

Die modellgestützte geologische Prognose im Tunnelinformationsmodell

Die digitalisierte geologische Prognose – Grundlage für die geotechnische Planung sowie die interdisziplinäre Ausführungsdocumentation

Mag. rer. nat. Ines M. Massimo-Kaiser

Hautbetreuer: Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Matthias Flora

Mitbetreuer: Ass. Prof. Bmstr. Dipl.-Ing. Dr. techn. Georg Fröch

Arbeitsbereich für Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau

Universität Innsbruck

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

KURZFASSUNG: Diese Dissertation widmet sich der Integration geologischer Planungsprozesse in das Building Information Modeling (BIM) und die Entwicklung eines Tunnelinformationsmodells (TIM) für die modellgestützte geologische Prognose. Die Dissertation zeigt, dass die frühzeitige Festlegung der notwendigen geologischen und geotechnischen Eigenschaften sowie die kontinuierliche Integration dieser Daten in ein fortschreibbares Modell erhebliche Vorteile für die Planung und Ausführung von Tunnelbauprojekten bietet.

Vollständige Arbeit: <https://www.uibk.ac.at/de/ibt/lehre/dissertationen/>

SCHLAGWORTE: TIM, BIM, LOIN, Baugrundmodell

1 EINLEITUNG

Die Dissertation analysiert und entwickelt modellgestützte Ansätze für geologische Prognosen im Rahmen von TIM weiter. Ein Schwerpunkt liegt auf der Definition und Evaluierung des Level of Information Need (LOIN) für geologische Eigenschaften über verschiedene Projektphasen hinweg. Ziel ist es, ein digitales 3D-Baugrundmodell zu entwickeln, das eine transparente, evaluierbare und qualitativ hochwertige Planung ermöglicht. Damit soll ein umsetzbarer TIM-Prozess geschaffen werden, der die geologischen und geotechnischen Anforderungen strukturiert berücksichtigt.

2 GRUNDLAGEN UND METHODEN

BIM ist ein digitaler Ansatz für die Planung, den Bau und den Betrieb von Bauwerken. Es umfasst 3D-Modelle, die geometrische und alphanumerische Daten integrieren, um eine effiziente Zusammenarbeit, phasenübergreifende Planung und optimierte Ressourcennutzung zu ermöglichen. Standards wie die ÖNORM EN ISO 19650 und die Definition von Anwendungsfällen (z. B. Informationsbedarfstiefe – LOIN, siehe Abb. 1) fördern eine strukturierte Abwicklung und Kommunikation.

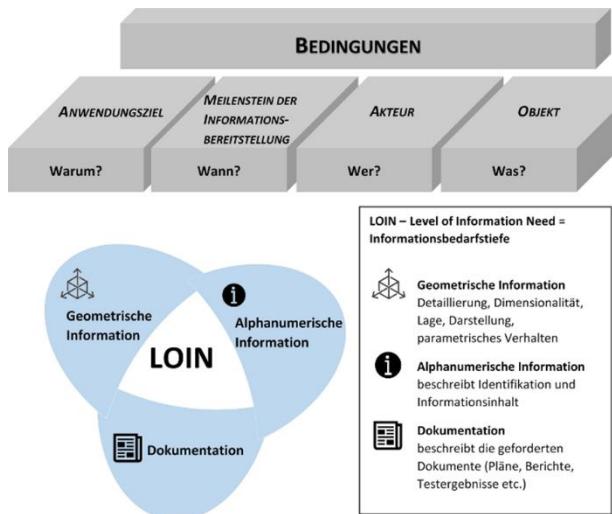


Abb. 1 Darstellung der Relationen der Informationsbedarfstiefe

TIM überträgt die BIM-Methodik auf den Tunnelbau, wo geologische Faktoren und Unsicherheiten eine Herausforderung darstellen. Die digitale Bereitstellung geologischer Daten, basierend auf Normen wie Eurocode 7 und ÖGG-Richtlinien, in einem 3D-Baugrundmodell ist anspruchsvoll, ermöglicht jedoch eine strukturierte und fortlaufend aktualisierte Darstellung.

3 HAUPTTEIL

Durch eine Literaturrecherche und erste Experteninterviews wird der Status Quo ermittelt und Defizite in der aktuellen BIM-Implementierung identifiziert. Die Ergebnisse werden in **Artikel 1** veröffentlicht [1]. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen sowie auf den gesammelten Erfahrungen bei der Begleitung von sieben Tunnelbauprojekten, in denen die BIM-Methode bereits in der Planung und Ausführung genutzt wurde, erfolgt eine Bewertung der sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen von BIM/TIM, dokumentiert in **Forschungsartikel 1** [2]. Für den **Konferenzbeitrag 1** wird ein Konzept zur Erstellung eines digitalen schematischen, parametrisierten Baugrundmodells entwickelt, das Kausalitäten zwischen Geologie und Bauwerk aufzeigt [3]. **Konferenzbeitrag 2** führt diesen Gesamtprozess weiter und stellt ein Konzept für die baubegleitende Arbeitsvorbereitung auf Basis des Tunnel Information Modeling (TIM) vor [4]. In **Artikel 2** wird ein digitaler Workflow zur modellbasierten Darstellung der Prognose(un)sicherheit bei seicht liegenden Tunnels erarbeitet und umgesetzt [5]. In **Artikel 3** erfolgt die Auswertung und Interpretation der Forschungsergebnisse sowie die Definition des Levels of Information Need (LOIN) für Baugrundelemente, um die Forschungsfrage gezielt zu beantworten [6].

