Praktische Erfahrungen und Erkenntnisse zur Erstellung eines BIM-Fachmodells für den Baugrund eines Tunnelbauprojekts

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt, Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt, Deutschland
Claudio Cortese M.Eng., Dr. rer. nat. Joachim Michael und Dr.-Ing. Simon Meißner, Prof. Quick und Kollegen - Ingenieure und Geologen GmbH, Darmstadt, Deutschland

Der Beitrag beschreibt die praktischen Erfahrungen und Erkenntnisse, die im Rahmen einer Erstellung eines BIM-Fachmodells für den Baugrund im Rahmen eines Tunnelbauprojekts gewonnen wurden.

Tunnelbau • Geotechnik • BIM • Modellierung • Baugrund

1 Einführung

Building Information Modeling (BIM) ist ein modellbasierter Prozess, mit dem die Planung, die Ausführung eines Bauvorhabens und dessen Betrieb optimiert werden sollen. Hierzu werden in einem digitalen Gesamtmodell verschiedene Teil- und Fachmodelle mit speziellen BIM-Softwarelösungen integrativ bearbeitet. Im Hochbau wird die BIM-Methode schon seit längerem angewendet, wohingegen die Herausforderungen für die Anwendung der BIM-Methode im Tiefbau/Untertagebau noch bewältigt werden müssen.

Im Rahmen des vorliegenden Beitrags soll aufgezeigt werden, inwieweit es mit dem Stand der Technik und der Softwareentwicklung aktuell möglich ist, die Modellierung des Baugrunds und die Schnittstellen zwischen den konstruktiv-statischen Randbedingungen des Tunnelbauwerks und den geotechnisch-tunnel-bautechnischen Parametern und Attributen zu bedienen. Hierbei wird ein besonderes Augenmerk auf Datenaustauschformate gelegt, da diese für die Durchsichtigkeit und Durchgängigkeit der digitalen Daten während des BIM-Prozesses entscheidend sind.

Anhand einer nach der klassischen Planungsmethode durchgeführten Erkundung für ein Tunnelbauwerk und des daraus abgeleiteten Geotechnischen Gutachtens wurde in einer Studie versucht, mit aktuell verfügbaren Softwarelösungen ein Baugrundmodell mit allen nötigen geotechnisch-tunnelbautechnischen Parametern und Attributen zu erzeugen.

2 Mehrdimensionale Planung von 2D bis xD

Mit der BIM-Methode werden neue Planungsdimensionen in die aktuell bereits gängigen 2D- und 3D-Planungen eingeführt. Ein zur heutigen Zeit schon übliches 3D-Modell eines Gebäudes wird um die Faktoren Bauzeit und Bauwerkskosten erweitert (**Bild 1**). Bei der Implementierung der Bauzeit in ein vorhandenes 3D-Modell wird dieses als 4D-Modell bezeichnet. Bei der Berücksichtigung der Bauzeit und der Bauwerkskosten handelt es sich um ein 5D-Modell.

Ein BIM-Modell entsteht allerdings nicht nur durch die Erweiterung von Dimensionen. Ein weitaus wichtigerer Schritt erfolgt bereits bei der Erstellung des

