

Model based representation of geological prognosis (un)reliability for shallow tunnels

Modellbasierte Darstellung der Prognose(un)sicherheit bei seicht liegenden Tunneln

This article describes how the prognosis reliability in a tunnel information model can be updated during the geological design phases. Using Tunnel Information Modelling (TIM), the distribution of prognosis-reliability-classes along the structure can be graphically represented in the model by attribute-based colour coding. In the design and construction of shallow tunnels, this factor enables cost-effective design and appropriate selection of the necessary construction measures. Starting with the baseline survey, a dynamic, parameterised 3D geological model is generated from the summary of geological survey results. Updating the model with further exploration results allows for a continuous, model-based reassessment of the reliability of the geological prognosis. This provides the basis for further exploration, geotechnical design and risk assessment. Visualisation of the prognosis risk in the model supports project communication and transparent decision-making during project execution. Centralised data storage allows information on the model to be retrieved and validated (single source of truth), enabling collaborative and efficient project management.

Keywords TIM; Tunnel Information Modelling; digitalization; digital ground model; geological prognosis reliability

1 Introduction

Valid information about the ground and the ground risk is essential for the design and construction of tunnels. Near-surface ground conditions are often difficult to predict due to small-scale variations in geological conditions and topographical uncertainties. This makes the design of shallow tunnels particularly complex and challenging. Comprehensive geological investigations provide a more detailed understanding of the ground, enabling ground models to be generated that are as realistic as possible. In this context, the expert assessment of the reliability of geological prognosis advocated by the Austrian Society for Geomechanics in their guideline (ÖGG) [1] is an important decision-making tool not only for geological design and ground investigations, but for general construction design and risk assessment as well. The classified prognosis reliability reflects the “state of

Dieser Artikel beschreibt, wie die Aktualisierung der Prognose-sicherheit während der geologischen Planungsphasen in einem Tunnel-Informationsmodell dargestellt werden kann. Mittels Tunnel Information Modelling (TIM) kann eine grafische Darstellung der Verteilung der Prognosesicherheitsklassen entlang des Bauwerks im Modell über die farbliche Ausweisung dieses Attributs erfolgen. Bei der Planung und Ausführung von seicht liegenden Tunneln ist dies ein Faktor, der eine kosteneffiziente Planung sowie die geeignete Wahl der notwendigen Baumaßnahmen ermöglicht. Aus der Zusammenschau geologischer Untersuchungsergebnisse wird ab der Grundlagenerhebung ein dynamisches, parametrisiertes 3D-Geologiemodell generiert. Die Fortschreibung des Modells mit Erkundungsergebnissen ermöglicht eine kontinuierliche, modellbasierte Neubewertung der geologischen Prognosesicherheit. Diese bildet die Beurteilungsgrundlage für weitere Erkundungen, die geotechnische Planung und Risikobewertung. Die Visualisierung des Prognoserisikos im Modell unterstützt die Projektkommunikation und die transparente Entscheidungsfindung in der Projektabwicklung. Durch die zentrale Datenhaltung sind die verfügbaren Informationen über das Modell auffindbar und validierbar (single source of truth), wodurch eine kollaborative und effiziente Projektabwicklung ermöglicht wird.

Stichworte TIM; Tunnel Information Modelling; Digitalisierung; digitales Baugrundmodell; geologische Prognosesicherheit

1 Einleitung

Für die Planung und Herstellung von Tunnelbauwerken ist eine valide Aussage zum Baugrund sowie des Baugrundrisikos unerlässlich. Aufgrund kleinräumig wechselnder geologischer Bedingungen sowie topographischer Unschärfen sind seicht liegende Baugrundverhältnisse oft schwierig vorherzusagen. Deshalb ist die Planung solcher seicht liegender Tunnelbauwerke besonders erschwert und herausfordernd. Umfassende geologische Erkundungen dienen dazu, den Erkenntnisgewinn zum Baugrund zu erhöhen, um ein möglichst realitätsnahes Baugrundmodell zu erstellen. In diesem Kontext nimmt die fachliche Bewertung der geologischen Prognosesicherheit, wie sie gemäß der Richtlinie der Öster-

knowledge” in the construction area and allows for targeted measures and investigations to be designed on an ongoing basis to obtain the necessary and desired understanding of the ground conditions.

