

BIM – Taking Collaboration in Mining to a New Level

The engineering industry often faces the challenge of extracting knowledge from a wealth of collected information. Without adequate capture, structuring, maintenance and provision of planning information collected over time, there is a risk that essential project knowledge is lost. Building Information Modeling (BIM) has established itself as a widely proven and established method for efficient collaboration, especially in the field of high-rise and infrastructure construction, where it is now considered standard. BIM is a process-oriented approach that involves the creation and management of digital representations of the physical and

functional characteristics of a construction project. It enables the actors to access a common data base through the use of digital models, thereby making the planning, construction and management of buildings and infrastructures more efficient and transparent. Against this backdrop, the question arises as to how an equivalent approach like BIM could be applied in mining. To illustrate the advantages and potentials of BIM in these areas, here the example of the Konrad shaft repository for radioactive waste of BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE), Peine/Germany, in Salzgitter will be used.

BIM – Die Zusammenarbeit im Bergbau auf eine neue Ebene heben

Die Ingenieursbranche steht oft vor der Herausforderung, aus einer Fülle von Informationen nutzbares Wissen zu extrahieren. Ohne adäquate Erfassung, Strukturierung, Vorhaltung und Bereitstellung von Planungsinformationen, die über die Zeit gesammelt werden, besteht die Gefahr, dass essenzielles Projektwissen verloren geht. Building Information Modeling (BIM) hat sich als eine vielfach bewährte und etablierte Methode zur effizienten Zusammenarbeit herausgestellt, speziell im Bereich des Hoch- und Infrastrukturbaus, wo es mittlerweile als Standard gilt. Dabei handelt es sich um einen prozessorientierten Ansatz, der die Erstellung und Verwaltung von digitalen Repräsentationen physischer und

funktionaler Eigenschaften eines Bauvorhabens umfasst. Es ermöglicht den Akteuren, durch den Einsatz digitaler Modelle auf eine gemeinsame Datenbasis zuzugreifen, wodurch Planung, Bau und Verwaltung von Gebäuden und Infrastrukturen effizienter und transparenter gestaltet werden. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwiefern ein äquivalenter Ansatz wie BIM im Bergbau Anwendung finden könnte. Zur Veranschaulichung der Vorteile und Potentiale von BIM im Bergbau wird hier beispielhaft das Endlager für radioaktive Abfälle Schacht Konrad der BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE), Peine, in Salzgitter herangezogen.

1 Introduction

In 1934, T. S. Eliot posed a profound question in his work „The Rock,“ which still holds significance today: „Where is the wisdom we have lost in knowledge? Where is the knowledge we have lost in information?“ These words cast a critical light on the challenge of preserving knowledge in a society characterized by information overload. Although Eliot formulated his thoughts from a more spiritual perspective of the early 20th century, his question finds remarkable resonance in modern times, particularly in the engineering industry, which often faces the challenge of extracting usable knowledge from a wealth of collected information. Without adequate capture, structuring, maintenance and provision of planning information collected over time, there is a risk that essential project knowledge is lost.

Building Information Modeling (BIM) has established itself as a widely proven and established method for efficient collaboration, especially in the field of high-rise and infrastructure con-

1 Einleitung

Im Jahr 1934 stellte T. S. Eliot in seinem Werk „The Rock“ eine tiefgründige Frage, die auch heute noch von Bedeutung ist: „Where is the wisdom we have lost in knowledge? Where is the knowledge we have lost in information?“ Diese Worte werfen ein kritisches Licht auf die Herausforderung, Wissen in einer von Informationsüberflutung geprägten Gesellschaft zu bewahren. Obwohl Eliot seine Überlegungen aus einer eher spirituellen Perspektive des frühen 20. Jahrhunderts formulierte, findet seine Fragestellung eine bemerkenswerte Resonanz in der heutigen Zeit. Insbesondere in der Ingenieursbranche, welche oft vor der Herausforderung steht, aus einer Fülle von gesammelten Informationen nutzbares Wissen zu extrahieren. Ohne adäquate Erfassung, Strukturierung, Vorhaltung und Bereitstellung von Planungsinformationen, die über die Zeit gesammelt werden, besteht die Gefahr, dass essenzielles Projektwissen verloren geht.

struction, where it is now considered standard. BIM is a process-oriented approach that involves the creation and management of digital representations of the physical and functional characteristics of a construction project. It enables the involved actors to access a common data base through the use of digital models, thereby making the planning, construction and management of buildings and infrastructures more efficient and transparent. (1)

Against this backdrop, the question arises as to how an equivalent approach like BIM could be applied in mining. Mining, and here in particular the construction of repositories for radioactive waste, with its unique challenges and requirements, represents a complex field that could benefit from the digital and integrative capabilities of BIM. Exploring the applicability and adaptation of BIM in these sectors offers an exciting opportunity to significantly improve efficiency and safety in these critical and often undervalued industries.