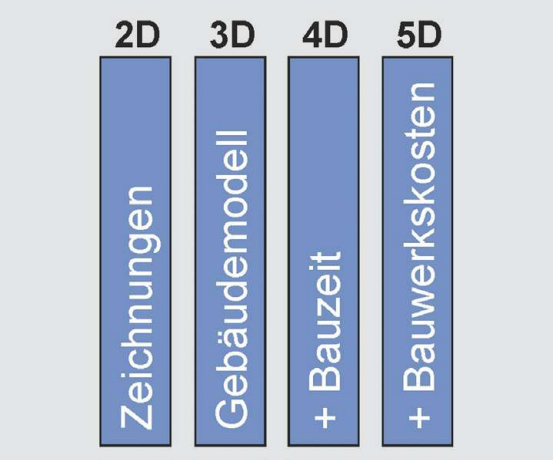


Bild 1: Dimensionen im BIM

3D-Modells. Ziel ist es, ein Gesamtmodell (GM) aus verschiedenen Fachmodellen (FM) zu entwickeln, die wiederum aus verschiedenen Teilmodellen (TM) bestehen. Das Gesamtmodell enthält dann alle relevanten Sachdaten, welche aus Parametern, Attributen und Relationen bestehen. Parameter beinhalten in erster Linie die geometrischen Eigenschaften jedes einzelnen Fachobjekts (FO). Attribute beschreiben alle Eigenschaften eines Fachobjekts. Diese können z. B. Materialeigenschaften (Betongüte, Expositionsklassen, Stahlgüte usw.), Bodenkennwerte, Herstellerangaben, Einbauhinweise etc. enthalten. Relationen beschreiben Beziehungen zwischen den einzelnen FO und ebenso die Bezüge zwischen den einzelnen FM, welche gegenseitig voneinander abhängig sein können. Die Relationen zwischen den FM bildet ausschließlich nur das GM ab.

3 Modellstruktur

Für die Umsetzung eines Tunnelbauprojekts mit BIM-Methode ist die Grundlagenermittlung in Form einer

digitalen Aufbereitung der bei der Erkundung gesammelten Daten von großer Bedeutung. Die Herausforderung besteht darin, eine Modellstruktur für den Baugrund zu entwickeln und normativ und in offenen und neutralen Datenaustauschformaten zu etablieren. Dies ist obligatorisch, um die digitalen Daten kompatibel für die Nutzung in einem BIM-Modell, z. B. für den Tunnelbau zu machen.

Für ein BIM-Modell Geotechnik ist es gemäß [1] sinnvoll, das Fachmodell Baugrund in die folgenden Teilmodelle zu unterteilen:

- Digitales Geländemodell (DGM)
- Bodenschichtenmodell/Homogenbereichsmodell/ Bohrprofile
- Grundwasserstandsmodelle
- Kampfmittelverdachtsmodell (gegebenenfalls auch eigenes Fachmodell)
- Modell mit Altlastenverdachtsflächen
- Modell für im Baugrund befindliche Bauteile / bekannte Hindernisse

4 Modellgranularität

Die Modellgranularität [2] beschreibt in verschiedenen Entwicklungsstufen für geometrische und semantische Informationen im BIM-Modell den Reifegrad der Planungs- bzw. Entwicklungsstufe. Dazu haben sich die internationalen Begriffe Level of Geometry (LoG), Level of Information (LoI), Level of Detail (LoD) und Level of Development (LOD) etabliert. Im Hochbau werden LOD mit fünf Stufen von 100 bis 500 angewendet.

4.1 Modellgranularität LoX Baugrund

Für den Baugrund liegen derzeit keine Empfehlungen für die Festlegung der Fertigstellungsgrade mit den Granularitäten LoG, LoI, LoD und LOD vor, wie im Abschnitt 4.2 für den Tunnelbau auf Grundlage von [2] dargestellt wird.

Für das BIM-Baugrundmodell lassen sich die etablierten Modellgranularitäten aus dem Hochbau ebenfalls nicht direkt adaptieren. Entsprechend [3] ist in der Geotechnik eine „verhältnismäßig große Unschärfe“ vorhanden. Am Beispiel der LOD-Definition im Hochbau lässt sich erkennen, dass diese sich stark an den Planungsphasen orientiert. Für das BIM-Baugrundmodell lässt sich diese Definition nicht direkt anwenden.

In [3] wird ein LODgeo vorgestellt, das eine Aussage über den Detaillierungsgrad des BIM-Baugrundmodells anhand der Anzahl der vorhandenen Aufschlüsse und Archivbohrungen in einem bestimmten Raster beschreibt. Es bleibt aber weiterhin fraglich, ob und wie die aus dem Hochbau bekannten Modellgranularitäten für ein BIM-Baugrundmodell angewendet werden können oder ob für ein BIM-Baugrundmodell oder auch „Bestandsmodell“ vereinfacht von einem LOD 100 mit einer Stufe ausgegangen werden kann.