Ergänzende Interviews zum Thema „Welche Daten benötigt die Geotechnik von der Geologie in einem 3D-Baugrundmodell?“ zeigten, dass Experten in den grundlegenden Aspekten der geotechnischen Planung weitgehend mit den normativen Vorgaben übereinstimmen. Unterschiede bestehen jedoch in der erforderlichen Datentiefe, der Flexibilität bei der Parameterwahl und der Handhabung der Modelle. Die Experten bevorzugen eine pragmatische, projektbezogene Herangehensweise, die auf spezifische Anforderungen und Gegebenheiten abgestimmt ist.

4 RESULTATE

Die Forschungsergebnisse zur modellgestützten geologischen Prognose auf Basis geltender Normen ergeben eine Mindestanforderung an geologisch-geotechnische Schlüsselparameter, welche für eine dynamische Modellerstellung und Weiterentwicklung (Modellevolution) von Projektbeginn an über die geologische Prognose bis zur geotechnischen Planung, grundlegend vorhanden sein und gepflegt werden sollten. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die für eine effektive weiterführende Planung notwendigen geologischen Eigenschaften projektspezifisch von Auftraggeber und geologisch-geotechnischen Planungsverantwortlichen bestimmt werden sollen.

Durch die Standardisierung des LOIN auf Basis der projektspezifischen geologisch-geotechnischen Eigenschaften kann die modellgestützte geologische Prognose im Tunnelinformationsmodell als Grundlage für die geotechnische Planung dienen.

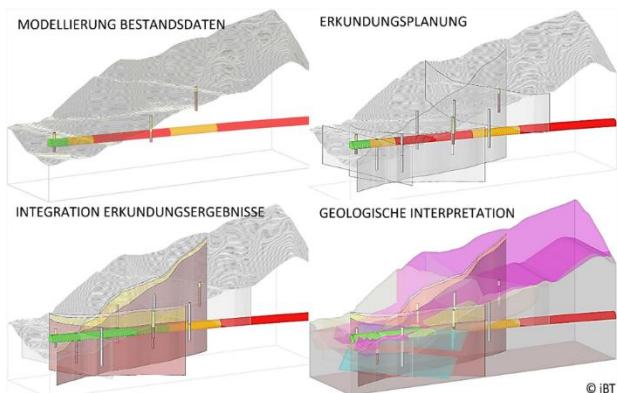


Abb. 2: Geologische Planungsphasen im schematischen digitalen 3D-Modell [5]

Anwendungsziel: Bereitstellung geologisch- geotechnischer Informationen für geotechnische Planung	Objekt: Tiefenaufschluss, Bohrung	Objekt: Tiefenaufschluss, Bohrung	Objekt: Tiefenaufschluss, Bohrung	Objekt: Tiefenaufschluss, Bohrung
Meilenstein Phase	Phase 1a+b: Grundlagenherhebung, Geländeaufnahme, Evaluierung	Phase 2: Erkundungsplanung auf Basis erster Prognose der Geologie	Phase 3: Erkundung	Phase 4: Interpretation für Geotechnik
Akteur: geologisches Fachpersonal				
Geometrische Information	detailliert vereinfacht	vereinfacht	detailliert	vereinfacht auf Gebirgsarten (GA) reduziert
Dimensionalität	3D	3D	3D	3D
Lage	absolut, Koordinaten	absolut, Koordinaten, Neigung/Richtung geplant	absolut, Koordinaten Geländeoberkante und Endteufe	absolut, Koordinaten Geländeoberkante und Endteufe
Darstellung	Zylinder, schematisch	Zylinder, schematisch	Zylinder, realistisch	Zylinder
parametrisches Verhalten	ja	ja	ja	ja
Identifikation	AufschlussTyp Bohrung, Identifikation	AufschlussTyp Bohrung, Identifikation	AufschlussTyp Bohrung, Identifikation	AufschlussTyp Bohrung, Identifikation
Informations- gehalt	<ul style="list-style-type: none"> • Koordinaten • Geländeoberkante und Rohrüberkante • Durchmesser • Endteufe gem. Bohrprofil und Evaluation • Ausbau • Nutzung • Schichtaufbau • geologische Beschreibung • Prognose Wasserstand • Versuche geplant in situ • Versuche geplant Labor 	<ul style="list-style-type: none"> • Koordinaten • Geländeoberkante • Neigung/Richtung und Endteufe geplant • Durchmesser Bohrung und Ausbau geplant • Nutzung • Prognose Schichtaufbau • Prognose geologische Beschreibung • Wasserstand absolut • Teufe bzw. Koordinaten von Kernproben und Versuchen in situ und Labor 	<ul style="list-style-type: none"> • Koordinaten • Geländeoberkante und Rohrüberkante • Durchmesser • Ausbau • Nutzung • Schichtaufbau • geologische Beschreibung • Wasserstand absolut • Teufe bzw. Koordinaten Kernproben und Versuche in situ, Laboversuche 	<ul style="list-style-type: none"> • Koordinaten • Durchmesser • Endteufe • Ausbau • Nutzung • Schichtaufbau • geologische Beschreibung • geotechnische Beschreibung • Wasserstand absolut • Teufe bzw. Koordinaten Kernproben und Versuche in situ, Laboversuche
Alphanumerische Information	weitere Eigenschaften gem. Phasen 1a+b bzw. projektspezifischer Definition	weitere Eigenschaften gem. Phase 2 bzw. projektspezifischer Definition	weitere Eigenschaften gem. Phase 3 bzw. projektspezifischer Definition	weitere Eigenschaften gem. Phase 4 bzw. projektspezifischer Definition
Dokumentation	<ul style="list-style-type: none"> • Bohrprofil • bestehende geologisch- geotechnische Berichte • Feldprotokoll • Evaluierung • Mängel • Wasserstandssachen 	<ul style="list-style-type: none"> • Grundstück • Eigentümer • bestehende geologisch- geotechnische Berichte • Einbauten 	<ul style="list-style-type: none"> • Bohrprofil • Fotodokumentation • Bohrlochmessungen • Wasserstandssachen • bestehende geologisch- geotechnische Berichte 	<ul style="list-style-type: none"> • Bohrprofile • Bohrberichte • Wasserstandssachen • Versuchsberichte • Labergebnisse • Fotodokumentation • Bohrkernfotos • projektspezifisch erstellte geologisch- geotechnische Berichte