To illustrate the advantages and potentials of BIM in these areas, the example of the Konrad shaft repository for radioactive waste of BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE), Peine/Germany, in Salzgitter will be used. A detailed examination of this project is intended to show how BIM supports the planning, construction, and coordination of complex construction projects in mining and repository construction.

2 Current state of BIM in nuclear waste repository construction and/or mining

The number of repositories for nuclear waste is limited, as are the examples of the use of BIM in their planning, not to mention a standardization of data processing processes. Despite these challenges, there are remarkable developments, particularly in Finland. An article on the “Nuclear Engineering International” website from 2016 highlights the growing importance of BIM in the international nuclear sector, specifically in the context of repositories. A prominent example of the use of BIM is the Final Disposal project developed by Posiva¹ in Finland, the world’s first of its kind for the final storage of spent fuel rods. This project employs BIM for the planning and design of both the above-ground structures and the underground access tunnels and storage passages. BIM is crucial for the integration and optimization of extensive data volumes in a digital model. The benefits include the reduction of the need for remodelling, increased process transparency and support in cost calculation, e.g. through the possibility of quantity evaluation. Furthermore, all underground rock surfaces are recorded using laser scanning and integrated into the BIM models, significantly supporting quality control, communication and visualization during project execution. In addition, BIM enables the use of Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) to visualize the project results. (2)

The publication “Tunnelling & Mining Information Modelling: a Digital Environment for Next Generation Mining” (3) by Jyrki Salmi,

Building Information Modeling (BIM) hat sich als eine vielfach bewährte und etablierte Methode zur effizienten Zusammenarbeit herausgestellt, speziell im Bereich des Hoch- und Infrastrukturbaus, wo es mittlerweile als Standard gilt. BIM ist ein prozessorientierter Ansatz, der die Erstellung und Verwaltung von digitalen Repräsentationen physischer und funktionaler Eigenschaften eines Bauvorhabens umfasst. Es ermöglicht den beteiligten Akteuren, durch den Einsatz digitaler Modelle auf eine gemeinsame Datenbasis zuzugreifen, wodurch Planung, Bau und Verwaltung von Gebäuden und Infrastrukturen effizienter und transparenter gestaltet werden (1).

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwiefern ein äquivalenter Ansatz wie BIM im Bergbau Anwendung finden könnte. Der Bergbau und hier im Besonderen der Bau von Endlagern für radioaktive Abfälle, mit seinen einzigartigen Herausforderungen und Anforderungen, stellen ein komplexes Feld dar, welches von den digitalen und integrativen Fähigkeiten des BIM profitieren könnte. Die Exploration der Anwendbarkeit und Anpassung von BIM in diesen Sektoren bietet eine spannende Möglichkeit, die Effizienz und Sicherheit in diesen kritischen und oft unterbewerteten Industriezweigen signifikant zu verbessern.

Zur Veranschaulichung der Vorteile und Potentiale von BIM in diesen Bereichen wird das Beispiel des Endlagers für radioaktive Abfälle Schacht Konrad der BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE), Peine, in Salzgitter herangezogen. Die detaillierte Betrachtung dieses Projekts soll aufzeigen, wie BIM die Planung, Konstruktion und Koordination von komplexen Bauvorhaben im Berg- und Endlagerbau unterstützt.

2 Aktueller Stand von BIM im Endlagerbau und/oder Bergbau

Die Anzahl der Endlager für nukleare Abfälle ist begrenzt, ebenso wie die Beispiele für den Einsatz von BIM in deren Planung, ganz zu schweigen von einer Standardisierung der Datenverarbeitungsprozesse. Trotz dieser Herausforderungen gibt es bemerkenswerte Entwicklungen, insbesondere in Finnland. Ein Artikel auf der Website „Nuclear Engineering International“ aus dem Jahr 2016 beleuchtet die wachsende Bedeutung von BIM im internationalen Nuklearsektor, speziell im Kontext von Endlagern. Ein herausragendes Beispiel für die Nutzung von BIM ist das von Posiva¹ entwickelte Endlager-Projekt in Finnland, das weltweit erste seiner Art für die Endlagerung von ausgedienten Brennstäben. Dieses Projekt setzt BIM für die Planung und Konzeption sowohl der über-tägigen Strukturen als auch der unter-tägigen Zugangsstollen und Einlagerungsstrecken ein. BIM ist entscheidend für die Integration und Optimierung umfangreicher Datenmengen in einem digitalen Modell. Zu den Vorteilen zählen die Reduktion des Bedarfs an Neumodellierung, eine erhöhte Prozesstransparenz und die Unterstützung bei der Kostenkalkulation durch z.B. die Möglichkeit der Mengenauswertung. Weiterhin werden sämtliche unter-tägigen