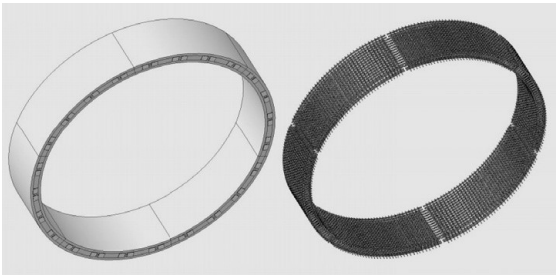


Bild 2: Beispiel LoG 400 Tübbingsicherung/ Bewehrung [5]

4.2 Modellgranularität LoX Tunnelbau

Für den Untertagebau hat der DAUB-Arbeitskreis Empfehlungen [2, 4] für die Festlegung der Fertigstellungsgrade mit den Granularitäten LoG, LoI, LoD und LOD vorgelegt.

Der Detaillierungsgrad der Parametrisierung, d. h. die Tiefe der geometrischen Informationen der Bauteile eines BIM-Modells, wird gemäß der Empfehlung des DAUB-Arbeitskreises mit dem Level of Geometry (LoG) beschrieben.

Speziell für den Untertagebau werden in der DAUB-Empfehlung LoG's für „konventionelle Ausbruchs- und Sicherungsmethoden“ sowie für „Vortriebe mit maschinellem Vollausbruch und Sicherung mittels Tübbingen“ angegeben. Der Detaillierungsgrad wird in vier Hauptstufen von 100 bis 400 unterteilt. Diese beziehen sich auf die relevanten Methoden im Untertagebau, wie Ausbruch, Ausbruchsicherung (Außenschale und weitere Sicherungsmittel), Abdichtung, Innenschale und Innenausbau.

Es ist in der Projektkonzeptionierung in den Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) und dem BIM-Abwicklungsplan (BAP) festzulegen, welche Anwendungsfälle in bestimmten Projektphasen welchem LoG entsprechen.

Der DAUB-Arbeitskreis gibt in der Anlage 1 „Vorschlag zur Verwendung eines „Level of Geometrie“ (LoG) im konventionellen Tunnelbau“ sowie in der Anlage 2 „Vorschlag zur Verwendung eines „Level of Geometrie“ (LoG) im maschinellen Tunnelbau“ Hilfestellungen zur Festlegung der Detaillierungsgrade in den einzelnen LoG-Stufen. Diese sind laut DAUB-Arbeitskreis als Empfehlungen und nicht als Richtlinie zu betrachten. Im **Bild 2** ist als Beispiel für ein LoG 400 eine Tübbingsicherung mit der dazugehörigen Bewehrung dargestellt.

Das Level of Information (LoI) beschreibt den Detaillierungsgrad der Attribuierung eines Bauteils im BIM-Modell. Neben semantischen Informationen zum jeweiligen Bauteil ist die Hinterlegung einer eindeutigen Kennung des Fachobjekts in Form eines GUID (Globally Unique Identifier) oder eines Simulationscodes erforderlich, der einzigartig für jedes Fachobjekt im BIM-Modell generiert wird.

Mit dem Level of Detail (LoD) wird entsprechend [2] die Zusammenführung des LoG und LoI beschrieben. Hier erfolgt im Vergleich zum Hochbau keine neue Definition, da der ursprüngliche Gebrauch des LoG aus dem Hochbau auf den Untertagebau übertragen werden kann. In der Stufe des LoD wird nach [2] die Zuordnung der Attribute (LoI) und des geometrischen Detaillierungsgrads (LoG) mit Bezug auf den verfolgten Anwendungsfall je Bauteil in der Modellierungsrichtlinie dokumentiert. Im Gegensatz zum Hochbau wird hier allerdings auf die Verwendung eines LoD 500 (as built) verzichtet, da sich der Reifegrad im Level of Development (LOD) beschreiben lässt.