This article describes the concept of a model-based representation of geological prognosis reliability and its integration into the tunnel information model. It explains how the TIM method can be used to supplement the geological design and survey process. The aim is to create a simplified, transparent and interdisciplinary project environment in which project participants can evaluate and verify the results of geological investigations despite different data origins.

2 General aspects

Geological investigations that aim to determine and increase geological prognosis reliability are conducted in four key stages:

- Baseline survey
- Exploration planning
- Exploration phase
- Interpretation.

The baseline survey (geological groundwork) involves inspecting and validating existing data, geological mapping and evaluating natural outcrops. The results of this survey inform project-specific exploration planning [2], which includes mapping artificial exposures (including position and depth of boreholes, trenches and exploratory tunnels) and defining a geotechnical test programme. Seismic investigations can increase and significantly improve knowledge of the ground, especially in the case of shallow tunnels. The exploration phase generates a comprehensive body of data and knowledge about the ground. Exploration data are compiled, processed and validated on a project-specific basis in accordance with the ÖGG guideline [1] and applicable standards. This supports the prognosis of geological conditions and the interpretation of the ground and ground risk as well as providing the underlying information for construction design and tendering.

3 Problem and objective

Despite existing guidelines and standards, the data structure, data formats and documentation methods used to record, evaluate and interpret geological investigations tend to be mostly project-specific. It can be hard to make sense of the different document versions and revisions and a great deal of effort is needed to prepare them for further editing, especially in an interdisciplinary context. The often considerable volume of data can only be understood and evaluated with great difficulty, if at all. Documents must be repeatedly retrieved, harmonised and evaluated, often leading to significant delays in decision-making.

reichischen Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG) [1] eingefordert wird, eine zentrale Rolle ein, da sie eine wesentliche Entscheidungsgrundlage für die geologische Planung, Baugrunderkundung aber auch allgemeine Bauwerksplanung und Risikobewertung ist. Die klassifizierte Prognosesicherheit spiegelt den „Stand des Wissens“ im Bauwerksbereich wider und ermöglicht fortlaufend eine gezielte Maßnahmen- und Erkundungsplanung, um den notwendigen und gewünschten Informationsstand zum Baugrund zu erreichen.

In diesem Artikel wird das Konzept und die Umsetzung einer modellbasierten Darstellung der geologischen Prognosesicherheit im Tunnel-Informationsmodell vorgestellt. Es wird erläutert, wie die geologische Planung mithilfe der TIM-Methode ergänzt werden kann. Das Ziel lautet, eine vereinfachte, transparente und interdisziplinäre Projektbearbeitung zu realisieren, um die Evaluierbarkeit und Prüfbarkeit geologischer Untersuchungsergebnisse für Projektbeteiligte trotz unterschiedlicher Datenherkunft zu ermöglichen.

2 Allgemeine Aspekte

Geologische Untersuchungen und Ausarbeitungen zur Bestimmung und Erhöhung der geologischen Prognosesicherheit erfolgen in vier wesentlichen Phasen:

- Grundlagenerhebung,
- Erkundungsplanung,
- Erkundungsphase,
- Interpretation.