Abb. 3 Informationsbedarfstiefe für das Element Bohrung [6]

Abb. 3 zeigt, wie der LOIN für das Element Bohrung festgelegt und beschrieben werden kann.

5 RESÜMEE UND AUSBLICK

Die Forschung zeigt, dass eine präzise Definition des Level of Information Need (LOIN) für geologische Eigenschaften und die Harmonisierung relevanter Standards (z. B. Eurocode 7, ÖNORMEN) entscheidend sind. Die entwickelten Methoden ermöglichen eine strukturierte, fortlaufende Integration geologischer Daten in digitale Modelle, was die geotechnische Planung präzisiert und die interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Bauausführung verbessert.

Zukünftige Forschung sollte die Anwendung der Methoden in der Praxis weiter testen, geologische Basiseigenschaften projektspezifisch anpassen und Technologien wie maschinelles Lernen und KI für automatisierte Modellaktualisierungen nutzen. Zudem wird eine nationale und internationale Harmonisierung der Standards angestrebt, um grenzübergreifend konsistente und interoperable geologische Modelle zu gewährleisten.

6 QUELLEN

- [1] Exenberger, Hans; et.al. (2022): Current developments of digital ground modelling in tunnelling. Geomechanics and Tunnelling 15/3, S. 284 - 289. <http://dx.doi.org/10.1002/geot.202100065>
- [2] Massimo-Kaiser, Ines; et.al. (2022): Streamlining Tunnelling Projects through BIM. Sustainability 14/18, Nr. 11433 <http://dx.doi.org/10.3390/su141811433>
- [3] Massimo-Kaiser, Ines; et.al (2023): From prognosis Ground Model to Tender Model and Tunnel Construction Framework Plan with Tunnel Information Modelling. Proceedings of the ISRM 15th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering & 72nd Geomechanics Colloquium, Salzburg, Austria, October 9-14, 2023. Austrian Society for Geomechanics: Salzburg. pp. 668-673, <https://eposter.at/ISRM2023/data/PDF/1740.pdf>
- [4] Exenberger, Hans; et..al. (2023): Concept for Tunnel Information Modelling based work-preview and documentation during construction at Tunnel Anagath. Proceedings of the ISRM 15th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering & 72nd Geomechanics Colloquium, Salzburg, Austria, October 9-14, 2023. Austrian Society for Geomechanics: Salzburg. pp. 697-702, <https://eposter.at/ISRM2023/data/PDF/1779.pdf>
- [5] Massimo-Kaiser, Ines; et.al. (2023): Model based representation of geological prognosis (un)reliability for shallow tunnels / Modellbasierte Darstellung der Prognose(un)sicherheit bei seicht liegenden Tunneln. Geomechanics and Tunnelling 16/6, S. 661 - 667. <http://dx.doi.org/10.1002/geot.202300033>
- [6] Massimo-Kaiser, Ines; et.al. (2024): LOIN für Elemente des geologisch-geotechnischen Baugrundmodells. Bautechnik <https://doi.org/10.1002/bate.202400052>