¹ Posiva Oy, founded in 1995, is a Finnish company specialising in environmental technology and dealing with the final disposal of spent nuclear fuel. Headquartered in Eurajoki, Finland, Posiva was founded by the two Finnish nuclear power plant operators Teollisuuden Voima and Fortum. Posiva is currently building the Onkalo project, the world’s first deep geological repository for spent nuclear fuel, on the site of the Olkiluoto nuclear power plant.

¹ Posiva Oy, gegründet 1995, ist ein finnisches Unternehmen, das auf Umwelttechnologie spezialisiert ist und sich mit der Endlagerung von abgebrannten Kernbrennstoffen befasst. Mit Hauptsitz in Eurajoki, Finnland, wurde Posiva von den beiden finnischen Kernkraftwerksbetreibern Teollisuuden Voima und Fortum gegründet. Posiva baut aktuell das Onkalo-Projekt, das weltweit erste tiefe geologische Endlager für abgebrannte Kernbrennstoffe, auf dem Gelände des Kernkraftwerks Olkiluoto.

PhD student and Research Director in the field of digitalization and automation of mining at the University of Oulu/Finland, discusses the application of BIM in mining and tunnel construction.

The article is based on workshops at the University of Oulu as part of the “Next Generation Mining” project, with over 100 participants from over 50 companies. The focus is on the challenges and potentials of the BIM method in underground mining, which has so far been primarily used in above-ground projects. The authors emphasize the need for effective information management in mining to increase productivity and improve project quality. Advantages of BIM in mining include improved collaboration, automation, advanced analysis and more efficient information management. In summary, the article highlights the interest and willingness of the Finnish mining and tunnel construction sector to further develop BIM and outlines future research and development directions in this area.

The current state of the use of BIM in the field of repositories for radioactive waste and in mining shows that the application of this technology is still in its infancy, although it offers significant advantages. Despite limited examples of BIM applications, particularly in Finland, the use of BIM in these sectors is not yet widespread. BIM has the potential to significantly improve the planning and construction of repositories and mining projects. Through the integration and optimization of extensive data volumes in a digital model, BIM can contribute to more efficient planning, increased transparency, and better cost control.

3 Successful application of BIM: the case of the Konrad shaft repository

In the following, the application of the BIM method at the Konrad shaft repository is exemplarily presented. The Konrad Shaft facility is currently the site where the first nuclear law-approved repository for low- and medium-level solidified radioactive waste with negligible heat development is being created in Germany. Originally, the Konrad shaft was an iron ore mine, and its conversion into a repository was a lengthy process. It is planned to store 303,000 m³ of packaged low- and medium-level radioactive waste. The approval of the repository was granted through an extensive nuclear licensing procedure, which took about 20 years. In addition to the BGE, other actors such as licensing and supervisory authorities, as well as the public, are involved in the construction of the Konrad shaft repository.

Large infrastructure projects are typically lengthy undertakings that often lack flexibility to keep pace with rapid technological developments, especially in the area of planning tools. The Konrad shaft repository project represents a remarkable exception in this regard. Despite the known challenges of integrating BIM into an ongoing project, the BGE decided to implement this advanced method to coordinate the entire underground control area. To realize the benefits of BIM promptly, the project team initially focused on the most fundamental yet promising use cases of BIM. This targeted approach enabled rapid improvements in planning coordination. Key applications include:

1. Coordination of various specialized trades: BIM enables more efficient and precise coordination between different construction trades.
2. Visualizations: BIM facilitates the creation of detailed and

Felsflächen mittels Laserscannung erfasst und in die BIM-Modelle integriert, was die Qualitätskontrolle, Kommunikation und Visualisierung während der Projektabwicklung maßgeblich unterstützt. Darüber hinaus ermöglicht BIM den Einsatz von Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR), um die Ergebnisse des Projekts zu visualisieren. (2)

Der Fachaufsatz „Tunnelling & Mining Information Modelling; a Digital Environment for Next Generation Mining“ (3) von Jyrki Salmi, Doktorand und Forschungsdirektor im Bereich der Digitalisierung und Automatisierung des Bergbaus an der Universität Oulu/Finland, diskutiert die Anwendung von BIM im Berg- und Tunnelbau.