Das Level of Development (LOD) beschreibt den Reifegrad eines BIM-Modells. Die LODs werden in den AIA und im BAP festgehalten und vereinbart. Schon in der Projektkonzeptionierung wird eine Lebenszyklusbetrachtung des Bauwerks durchgeführt, und daraus werden die Anforderungen an einzelne Projektphasen definiert. Im Level of Development ist es unter anderem denkbar, Betrachtungen zur Trassenwahl, den Abtransport von Ausbruchmaterial und Kollisionen mit Bestandsbauwerken zu verwirklichen.

Der DAUB-Arbeitskreis schlägt in [2] folgende Modelle für einen fortgeschrittenen Planungsstand vor:

- Konzeptmodell (Übersichten vor der Ausführung)
- Ausführungsmodell (Reifegrad zur 2D-Planableitung)
- Produktionsmodell (Einarbeitung der tatsächlich ausgeführten Leistungen, wie z. B. Geologie und Vortriebsklassen)
- „As built“ Modell (Modell zur Übergabe an den Betrieb, als Grundlage für Bestands- oder Betreibermodell)

5 Stand der Technik und Datenaustauschformate

Für die praktische Umsetzung der BIM-Methode müssen Werkzeuge in Form von Software-Lösungen entwickelt und angewendet werden. Für den Hochbau existieren bereits hochwertige und benutzerfreundliche Softwarelösungen, die ein integratives Arbeiten im BIM-Raum ermöglichen. Neben dem vorhandenen Softwareangebot ist insbesondere der softwareübergreifende Datenaustausch für die praktische Arbeit von Bedeutung. Es fehlt noch an durchgängigen Standards, um interdisziplinär und softwareübergreifend Daten zwischen verschiedenen Fachplanern auszutauschen. Nach dem BIM-Leitfaden für Deutschland [6] soll sich mit der Einführung der BIM-Methode für die Planung und das Bauen von Bauwerken der Open-BIM-Standard etablieren. Im Hochbau setzt sich mehr und mehr das Industry Foundation Classes (IFC) Format durch. Der Verein buildingSMART e. V. fördert offene Schnittstellen für die BIM-Methode und unternimmt große Anstrengungen, um Standards und Lösungen für technische Aufgabenstellungen zu finden und zu etablieren.

5.1 Open-BIM-Standard

Der Open-BIM-Standard beschreibt offene und neutrale Schnittstellen für einen effektiven und transparenten Datenaustausch zwischen allen an einem mit der BIM-Methode geplanten Projekt Beteiligten. In Deutschland besteht die Bestrebung, dass die Datenaustauschformate nicht als Mittel zum Erlangen einer Monopolstellung eines Softwareherstellers instrumentalisiert werden. Es gibt bereits einige proprietäre Datenaustauschformate, die für bestimmte Fachanwendungen auch ihre Daseinsberechtigung haben [7].

Für Projekte der öffentlichen Hand im Infrastrukturbereich fordert der Stufenplan des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) [8] seit dem Jahr 2020 die Anwendung des Open-BIM-Standards für mit der BIM-Methode geplante Projekte. Da sich, wie oben ausgeführt, bereits einige proprietäre Datenaustauschformate etabliert haben, können für die Lieferung digitaler Daten an den Auftraggeber neben den Daten im Open-BIM-Standard weitere Datenpakete in Form proprietärer Datenaustauschformate als Zusatz übergeben werden. Die Lieferung der digitalen Daten muss aber nach dem Stufenplan des BMVI ganzheitlich mit dem Open-BIM-Standard erfolgen, da sich durch den Einsatz proprietärer Datenaustauschformate eine zu starke Bindung an bestimmte Softwarehersteller entwickelt, welche zum sogenannten Lock-In-Effekt führt [7]. Auf diese Weise wird verhindert, dass öffentliche Auftraggeber die Benutzung bestimmter Softwareprodukte eventuell sogar schon in den AIA, vorschreiben müssten. Eine solche Vorgabe würde zu einer Beeinflussung der allgemeinen Wettbewerbsbedingungen führen und den öffentlichen Auftraggeber in eine unerwünschte Bindung an die meist international agierenden Softwarehersteller zwingen [6].

