. In seiner Masterarbeit befasste er sich mit der Gebäudesimulation sowie Bewertung von Energieflexibilitätpotentialen auf Basis von Building Information Modelling (BIM). Für diese Arbeit wurde er mit dem 1. Platz beim „Energietechnik-Preis 2020“ ausgezeichnet. Im Jahr 2017 konnte er bei China Three Gorges University die Entwicklung energieeffizienter Gebäudekonzepte, Bauphysik sowie Qualitätsmanagementansätze für innovative Sanierungsprojekte in der Abteilung für Architektur und Stadtplanung mitgestalten.

Aurora Camacho war als studentische Mitarbeiterin an der Montanuniversität Leoben im Zeitraum März 2022 bis Juni 2022 für das Projekt tätig.

Valentin Speckmoser war als studentischer Mitarbeiter an der Montanuniversität Leoben im Zeitraum Oktober 2021 bis Jänner 2022 für das Projekt tätig.

Felix Winterleitner war als studentischer Mitarbeiter an der TU Wien im Zeitraum April 2021 bis Juli 2022 für das Projekt tätig.

Džan Operta war als studentischer Mitarbeiter an der TU Wien im Zeitraum April 2021 bis März 2022 für das Projekt tätig.

4 WIRTSCHAFTLICHE UND WISSENSCHAFTLICHE VERWERTUNG

Im Projektzeitraum sind folgende Studierendenarbeiten und Veröffentlichungen in Fachzeitschriften entstanden.

1. Allacher, Alexander (2022), "Modellierung des Tunnelbauprozesses mit Hilfe von ISA 95", Bachelorarbeit, TU Wien
2. Eder, Nina (2022), "3D BIM Ausschreibungsmodell", Masterarbeit, Montanuniversität Leoben, <https://pure.unileoben.ac.at/portal/files/8797333/AC16505045.pdf> (Zugriff am 2022-09-21)
3. Huymajer, Marco; Operta, Dzan; Mazak-Huemer, Alexandra; Huemer, Christian (2022), "The Tunneling Information Management System – A tool for documenting the tunneling process in NATM projects", *Geomechanics and Tunneling*, Vol. 15 Nr. 3 S. 259-264, doi:10.1002/geot.202100064
4. Huymajer, Marco; Woegerbauer, Matthias; Winkler, Leopold; Mazak-Huemer, Alexandra; Biedermann, Hubert (2022), "An Interdisciplinary Systematic Review on Sustainability in Tunneling—Bibliometrics, Challenges, and Solutions", *Sustainability*, Vol. 14 Nr. 4, doi:10.3390/su14042275
5. Huymajer, Marco; Paskaleva, Galina; Wenighofer, Robert; Huemer, Christian; Mazak-Huemer, Alexandra (2022), "Building Information Modeling in the Execution Phase of Conventional Tunneling Projects", unveröffentlicht

6. Mazak-Huemer, Alexandra; Goger, Gerald; Bender, Alexander (2022), "Die „Neue Österreichische Tunnelbaumethode“ im Lichte der Digitalisierung", *Bauingenieur*, Vol. 97 S. 131-140, doi:10.37544/0005-6650-2022-05-33
7. Operta, Dzan (2022), "Generating Automatic As-Built BIM Models In Conventional Tunnel Construction Lifecycle", Masterarbeit, TU Wien, doi:10.34726/hss.2022.97562
8. Paskaleva, Galina; Mazak-Huemer, Alexandra; Waldhart, Johannes; Ehrbar, Heinz (2021), "A Flexible CAEX Based Model for Standard Integration in Tunnelling", 2021 26th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 7-10 September 2021, S. 1-8, doi:10.1109/ETFA45728.2021.9613276
9. Paskaleva, Galina; Niedermoser, Christoph; Vierhauser, Michael; Mazak-Huemer, Alexandra; Hruschka, Sabine; Huemer, Christian (2022), "Data Drops for Tunnel Information Modelling", *Geomechanics and Tunnelling*, Vol. 15 Nr. 3 S. 267-271, doi:10.1002/geot.202100061
10. Paskaleva, Galina; Mazak-Huemer, Alexandra; Sint, Sabine; Bednar, Thomas (2022), "Standardized Data Integration in the AEC Domains -- What does it take to succeed?", *World Building Congress (WBC) 2022*, 27-30 June 2022, Melbourne, Australia, https://se.jku.at/wp-content/uploads/2022/03/WBC2022_Paper345_final.pdf (Zugriff am 2022-09-20)
11. Rabensteiner, Stefan; Weichenberger, Franz Peter; Chmelina, Klaus (2022), "Automation and digitalisation of the geological documentation in tunnelling", *Geomechanics and Tunnelling*, Vol. 15 Num. 3 pp. 298-304, doi:10.1002/geot.202100063
12. Waldhart, Johannes (2022), "Digital Information Engineering am Beispiel des geologischen und geotechnischen Baugrundmodells", Masterarbeit, Montanuniversität Leoben
13. Wenighofer, Robert; Eder, Nina; Speckmoser, Valentin; Villeneuve, Marlene; Winkler, Leopold; Galler, Robert (2022), "Adaptive and parameterised 3D BIM model for the tunnel tender and excavation phase", *Geomechanics and Tunnelling*, Vol. 15 Nr. 3 S. 272-278, doi:10.1002/geot.202100075
14. Winkler, Leopold; Melnyk, Oleksandr; Goger, Gerald (2022), "Prerequisites for BIM-based invoicing in NATM projects", *Geomechanics and Tunnelling*, Vol. 15 Nr. 3 S. 279-283, doi:10.1002/geot.202100067

5 ERLÄUTERUNG ZU KOSTEN UND FINANZIERUNG

Es sind keine Abweichungen vom Kostenplan aufgetreten.

6 PROJEKTSPEZIFISCHE SONDERBEDINGUNGEN UND AUFLAGEN

Die Projektergebnisse wurden veröffentlicht und sind auf der Web-Site der ÖBV (www.bautechnik.pro) frei zum Download erhältlich.

7 MELDUNGSPFLICHTIGE EREIGNISSE

Nach Abstimmung mit dem Projektpartnern und im Einvernehmen mit der FFG wurde vereinbart, die Gesamtprojektdauer um 6 Monate zu kostenneutral zu verlängern.