Der Artikel basiert auf Workshops an der Universität Oulu im Rahmen des „Next Generation Mining“-Projekts, mit über 100 Teilnehmern aus über 50 Unternehmen. Der Fokus liegt auf den Herausforderungen und Potentialen der BIM-Methode im Untertagebau, die bisher vorrangig in übertägigen Projekten genutzt wurde. Die Autoren betonen die Notwendigkeit eines effektiven Informationsmanagements im Bergbau zur Steigerung der Produktivität und Verbesserung der Projektqualität. Vorteile von BIM im Bergbau umfassen verbesserte Zusammenarbeit, Automatisierung, fortgeschrittene Analysen und effizientere Informationsverwaltung.

Zusammenfassend unterstreicht der Artikel das Interesse und die Bereitschaft des finnischen Berg- und Tunnelbausektors, BIM weiterzuentwickeln und skizziert zukünftige Forschungs- und Entwicklungsrichtungen in diesem Bereich.

Der aktuelle Stand des Einsatzes von BIM im Bereich der Endlager für radioaktive Abfälle und im Bergbau zeigt, dass die Anwendung dieser Technologie noch in den Anfängen steckt, obwohl sie erhebliche Vorteile bietet. Trotz begrenzter Beispiele für BIM-Anwendungen, insbesondere in Finnland, ist ihre Nutzung in diesen Sektoren noch nicht weit verbreitet. BIM hat das Potential, die Planung und Konstruktion von Endlagerstätten und Bergbauprojekten erheblich zu verbessern. Durch die Integration und Optimierung umfangreicher Datenmengen in einem digitalen Modell kann BIM zu einer effizienteren Planung, erhöhten Transparenz und besseren Kostenkontrolle beitragen.

3 Erfolgreiche Anwendung von BIM am Beispiel des Endlagers Schacht Konrad

Im Folgenden wird exemplarisch die Anwendung der BIM-Methode im Endlager Schacht Konrad dargestellt. Die Schachanlage Konrad ist aktuell der Ort, an dem das erste nach Atomrecht genehmigte Endlager für schwach- und mittelradioaktive verfestigte Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung in Deutschland entsteht. Ursprünglich war Schacht Konrad ein Eisenerz-Bergwerk, und die Umwandlung in ein Endlager war ein langwieriger Prozess. Es ist die Lagerung von 303.000 m³ verpackter schwach- und mittelradioaktiver Abfälle vorgesehen. Die Genehmigung des Endlagers erfolgte durch ein umfangreiches atomrechtliches Planfeststellungsverfahren, das rd. 20 Jahre dauerte. An der Errichtung des Endlagers Schacht Konrad sind neben der BGE auch weitere Akteure wie Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden sowie die Öffentlichkeit beteiligt (4).

Große Infrastrukturprojekte sind typischerweise langwierige Unternehmungen, denen es häufig an Flexibilität mangelt, um mit der rasanten technologischen Entwicklung, besonders im Bereich der Planungswerkzeuge, Schritt zu halten. Das Projekt des Endlagers

realistic visualizations of the project, leading to improved understanding and more efficient planning processes.

3. 4D Simulation: This allows for the simulation and optimization of the project's timeline, thereby identifying and avoiding potential issues early on.
4. Use of VR and AR: These technologies enhance spatial understanding and offer innovative ways to interact with and within the project.

The approaches described below were chosen to fulfill these use cases.

3.1 Model coordination

The project team faced the challenge in model coordination that only a portion of the plans existed in 3D. As a fundamental step, all necessary models were first converted into a 3D format to enable spatial coordination (Figure 1). The existing 3D models, for which there were no uniform guidelines, varied greatly in structure and level of detail. Particularly challenging was the model detailing, as many models originated from the field of plant construction and were modeled down to the smallest components such as washers and screws. These models had to be simplified and converted into compatible formats to enable effective coordination – the spatial alignment of the models to each other – as well as collision checks.

A central and extremely helpful tool in this process was the introduction of a Common Data Environment (CDE). Within the CDE, models and the coordination model could be made accessible to all participants. This significantly simplified and accelerated the identification and management of collisions as well as required adjustments. Task management within the CDE played a key role by enabling efficient communication and coordination between the various teams.