Die Grundlagenerhebung (geologische Basisarbeit) besteht aus Sichtung und Validierung von Bestandsdaten, geologischer Kartierung und Auswertung natürlicher Aufschlüsse. Die darauf basierende projektspezifische Erkundungsplanung [2] umfasst die Konzipierung künstlicher Aufschlüsse (u.a. Position und Teufe von Bohrungen, Schürfen oder auch Erkundungsstollen), sowie die Festlegung eines geotechnischen Versuchsprogramms. Speziell für seicht liegende Tunnel können seismische Untersuchungen das Wissen zum Baugrund ergänzen und wesentlich verbessern. Die Erkundungsphase generiert einen umfassenden Daten- und Wissensstand zum Baugrund. Die Zusammenschau, Aufbereitung und Validierung der gewonnenen Erkundungsdaten erfolgt projektspezifisch gemäß ÖGG-Richtlinie [1] und geltenden Normen. Dies ermöglicht eine geologische Prognose und Interpretation des Baugrunds sowie des Baugrundrisikos, und bildet die Informationsbasis zur Bauwerksplanung und Leistungsausschreibung.

3 Problemstellung und Zielsetzung

Die Erfassung, Auswertung und Interpretation geologischer Untersuchungen gestaltet sich trotz vorhandener Richtlinien und Normen meist individuell in Bezug auf Datenstruktur, Dateiformate und Dokumentationsmethoden. Entstehende Dokumente in ihren unterschiedlichen Versionen und

The aim of implementing the TIM method into the geological design phase is to optimise the data acquisition process and the sharing and use of data within the project and to gain insights for future projects. Based on the maxim “gE-gD-gI” (good exploration – good documentation – good interpretation) [3], ground information relating to the planned tunnel construction should be compiled, visualised and prepared in the geological 3D model [2]. Exploration results should be continuously integrated into a standardised, collective, interdisciplinary data environment – while exploration work is still underway. This improves the sharing of information in real time and ensures that data are always up-to-date. Furthermore, the results of exploration measures already carried out can be evaluated at any time. This increases prognosis reliability and enables the exploration programme to be adjusted accordingly. While the method focuses on data availability and data management, the ability to present the results to third parties in the form of a 3D model confers significant added value.

4 Dynamic modelling to illustrate geological prognosis reliability

The German Tunnelling Committee (DAUB) [4] has developed specific requirements for ground models. These underpin the exploration phases presented here and include three key additional aspects:

- Standardised subdivisions (automation potential),
- Model-based communication,
- Classification of prognosis reliability.

Reliability classes defined for the geological investigations to indicate geological prognosis reliability within the construction area (1 – high; 2 – medium; 3 – low) are modelled using traffic light colour coding (1 – green; 2 – orange; 3 – red). The geotechnical synthesis model defined by the DAUB recommendation [5] is divided into small, standardised sections along the route (e.g. by the metre) [3]. The aim of these subdivisions is to aggregate data with similar properties, thereby enabling a greater degree of automation in generating the geometric model and integrating and validating information. This makes for more efficient data provision and processing and reduces information losses. Furthermore, project information is communicated to project participants via the model and a common data environment (CDE). Decisions taken within the project are documented in chronological order via the CDE and are thus traceable. This simplifies the classification of prognosis reliability and ensures transparency.

The enhanced model was digitally developed and validated on the basis of exploration and design data from the 2nd tube of the Perjen Tunnel provided by ASFINAG (the Austrian federal agency responsible for constructing and operating motorways and expressways). The use of colour coding to indicate the current prognosis reliability in the model from the start of the project enables the geological design process to be continuously optimised. Model-based coopera-

Revisionen sind oftmals unübersichtlich und nur mit hohem Aufwand für weitere Bearbeitungen, speziell spartenübergreifend, aufzubereiten. Die Nachvollziehbarkeit und Evaluierbarkeit des oft beträchtlichen Datenvolumens ist herausfordernd, eingeschränkt oder gar nicht möglich. Entscheidungsfindungen werden dadurch oft deutlich verzögert, da Unterlagen wiederholt erhoben, harmonisiert und evaluiert werden müssen.