Ein weiterer Vorteil für die Open-BIM-Methode ist, dass Infrastrukturprojekte oft Jahrzehnte in der Planung und Ausführung benötigen und Nutzungsdauern von bis zu 100 Jahren haben. Bei einer Langzeitspeicherung der von den AN übergebenen digitalen Daten kann nicht garantiert werden, dass ein proprietäres Datenaustauschformat über die Jahre weiterentwickelt und gepflegt wird. Die Benutzung des Open-BIM-Standards verhindert einen Verlust von digitalen Daten, da die offenen Datenaustauschformate softwareherstellerunabhängig weiterentwickelt werden können.

Die große Herausforderung bei der Implementierung des Open-BIM-Standards ist die Programmierung fehlerfreier Schnittstellen, welche frühzeitig getestet werden müssen und zu exportierende Daten so ausgeben müssen, dass die importierende Seite diese auch mit allen exportierten Daten wieder einlesen kann. Um die komplexen digitalen BIM-Daten fehlerfrei zu ex- und zu importieren, ist weiterhin eine manuelle Konfiguration des Ex- und Imports durch den Benutzer durchzuführen [6].

5.2 Industry Foundation Classes – IFC

Die IFC-Spezifikation ist ein offenes, genormtes Datenaustauschformat, in dem ein BIM-Modell mit allen Fachobjekten und deren Sachdaten (Parametern, Attributen und Relationen) in einem vorgegebenen Datenschema softwareübergreifend ausgetauscht werden kann. Seit der Veröffentlichung des IFC4-Standards im Jahr 2013 wurde dieser in weiteren Versionen fortgeschrieben [6].

Die Organisation buildingSMART International, in Deutschland als buildingSMART e. V. tätig, entwickelt ihre IFC-Austauschformate [9] stetig weiter und ist bemüht, ein offenes und neutrales IFC-Datenaustauschformat auch für andere Fachbereiche zu etablieren. Dazu zählen für den Infrastrukturbereich die sich in Entwicklung befindlichen IFC-Bridge, IFC-Road, IFC-Rail und IFC-Tunnel.

Für die genannten Datenaustauschformate werden in Zusammenarbeit mit verschiedenen Ländern, Universitäten und Unternehmen, welche sich für die Entwicklung der BIM-Methode einsetzen, die IFC-Formate unter Berücksichtigung der Anforderungen für die einzelnen Fachbereiche fortgeschrieben.

Speziell für das Datenaustauschformat IFC-Tunnel werden und wurden an deutschen Universitäten zwei Forschungsprojekte vorangetrieben. Diese beschäftigen sich vor allem mit den Definitionen für den Tunnelbau und für die Tunnelbaumaschinen und mit den Detaillierungsgraden für BIM-Tunnelmodelle [10].

5.3 Weitere Datenaustauschformate

Neben dem IFC gibt es noch weitere proprietäre und offene Datenaustauschformate, die sich bereits etabliert haben:

- CityGML (City Geographic Markup Language)
- gbXML (Green Building Extensible Markup Language)
- COBie (Construction Operations Building information exchange)
- XML (Extensible Markup Language)
- OKSTRA (Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen)

5.4 Common Data Environment – CDE

Die Common Data Environment (CDE) ist eine cloudbasierte Dateiumgebung, auf die alle Projektbeteiligten innerhalb eines mit der BIM-Methode geplanten Projekts Zugriff haben. In dieser Datenumgebung werden sämtliche Projektinformationen im Sinn der Single Source of Truth (SSOT) abgelegt und zentral verwaltet. Um einen möglichst neutralen und offenen Zugriff auf die digitalen Daten des BIM-Projekts zu haben, wird die CDE oft mit der Möglichkeit des webbasierten Zugriffs auf die Projektdateien versehen. Dies ermöglicht den Projektbeteiligten mindestens eine softwareunabhängige Betrachtung der Projektdateien [11].