3.2 Visualizations

Visualizations play a crucial role in understanding and communicating complex projects, especially in the context of public participation. They make it possible to vividly depict spatial condi-

Schacht Konrad stellt hier eine bemerkenswerte Ausnahme dar. Trotz der bekannten Herausforderungen, BIM in ein bereits laufendes Projekt zu integrieren, hat sich die BGE entschlossen, diese fortschrittliche Methode zur Koordination des gesamten untertägigen Kontrollbereichs zu implementieren. Um die Vorteile von BIM zeitnah zu realisieren, konzentrierte sich das Projektteam zunächst auf die grundlegenden, aber zugleich vielversprechendsten Anwendungsfälle von BIM. Diese zielgerichtete Herangehensweise ermöglichte rasche Verbesserungen in der Planungskoordination. Zu den Schlüsselanwendungen zählen:

1. Koordination der verschiedenen Fachgewerke: Durch BIM wird eine effizientere und präzisere Abstimmung zwischen den verschiedenen Baugewerken ermöglicht.
2. Visualisierungen: BIM erleichtert die Erstellung detaillierter und realistischer Visualisierungen des Projekts, was zu einem verbesserten Verständnis und effizienteren Planungsprozessen führt.
3. 4D-Simulation: Diese ermöglicht es, den zeitlichen Ablauf des Projekts zu simulieren und zu optimieren, wodurch potentielle Probleme frühzeitig erkannt und vermieden werden können.
4. Einsatz von VR und AR: Diese Technologien verbessern das räumliche Verständnis und bieten innovative Möglichkeiten zur Interaktion im und mit dem Projekt.

Die nachfolgend beschriebenen Herangehensweisen wurden gewählt, um die Anwendungsfälle zu erfüllen.

3.1 Modellkoordination

Das Projektteam sah sich bei der Modellkoordination mit der Herausforderung konfrontiert, dass nur ein Teil der Planungen in 3D vorlag. Als grundlegender Schritt wurden zunächst alle erforderlichen Modelle in ein 3D-Format überführt, um eine räumliche Koordination zu ermöglichen (Bild 1). Die vorhandenen 3D-Modelle, für die keine einheitlichen Vorgaben existierten, variierten stark in Struktur und Detailtiefe. Besonders herausfordernd war die Modelldetaillierung, da viele Modelle aus dem Bereich des Anlagenbaus stammten und bis hin zu kleinsten Bauteilen wie Unterlegscheiben und Schrauben modelliert waren. Diese Modelle mussten vereinfacht und in kompatible Formate

überführt werden, um eine effektive Koordination – die räumliche Ausrichtung der Modelle zueinander – sowie Kollisionsprüfungen durchführen zu können.

Ein zentrales und äußerst hilfreiches Werkzeug in diesem Prozess war die Einführung eines Common Data Environments (CDE). Innerhalb des CDE konnten Modelle und das Koordinationsmodell für alle Beteiligten zugänglich gemacht werden. Dadurch wurden die Identifizierung und das Management von Kollisionen sowie erforderliche Anpassungen wesentlich vereinfacht und beschleunigt. Das Aufgabenmanagement innerhalb der CDE spielte eine Schlüsselrolle, indem sie eine effiziente Kommunikation und Koordination zwischen den verschiedenen Teams ermöglichte.

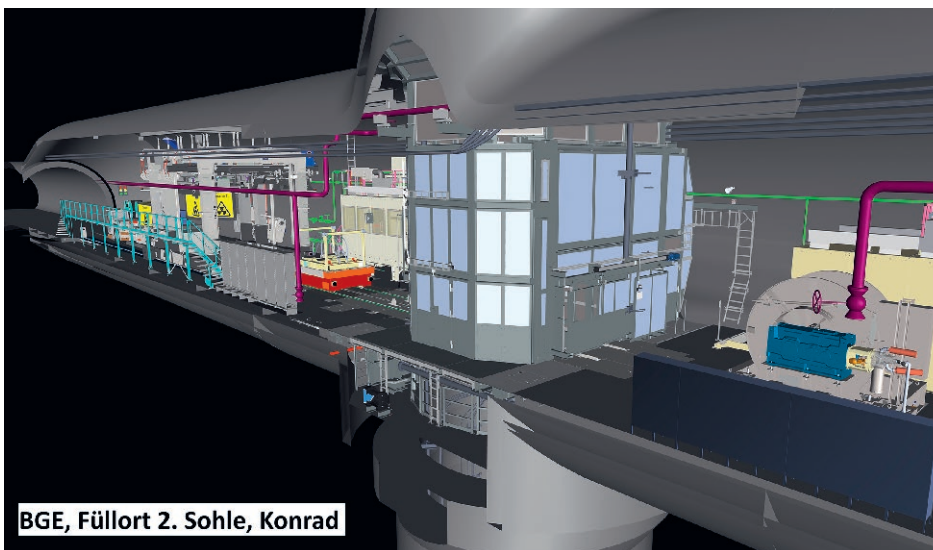


Fig. 1. Section through the coordination model in the BIM model viewer.

Bild 1. Schnitt durch das Koordinationsmodell im BIM-Modellviewer. Source/Quelle: CDM Smith



BGE, Füllort 2. Sohle

Fig. 2. Rendering of the BIM coordination model.