Die Implementierung der TIM-Methode in die geologische Planung zielt darauf ab, den Prozess der Datenerfassung, deren Weitergabe und Nutzung innerhalb eines Projekts zu optimieren sowie Erkenntnisse für künftige Projekte zu gewinnen. Dem Grundsatz „gE-gD-gI“ (gute Erkundung – gute Dokumentation – gute Interpretation) [3] folgend, sollen Baugrundinformationen in Bezug zum geplanten Tunnelbauwerk im geologischen 3D-Modell zusammengeführt, visualisiert und bereitgestellt werden [2]. Anfallende Erkundungsergebnisse sollten spartenübergreifend bereits während der Erkundungsarbeiten kontinuierlich in eine standardisierte kollektive Datenumgebung integriert werden. Dies verbessert die zeitnahe Weitergabe von Informationen, und gewährleistet die Aktualität der Daten. Weiters besteht jederzeit die Möglichkeit der Evaluierung der durchgeführten Erkundungsmaßnahmen und deren Resultate, um somit die Prognosesicherheit zu erhöhen und das Erkundungsprogramm dementsprechend zu adaptieren. Während Datenverfügbarkeit und Datenmanagement bei der Implementierung der Methode im Vordergrund stehen, bildet die grafische Aufbereitung der Daten im dreidimensionalen Raum zur Moderierung und Darstellung von Ergebnissen gegenüber Dritten einen weiteren Mehrwert ab.

4 Dynamischer Modellaufbau zur Darstellung der geologischen Prognosesicherheit

Der Deutsche Ausschuss für Unterirdisches Bauen (DAUB) [4] hat spezifische Modellanforderungen für den Baugrund entwickelt. Diese werden als Grundlage für die hier vorgestellte Bearbeitung verwendet und um drei wesentliche Aspekte erweitert:

- Einheitliche Unterteilung (Automatisierungspotenzial),
- Modellbasierte Kommunikation,
- Klassifizierung der Prognosesicherheit.

Um die geologische Prognosesicherheit in Bezug auf den Bauwerksbereich modellbasiert darzustellen, erfolgt in der geologischen Bearbeitung eine Klassifizierung (1 – hoch; 2 – mittel; 3 – gering) und mittels Ampelfarben (1 – grün; 2 – orange; 3 – rot) eine entsprechende Ausweisung im Modell. Das durch die DAUB-Empfehlung definierte Streckenabschnittsmodell (geotechnical synthesis model) [5] wird in einheitliche kleine Abschnitte (z. B. meterweise) unterteilt [3]. Mit dieser Unterteilung werden Daten aggregiert, wodurch das Potenzial für Automatisierung von Aufgaben im Zusammenhang mit der Erstellung des geometrischen Modells sowie der Integration und Prüfbarkeit von Informa-