Die CDE basiert auf dem Prinzip des SSOT. Dieses besagt, dass alle Projektbeteiligten immer Zugriff auf die aktuellen Projektdaten haben und somit auch mit diesen aktuellen digitalen Daten arbeiten können. Es wird jedoch meist noch zwischen einer CDE für alle Projektbeteiligten und der für den Fachplaner selbst unterschieden. Denn es wird nicht jeder Planungs- und Bearbeitungsstand sofort mit allen Beteiligten geteilt. Erst mit einem definierten Reifegrad und erfolgter Qualitätssicherung werden die Daten zentral für alle verbindlich veröffentlicht [11].

6 Modellierung des Baugrunds

Für die Modellierung des Baugrunds im Rahmen der Projektstudie wurden zum einen die Software HoleBase SI Standard von Bentley (ehemals Keynetix) für die Erstellung einer Bohrdatenbank und zum anderen die Software Autodesk Civil 3D von Autodesk für die Erstellung des Baugrundmodells verwendet. Auf Erfahrungen in der Modellierung des Baugrunds mit anderer Software (z. B. Leapfrog Works) soll in einem zukünftigen Beitrag eingegangen werden.

6.1 Bohrdatenbank HoleBase SI

Ein Großteil der Daten lag ausschließlich im Papierformat bzw. PDF-Format vor. Die Schichtenverzeichnisse lagen zusätzlich im proprietären bop-Format vor, welches das Dateiformat des Programms iDat WinBohr ist. Zunächst erfolgten eine Auswahl und Zusammenstellung spezifischer Aufschlüsse im Tunnelbereich. Diese Auswahl wurde in einer Excel-Datei zusammengefasst und mit folgenden später in HoleBase SI zu hinterlegenden Parametern versehen:

- **Location ID** – Eindeutiger Name der Bohrung
- **Location Type**
- **Easting** [m] nach Gauß-Krüger Zone 3
- **Northing** [m] nach Gauß-Krüger Zone 3
- **Ground Level** [m] – Höhe über NN
- **Final Depth** [m] – Bohrmeter je Ansatzpunkt
- **Trassierungskilometer** [km]

Neben den Parametern, also den geometrischen Sachdaten, wurden auch Attribute in HoleBase SI hinterlegt. Hier ist zu beachten, dass speziell für das Erstellen geologischer Objekte im BIM-Projekt, die Attribute teilweise abhängig von Parametern sind. Attribute stehen in Relation zu Parametern in einem BIM-Objekt „Bohrprofil“. Diese Tatsache bezieht sich insbesondere auf die Lithologien sowie die Bodeneigenschaften, welche in Relation zum Parameter Bohrmeter stehen.

Die Attribute der Bohrprofile aus den vorliegenden Schichtenverzeichnissen im PDF-Format wurden übernommen und händisch in HoleBase SI übertragen. Hierzu zählen insbesondere die Bodenansprache inklusive Langtext-Beschreibung.

HoleBase SI arbeitet mit einer verknüpften SQL-Datenbank. Da in diesem konkreten Fall keine CDE vorhanden war, wurden die Daten der Bohrdatenbank in einer lokalen SQL-Umgebung gespeichert. HoleBase SI wurde für den britischen Raum entwickelt und enthält bereits Anpassungen für andere Räume, vor allem den amerikanischen. Aus diesem Grund sind noch einige Voreinstellungen nötig, um das Programm für den deutschen Raum nutzen zu können.