Bild 2. Rendering des BIM-Koordinationsmodells. Source/Quelle: CDM Smith

tions and visualize processes during the construction phase and operation. In this project, the team used the coordination model and converted it for different applications. This included creating video sequences with textured models and rendering images of specific areas (Figure 2).

The current market offers a variety of software options for generating such videos and images. These tools are not only technically advanced but also user-friendly, allowing the team to quickly create high-quality visual content. These visual representations are invaluable for communicating with stakeholders, as they make it possible to convey complex technical details to a non-technical audience. By using visualizations, the project team can effectively and vividly convey how the project will be realized and its impacts, thus ensuring transparency and building trust with the public.

3.3 4D Simulations

Construction process simulations, known as 4D simulations, represent an innovative method to visualize the construction process. They link the schedule directly with the model elements and depict this connection in a simulation video. This makes the construction process more understandable and comprehensible to people. A key advantage of this technique is that it allows for a better understanding of the individual construction phases and simultaneously helps to identify potential collisions or conflicts in the schedule and construction and assembly processes that would remain hidden in traditional waterfall diagrams.

The applications of 4D simulations are diverse. They can be used for both the representation of the entire project course and for smaller sequences, such as the construction of complex components. The simulations offer various viewing options. They can be consumed as a video, which allows for a simple and quick overview. In addition, Mixed Reality (MR) and VR technologies offer the possibility to interactively immerse in the simulation. Users can pause, rewind the simulation, and change the perspective at will, to gain a deeper understanding of the construction processes.

This interactive component significantly expands the range of application possibilities of 4D simulations. It allows participants to virtually move through the various construction phases, thus developing an intuitive and comprehensive understanding of project progress and the associated challenges.

3.2 Visualisierungen

Visualisierungen spielen eine entscheidende Rolle beim Verständnis und der Kommunikation komplexer Projekte, besonders im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung. Sie ermöglichen es, die räumlichen Gegebenheiten anschaulich darzustellen und Prozesse während der Bauphase und des Betriebs zu visualisieren. In diesem Projekt nutzte das Team das Koordinationsmodell und wandelte es für unterschiedliche Anwendungen um. Dies beinhaltete das Erstellen von Videosequenzen mit texturierten Modellen sowie das Rendern von Bildern spezifischer Bereiche (Bild 2).

Die heutige Marktlage bietet eine Vielzahl von Softwareoptionen für die Erzeugung solcher Videos und Bilder. Diese Werkzeuge sind nicht nur technisch fortschrittlich, sondern auch benutzerfreundlich, was es dem Team ermöglicht, schnell hochwertige visuelle Inhalte zu erstellen. Diese visuellen Darstellungen sind für die Kommunikation mit Stake-

holdern von unschätzbarem Wert, da sie es ermöglichen, komplexe technische Details einem nicht-technischen Publikum zugänglich zu machen. Durch die Verwendung von Visualisierungen kann das Projektteam effektiv und anschaulich vermitteln, wie das Projekt realisiert wird und welche Auswirkungen es hat, was wiederum für Transparenz und Vertrauensbildung bei der Öffentlichkeit sorgt.

3.3 4D-Simulationen

Bauablaufsimulationen, bekannt als 4D-Simulationen, stellen eine innovative Methode dar, um den Bauprozess zu visualisieren. Sie verknüpfen den Terminplan direkt mit den Modellelementen und stellen diese Verbindung in einem Simulationsvideo dar. Dies macht den Bauprozess für Menschen leichter verständlich und nachvollziehbar. Ein wesentlicher Vorteil dieser Technik ist, dass sie ein verbessertes Verständnis der einzelnen Bauphasen ermöglicht und gleichzeitig hilft, potentielle Kollisionen oder Konflikte im Terminplan und in Bau- und Montageabläufen zu identifizieren, die in herkömmlichen Wasserfalldiagrammen verborgen bleiben würden.

Die Anwendungsbereiche von 4D-Simulationen sind vielfältig. Sie können sowohl für die Darstellung des gesamten Projektverlaufs als auch für kleinere Sequenzen wie die Errichtung komplexer Bauteile eingesetzt werden. Die Simulationen bieten dabei verschiedene Betrachtungsoptionen. Sie können als Video konsumiert werden, was eine einfache und schnelle Übersicht ermöglicht. Darüber hinaus bieten Mixed Reality (MR)- und VR-Technologien die Möglichkeit, interaktiv in die Simulation einzutauchen. Nutzer können die Simulation anhalten, zurückspulen und dabei die Perspektive beliebig ändern, um ein tieferes Verständnis der Bauprozesse zu erlangen.