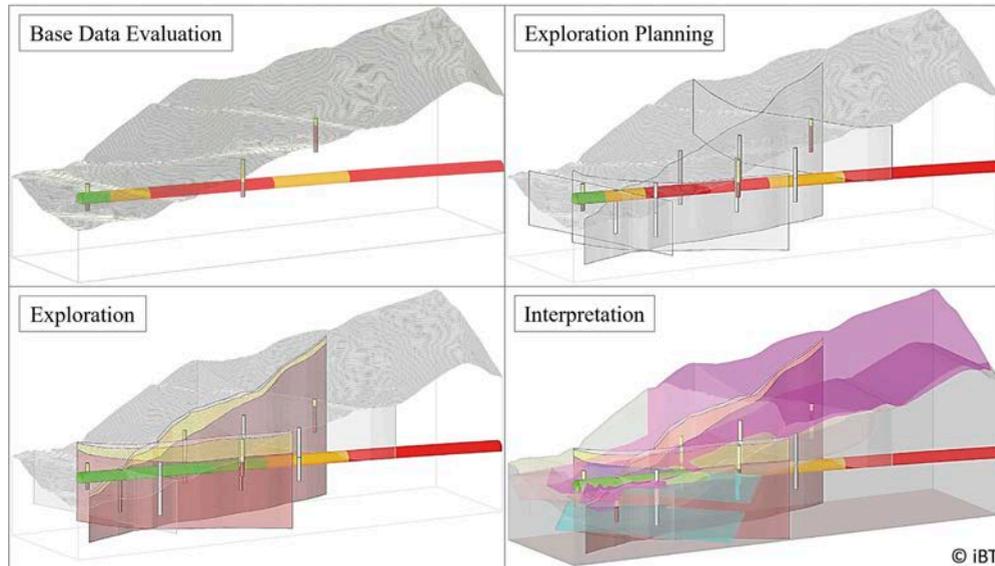


Fig. 1 Model representation on the geological planning phases and the change in prognosis reliability in a TIM model
Bild 1 Modellabbildungen der geologischen Planungsphasen und veränderter Prognosesicherheit im TIM Modell

tion between project participants on the client and contractor sides enables the dynamic model described to be generated.

Figure 1 shows the four phases of the dynamic geological design process, which is supported and updated using the TIM method:

- Baseline survey (base data evaluation): a preliminary geodocu model of the geological conditions [3, 4] can be semiautomatically generated from the evaluation and digital processing of existing geological data (maps, existing documentation, drill logs) and geological surveys of natural outcrops. On the basis of this survey, an initial assessment of prognosis reliability can be made and graphically illustrated using the geotechnical synthesis model.
- Exploration planning: after the initial classification of prognosis reliability, model-based exploration planning is undertaken to refine the geological prognosis (gE). Planned exploration measures (boreholes, trenches, seismic measurements) are represented in the model to clarify project-specific geotechnical, construction- and ground-related issues and thus increase prognosis reliability.
- Exploration: the direct or real-time mapping of ongoing exploration results (gD) in the 3D model (positioning of exploration points, geological findings, depths, tests) generates a continuously updated and thus dynamic information flow. This enables the reliability of the geological prognosis to be continuously reassessed and updated, supported by the 3D visualisation. It also provides reasonable justification for optimising (reducing or expanding) the exploration programme. On completion of the exploration phase, a factual model is generated which summarises the main findings in relation to the geological and geotechnical features (GeoDocu model[4]).
- Interpretation: all relevant information about the geology is integrated into the model for the interpretation. The

tion erhöht wird. Dies steigert die effiziente Datenbereitstellung und deren Verarbeitung. Informationsverluste werden reduziert. Darüber hinaus erfolgt die Projektkommunikation der Projektbeteiligten über das Modell und eine gemeinsam genutzte Datenumgebung (Common Data Environment – CDE). Gefällte Entscheidungen im Projekt werden über die CDE in chronologischer Reihenfolge dokumentiert und nachvollziehbar gemacht. Somit wird die Klassifizierung der Prognosesicherheit erleichtert und transparent gestaltet.

Der erweiterte Modellaufbau wurde anhand von Erkundungs- und Planungsdaten der Asfinag aus dem Projekt Neubau Perjentunnel 2. Röhre digital entwickelt und validiert. Über die farbliche Ausweisung der jeweils aktuellen Prognosesicherheit im Modell von Projektbeginn an, kann der laufende geologische Planungsprozess projektspezifisch optimiert werden. Die modellbasierte Zusammenarbeit der Projektbeteiligten aus den Sphären Auftraggeber und Auftragnehmer ermöglicht den beschriebenen dynamischen Modellaufbau.