Da es in HoleBase SI auch möglich ist, die Ergebnisse von Laborversuchen zu hinterlegen, können hier auch die Kontaktdaten von Laboren, mit denen im Laufe des Projekts zusammengearbeitet wird, hinterlegt werden. Dies dient der Zuordnung der Laborergebnisse zum jeweiligen ausführenden Labor.

Für die Eingabe der Bohrlochdaten wurde das Profil Borehole Log verwendet. Hier können in acht Schritten folgende Daten hinterlegt werden:

1 **Locations**
2 **Drilling Details**
3/4 **Wells and Water Strikes**
5 **Samples**
6 **Results-Insitu**
7 **Results-Environmental**
8 **Geology**

Im ersten Schritt **Locations** werden die Parameter für jede Bohrung festgelegt. Dazu zählen insbesondere eine eindeutige Location ID, Location Type, Final Depth [m], Ground Level [m], Northing [m] und Easting [m]. Des Weiteren ist es möglich, ein Datum für den Beginn und das Ende der Bohrarbeiten zu hinterlegen. Somit ist im BIM-Prozess eine eindeutige Identifizierung jeder Bohrung möglich.

Im zweiten Schritt **Drilling Details** können Informationen zum Bohrverfahren und zur Lage der Bohrung im Raum eingegeben werden. Dies ist für Bohrungen von Vorteil, welche aus geologischen Gründen, wie z. B. der räumlichen Lage des Trennflächengefüges oder von Störungen, nicht senkrecht abgeteuft werden können. Des Weiteren können theoretisch Korrekturen für ursprünglich senkrecht geplante Bohrungen im Hinblick auf Abweichungen zur Soll-Lage der Bohrung vorgenommen werden.

Im dritten Schritt **Wells and Water Strikes** können Informationen zum optionalen Ausbau zur Grundwassermessstelle angegeben werden. Dazu zählen z. B. Daten wie der Durchmesser des Standrohrs, das Datum des Ausbaus und zur Verfüllung des Hohlraums zwischen Bohrloch und Standrohr.

Im vierten Schritt, ebenfalls **Wells and Water Strikes**, können Angaben zu angetroffenem Grundwasser gemacht werden.

Im fünften Schritt **Samples** werden Informationen zu entnommenen Proben hinterlegt. Hier besteht die Möglichkeit, jeder Probe eine eindeutige ID zuzuweisen und die Art der Probenentnahme zu definieren. Des Weiteren können Angaben zur Tiefenlage (Depth Top [m] und Depth Base [m]) und der Schlagzahl (Blows) hinterlegt werden.

Im sechsten Schritt **Results-Insitu** werden die Ergebnisse der möglicherweise durchgeführten in-situ-Versuche eingepflegt.

Im siebten Schritt **Results-Environmental** können mit der aktuellen Voreinstellung Umweltbelastungswerte, wie Ergebnisse zum FID (Flammenionisationsdetektor)- und PID (Photoionisationsdetektor)-Versuch, eingetragen werden. Hier wäre zu prüfen, ob stattdessen ebenfalls umweltgeotechnische Laborergebnisse, wie z. B. Zuordnungsklassen nach LAGA, eingepflegt werden können.

Für die spätere Modellierung eines BIM-Baugrundmodells ist der achte Schritt **Geology** von großer Bedeutung. Hier können die geologischen Daten aus der Bohrkernaufnahme mithilfe von Schichtgrenzen sowie der Lithologie hinterlegt werden. Mit dem Legend Code ist es möglich, die Zeichen für Bodenarten nach DIN EN ISO 14688-1 bzw. DIN 4023 und DIN 21920 abzubilden.

Mit diesen hinterlegten Legend Codes können später in HoleBase SI automatisch erstellte Schichtenverzeichnisse verwendet werden. Des Weiteren kann bei der späteren Erstellung der Bohrprofile in einem BIM-fähigen CAD-Programm, wie AutoDesk Civil 3D, zwischen der Darstellung mit Legend Codes oder Geology Codes gewählt werden.