Diese interaktive Komponente erweitert das Spektrum der Anwendungsmöglichkeiten von 4D-Simulationen erheblich. Sie ermöglicht es den Beteiligten, sich virtuell durch die verschiedenen Bauphasen zu bewegen und so ein intuitives und umfassendes Verständnis für den Projektfortschritt und die damit verbundenen Herausforderungen zu entwickeln.

3.4 Einsatz VR und AR

Der Einsatz von VR und AR in Bauprojekten repräsentiert eine revolutionäre Entwicklung in der Betrachtung und Interaktion der Planungs- und Koordinationsmodelle. VR ermöglicht es den Beteiligten, sich in einer vollständig digitalen Umgebung zu bewegen,

3.4 Use of VR and AR

The use of VR and AR in construction projects represents a revolutionary development in the viewing and interaction of planning and coordination models. VR allows participants to move in a completely digital environment, making the project experienceable in a virtual world, almost as if they were physically on site. The team used this technology to gain a better understanding of dimensions, as well as to walk through the model together to discuss changes and adjustments. The team could meet virtually in a model, regardless of their physical location. The technology could be described as a kind of virtual site inspection of the yet unbuilt object.

AR, on the other hand, offers the possibility to overlay digital information in the real world as a hologram. This technology is particularly intended underground, to display planning models at the intended location. This technique allows for a better understanding of the future facility by integrating planning data directly into the context of the physical location.

The use of model-based collaboration and the use of advanced technologies have noticeably improved communication and efficiency in collaboration. Model coordination revealed numerous previously hidden collisions in 2D plans. In addition, the BIM models serve as an effective communication medium, allowing participants to communicate at the respective planning location, with everyone having the same views. This minimizes the risk of interpretation misunderstandings. Clear communication and structured handling of data and models enable the team and all those involved in the planning to carry out the project efficiently and transparently. This is essential for the realization of a large and important infrastructure project.

4 Outlook

In the framework of the presented project example, fundamental BIM use cases were selected for implementation. However, it should be emphasized that based on a well-structured coordination model, further application possibilities are feasible. The following list provides an overview of possible use cases that could be of considerable benefit in the construction of a repository:

- **Virtual commissioning:** This process involves integrating BIM models with control systems of programmable logic controllers (PLC). The main function is to link the models with real control programs and conduct a virtual simulation of operations. This allows for the identification and correction of potential issues, such as collisions or malfunctions, before the actual commissioning. This approach can minimize risks and improve the safety and efficiency of operations.
- **Operation and maintenance with SAP interface:** Expanding the BIM models with specific attributes and functionalities enables seamless integration with enterprise resource planning systems (ERP) like SAP™. This approach facilitates the management of maintenance logs, spare parts orders and other operational processes. By directly connecting the physical structure with its digital twin, maintenance activities can be planned and executed more efficiently, maximizing operating time and reducing costs.
- **Virtual training for health and safety:** The use of BIM technology for employee training focuses on simulating realistic work environments and scenarios. This can include emergency re-

wodurch das Projekt in einer virtuellen Welt erlebbar wird, fast als ob man physisch vor Ort wäre. Das Team hat diese Technologie genutzt, um zum einen ein besseres Verständnis der Abmessungen zu bekommen, aber auch gemeinsam das Modell zu begehen, um Änderungen und Anpassungen zu besprechen. Das Team konnte sich virtuell in einem Modell treffen, unabhängig von ihrem physischen Standort. Man könnte die Technologie als eine Art virtuelle Baustellenbesichtigung des noch nicht gebauten Objekts bezeichnen.

AR auf der anderen Seite bietet die Möglichkeit, digitale Informationen in der realen Welt als Hologramm zu überlagern. Diese Technologie ist besonders unter Tage angedacht, um Planungsmodelle an der vorgesehenen Position darzustellen. Diese Technik ermöglicht es, ein besseres Verständnis für die zukünftige Anlage zu entwickeln, indem sie Planungsdaten direkt in den Kontext des physischen Standorts integriert.

Der Einsatz der modellbasierten Zusammenarbeit sowie die Nutzung fortschrittlicher Technologien haben die Kommunikation und Effizienz in der Kollaboration merklich verbessert. Durch die Modellkoordination wurden zahlreiche zuvor in 2D-Plänen verborgene Kollisionen aufgedeckt. Darüber hinaus fungieren die BIM-Modelle als effektives Kommunikationsmedium, das es den Beteiligten ermöglicht, sich am jeweiligen Planungsort zu verständigen, wobei alle dieselben Ansichten haben. Dies minimiert das Risiko von Interpretationsmissverständnissen. Eine klare Kommunikation und ein strukturierter Umgang mit Daten und Modellen ermöglichen es dem Team und allen an der Planung Beteiligten, das Projekt effizient und transparent durchzuführen. Dies ist essenziell für die Realisierung eines großen und wichtigen Infrastrukturprojekts.