Bild 1 visualisiert die vier Phasen des dynamischen geologischen Planungsprozesses, der mittels TIM-Methode begleitet und aktualisiert wird:

- Grundlagenerhebung (Base Data Evaluation): Aus der Auswertung und digitaler Aufbereitung vorhandener geologischer Grundlagen (Kartenwerke, Bestandsdokumentationen, Bohrprofile) und den geologischen Aufnahmen natürlicher Aufschlüsse, ergibt sich ein erstes semiautomatisch erstellbares Bestandsmodell [3, 4] zu den geologischen Gegebenheiten. Anhand dieses kann bereits die Ersteinschätzung der Prognosesicherheit erfolgen und mittels Streckenabschnittmodells (geotechnical synthesis model) grafisch ausgewiesen werden.
- Erkundungsplanung (Exploration Planning): Modellbasiert erfolgt nach der ersten Klassifizierung der Prognosesicherheit die Erkundungsplanung, um die geolo-

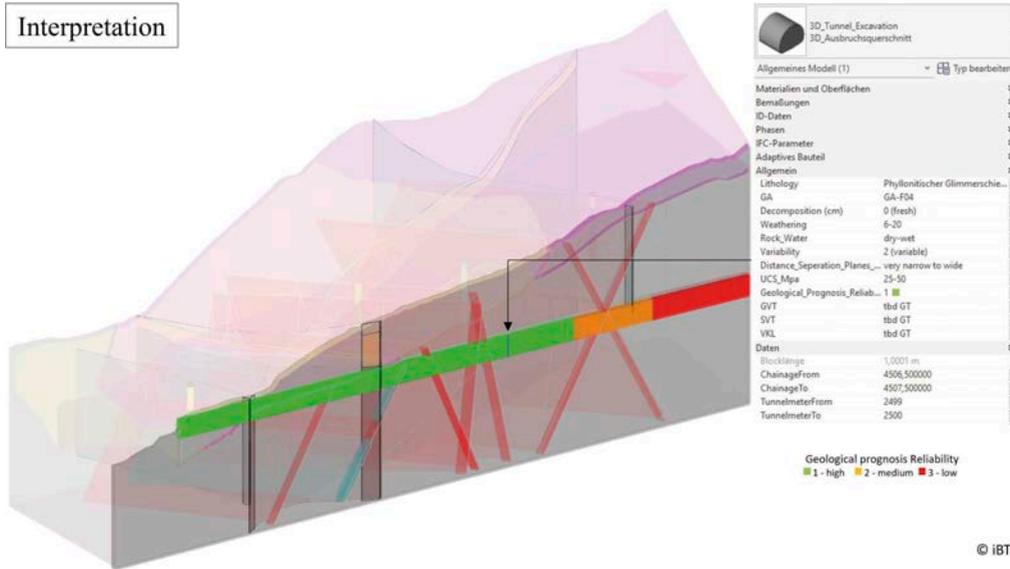


Fig. 2 Model representation of the interpretation with colour coding of the classified forecast reliability along the structure

Bild 2 Modelldarstellung der Interpretation mit farblicher Ausweisung der klassifizierten Prognosesicherheit entlang des Bauwerks

model-based interpretation (gI) of the exploration results and its representation is the prerequisite for the prognosis of expected ground conditions – indicating the classified geological prognosis reliability and resulting ground risk – based on current knowledge.

Figure 2 shows a summary of the interpreted geological ground model overlaid with the geotechnical synthesis model indicating the colour-coded geological prognosis reliability. The model can be used to optimise the design of further exploration measures before and during the construction phase. Different construction measures (pipe screen drillings, sheet pilings, piles) can be included in the model as additional explorations. Depending on the project phase, the model can be progressively updated with further exploration results, enabling prognosis reliability to be continually reassessed. The colour coding of prognosis reliability classes in the model clearly indicates where uncertainties in the geological prognosis lie within the construction area. This in turn has a bearing on risk and cost planning.

5 Results

The modelling shows that integrating the TIM method into the geological design phases provides additional information and enables the structured transfer and use of data. Semiautomated, graphic formatting helps to make geological research data transparent and understandable. With its standardised subdivision and standardised data, the geotechnical synthesis model can be used in (semi-)automated workflows for the planning activities of other project participants. The continuous reassessment of prognosis reliability and consequently of the ground risk thus enables optimised project planning and efficient execution, from exploration work to cost control.

These results emphasise that use of the TIM method not only makes the provision of information more efficient; it

gische Prognose zu schärfen (gE). Geplante Erkundungsmaßnahmen (Bohrungen, Schürfe, seismische Messungen) werden im Modell dargestellt, um projektspezifische Fragestellungen zu Bauwerk, Baugrund und Geotechnik abzuklären und somit die Prognosesicherheit zu erhöhen.

- Erkundung (Exploration): Über die direkte oder zeitnahe Erfassung laufender Erkundungsergebnisse (gD) im 3D-Modell (Verortung der Erkundungspunkte, geologische Erkenntnisse, Teufen, Versuche), wird ein stets aktueller und somit dynamischer Informationsstand generiert. Dies ermöglicht, unterstützt von der räumlichen Darstellung, eine unmittelbare Neubewertung und Aktualisierung der Prognosesicherheit. Eine Optimierung (Reduktion oder Erweiterung) des Erkundungsprogramms kann nachvollziehbar begründet werden. Mit Abschluss der Erkundungsphase erfolgen die Zusammenschau und Darstellung maßgeblicher Erkundungsergebnisse zu den geologischen und geotechnischen Gegebenheiten (GeoDoku Modell [4]).
- Interpretation (Interpretation): Für die Interpretation werden alle relevanten Informationen zur Geologie im Modell integriert. Die modellbasierte Interpretation (gI) der Erkundungsergebnisse und deren Darstellung ergibt gemäß dem vorhandenen Kenntnisstand die Baugrundprognose, die sowohl die Ausweisung der klassifizierten geologischen Prognosesicherheit als auch daraus folgend das Baugrundrisiko enthält.

Bild 2 zeigt die Zusammenschau des interpretierten geologischen Baugrundmodells mit dem Streckenabschnittmodell und der ausgewiesenen geologischen Prognosesicherheit. Auf dieser Basis erfolgt modellbasiert die optimierte Planung weiterer Erkundungsmaßnahmen vor und während der Bauausführung. Verschiedene Baumaßnahmen (Rohrschirmbohrungen, Spundwände, Pfähle) können als weitere Erkundungen im Modell erfasst werden. Je nach Projektphase fließen somit fortlaufend Erkundungsergebnisse für die Neubewertung der Prognosesicherheit ein. Die grafische

also significantly improves the quality of cooperation and resulting planning certainty. The model-based representation of geological prognosis reliability marks an important step towards reliable, collaborative and efficient project implementation.

The enormous potential of a tunnel information model can only be fully realised if Building Information Modelling in infrastructure and tunnel construction is not simply regarded as a necessary evil prescribed by law; instead, project participants must be made aware of the added value and the collaborative, model-based approach must not run parallel to the traditional planning process, but replace it.

Ausweisung der Klassen zur Prognosesicherheit zeigt im Modell klar auf, in welchen Bauwerksbereichen welche Unsicherheit bzw. Unschärfe der geologischen Prognose vorliegt. Dies ist wiederum für die Risiko- und Kostenplanung von Bedeutung.

5 Ergebnis

Mit der durchgeführten Modellierung zeigt sich, dass die Implementierung der TIM-Methode in die geologischen Planungsphasen einen Informationsgewinn, sowie eine strukturierte Datenweitergabe und deren Nutzung ermöglicht. Eine semi-automatisierte grafische Aufbereitung erleichtert die Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit geologischer Untersuchungsdaten. Die einheitliche Unterteilung des Streckenabschnittsmodells, das standardisierte Daten beinhaltet, ermöglicht deren (semi-) automatische Verwendung für Planungstätigkeiten weiterer Projektbeteiligter. Die fortlaufende Neubewertung der Prognosesicherheit und in weiterer Folge des Baugrundrisikos ermöglicht somit eine optimierte Planung, sowie eine effiziente Durchführung von Erkundungsarbeiten bis hin zur Kostenverfolgung.