4 Perspektive

Im Rahmen des vorgestellten Projektbeispiels wurden grundlegende BIM-Anwendungsfälle für die Implementierung ausgewählt. Es ist jedoch hervorzuheben, dass auf Basis eines gut strukturierten Koordinationsmodells weitere Anwendungsmöglichkeiten realisierbar sind. Die folgende Aufstellung bietet einen Überblick über mögliche Anwendungsfälle, die bei der Errichtung eines Endlagers von erheblichem Nutzen sein könnten:

- **Virtuelle Inbetriebnahme:** Dieser Prozess umfasst die Integration von BIM-Modellen mit Steuerungssystemen der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS). Die Hauptfunktion besteht darin, die Modelle mit realen Steuerungsprogrammen zu verknüpfen und eine virtuelle Simulation des Betriebs durchzuführen. Dies ermöglicht es, vor der tatsächlichen Inbetriebnahme potentielle Probleme wie Kollisionen oder Fehlfunktionen zu identifizieren und zu beheben. Durch diese Vorgehensweise können Risiken minimiert und die Sicherheit sowie die Effizienz des Betriebs verbessert werden.
- **Betrieb und Wartung mit SAP-Schnittstelle:** Die Erweiterung der BIM-Modelle um spezielle Attribute und Funktionalitäten ermöglicht eine nahtlose Integration mit Unternehmensressourcenplanungssystemen (ERP) wie beispielsweise SAP™. Dieser Ansatz erleichtert die Verwaltung von Wartungsprotokollen, Ersatzteilbestellungen und anderen betrieblichen Prozessen. Durch die direkte Verbindung zwischen dem physischen Bauwerk und seinem digitalen Zwilling können Wartungsarbeiten effizienter geplant und ausgeführt werden, wodurch die Betriebszeit maximiert und die Kosten gesenkt werden.

sponses, routine maintenance procedures, or even specific approaches to unusual operating conditions. Training in a virtual environment allows employees to safely confront various scenarios, not only improving their skills but also contributing to overall workplace safety. This is particularly invaluable in high-risk environments like repositories for radioactive waste.

In summary, it can be said that the application of the BIM method offers enormous potential to optimize planning and execution processes in mining and the construction of repositories. Although there are currently no specific standards like in high-rise construction, the application of BIM methods in mining and repository construction is certainly possible and can contribute to significant efficiency improvements.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Was ist BIM? Digitales Planen einfach erklärt.
www.autodesk.com/de/design-make/articles/was-ist-bim.
Zuletzt abgerufen am 29.12.2023.
- (2) Engaging with BIM – Nuclear Engineering International.
www.neimagazine.com/features/featureengaging-with-bim-5672206/. Zuletzt abgerufen am 21.12.2023.
- (3) Salmi, J.; Heikkilä, R.; Hyytinen, M. (Hg.) (2023):
Tunnelling & Mining Information Modelling; a Digital Environment for Next Generation Mining.
- (4) Bundesgesellschaft für Endlagerung. www.bge.de/de.
Zuletzt abgerufen am 29.12.2023.

- Virtuelles Training für Gesundheit und Sicherheit: Die Nutzung von BIM-Technologie für das Training der Mitarbeiter konzentriert sich auf die Simulation realistischer Arbeitsumgebungen und -szenarien. Dies kann Notfallreaktionen, routinemäßige Wartungsverfahren oder sogar spezifische Vorgehensweisen bei ungewöhnlichen Betriebszuständen umfassen. Durch das Training in einer virtuellen Umgebung können Mitarbeiter gefahrlos mit verschiedenen Szenarien konfrontiert werden, was nicht nur ihre Fähigkeiten verbessert, sondern auch zur allgemeinen Sicherheit am Arbeitsplatz beiträgt. Insbesondere in Hochrisikoumgebungen wie Endlagern von radioaktiven Abfällen ist dies von unschätzbarem Wert.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Anwendung der BIM-Methode enormes Potential bietet, um Planungs- und Ausführungsprozesse im Bergbau und im Bau von Endlagern zu optimieren. Obwohl derzeit keine spezifischen Standards wie im Hochbau existieren, ist die Anwendung von BIM-Methoden im Berg- und Endlagerbau durchaus möglich und kann zu einer signifikanten Effizienzsteigerung beitragen.

Authors / Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Ilja Prinz, CDM Smith SE, Mannheim,
Sebastian Westphal B. Eng., BGE Bundesgesellschaft
für Endlagerung mbH (BGE), Peine