Diese Ergebnisse unterstreichen, dass die Anwendung der TIM-Methode nicht nur die Effizienz in der Informationsbereitstellung steigert, sondern auch die Qualität der Zusammenarbeit und die daraus entstehende Planungssicherheit erheblich verbessert. Mit der modellbasierten Darstellung der geologischen Prognosesicherheit gelingt ein essentieller Schritt auf dem Weg zur planungssicheren, kollaborativen und effizienten Projektrealisierung.

Die enormen Potenziale eines Tunnel-Informationsmodells werden erst dann voll ausgeschöpft, wenn Building Information Modelling im Infrastruktur- und Tunnelbau nicht nur als notwendiges, vom Gesetzgeber vorgeschriebenes Übel angesehen wird, vielmehr die Mehrwerte den Projektbeteiligten bewusst werden und der kollaborative modellbasierte Ansatz nicht parallel zum klassischen Planungsprozess läuft, sondern diesen ersetzt.

References

- [1] ÖGG (2021) *Richtlinie für die Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb, Gebirgscharakterisierung und Vorgangsweise zur nachvollziehbaren Festlegung von bautechnischen Maßnahmen während der Planung und Bauausführung*. Austrian Society for Geomechanics, Salzburg.
- [2] Werner Gächter et.al. (2021) *Possible applications for a digital ground model in infrastructure construction / Anwendungsmöglichkeiten eines digitalen Baugrundmodells im Infrastrukturbau*. Geomechanics and Tunneling 14, No. 5, pp. 510–521. <https://doi.org/10.1002/geot.202100051>
- [3] Ines Massimo-Kaiser et.al. (2023) *From prognosis Ground Model to Tender Model and Tunnel Construction Framework Plan with Tunnel Information Modelling*. Paper accepted for 15th ISRM Congress 2023 & 72nd Geomechanics Colloquium.
- [4] DAUB (2022): *Recommendation Digital Design, Building and Operation of Underground Structures*. German Tunneling Committee, Cologne.
- [5] Georg Erharter et.al. (2023) *Building information modelling based ground modelling for tunnel projects – Tunnel Angath/Austria*. Tunneling and Underground Space Technology, Volume 135, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2023.105039>

Authors



Mag. Ines M. Massimo-Kaiser (Corresponding author)
ines.massimo@uibk.ac.at
Universität Innsbruck
Arbeitsbereich für Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau (iBT)
Technikerstraße 13
6020 Innsbruck
Austria



Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Matthias Flora
matthias.flora@uibk.ac.at
Universität Innsbruck
Arbeitsbereich für Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau (iBT)
Technikerstraße 13
6020 Innsbruck
Austria



Dipl.-Ing. Hannah Salzgeber
hannah.salzgeber@uibk.ac.at
Universität Innsbruck
Arbeitsbereich für Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau (iBT)
Technikerstraße 13
6020 Innsbruck
Austria

How to Cite this Paper

Massimo-Kaiser, I.; Salzgeber, H.; Flora, M. (2023) *Model-based representation of geological prognosis (un)reliability for shallow tunnels*. *Geomechanics and Tunnelling* 16, H. 6, S. 661–667.
<https://doi.org/10.1002/geot.202300033>

This paper has been peer reviewed. Submitted: 16. June 2023; accepted: 24. September 2023.

Zitieren Sie diesen Beitrag

Massimo-Kaiser, I.; Salzgeber, H.; Flora, M. (2023) *Modellbasierte Darstellung der Prognose(un)sicherheit bei seicht liegenden Tunneln*. *Geomechanik und Tunnelbau* 16, H. 6, S. 661–667.
<https://doi.org/10.1002/geot.202300033>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 16. Juni 2023; angenommen: 24. September 2023.