Geology Codes spielen eine entscheidende Rolle bei der späteren Modellierung des Baugrunds. Diese, wie auch die Legend Codes, können in HoleBase SI individuell angelegt und editiert werden. Die Festlegung der Geology Codes muss zwingend von einem erfahrenen Geologen oder Geotechniker vorgenommen werden, der die Bodenansprache fachgerecht in idealisierten Bodenschichten zusammenfassen kann.

Neben der beschriebenen händischen Eingabe der Daten besteht in HoleBase SI auch die Möglichkeit des Imports von Aufschlussdaten. HoleBase SI bietet die Möglichkeit des Imports folgender Dateiformate:

- AGS-Dateien
- Key Logbook
- gINT
- pLog Tablet
- Geodasy
- CSV (für englisch comma-separated values)

Der Import, der am ehesten dem Open-BIM-Standard entspricht, ist derjenige mithilfe von CSV-Dateien.

Die in HoleBase SI eingegebenen oder mithilfe von CSV-Dateien importierten Datensätze können exportiert werden. Alternativ ist es möglich, AGS-Formate in den Dateiversionen 3.1, 4 und 4 NZ zu exportieren. Die so exportierten Daten können für die weitere Bearbeitung mit der BIM-Methode verwendet werden. Ein spezielles Tool von HoleBase SI ist die Erweiterung HoleBase CONNECT Civil 3D Extension zur Integration von HoleBase SI in AutoDesk Civil 3D, weshalb es sich

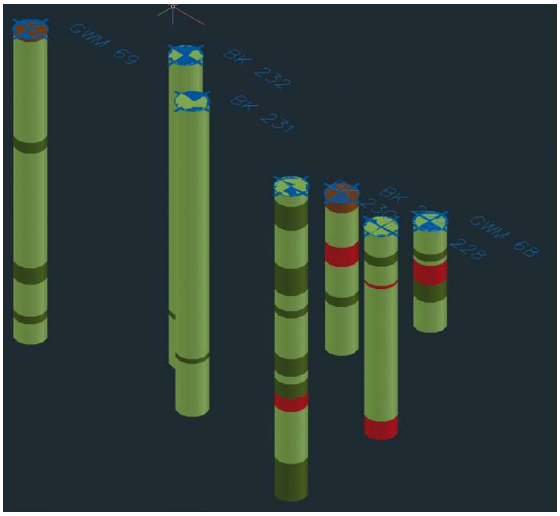


Bild 3: Civil 3D – Auszug der 3D-Ansicht der importierten Bohrprofile

anbietet, das Baugrundmodell mit diesem Programm zu entwickeln, da hier eine verlustfreie Weitergabe der Daten möglich ist.

Neben der Ausgabe der Bohrdaten als CSV-Dateien bietet HoleBase SI die Möglichkeit, DIN-konforme Protokolle unter dem Mantel einer voreingestellten Dokumentenvorlage auszugeben. So können sehr schnell und einfach die in HoleBase SI hinterlegten Daten z. B. als Schichtenverzeichnisse ausgegeben werden, die mit den voreingestellten Dokumentenvorlagen (Templates) allerdings britischen Normen bzw. Standards entsprechen. Eine Fortschreibung der Dokumentenvorlagen für europäisches Regelwerk und die jeweiligen nationalen Anhänge ist sinnvoll und wünschenswert.

6.2 Baugrundmodell AutoDesk Civil 3D

Das Baugrundmodell wurde mit dem BIM-fähigen CAD-Programm Civil 3D erstellt. Dieses ist speziell für Linienbauwerke geeignet und beinhaltet viele nützliche Tools für den Gleis- und Straßenbau sowie Funktionen zur Integration verschiedener geodätischer Informationen. Mit dem HoleBase CONNECT Civil 3D Tool wurden die in der Bohrdatenbank gespeicherten Informationen in die CAD-Software übertragen. Dazu wird über das Tool eine direkte Verbindung zur SQL-Datenbank erzeugt, aus der die digitalen Daten der Bohrdatenbank ausgelesen werden konnten.

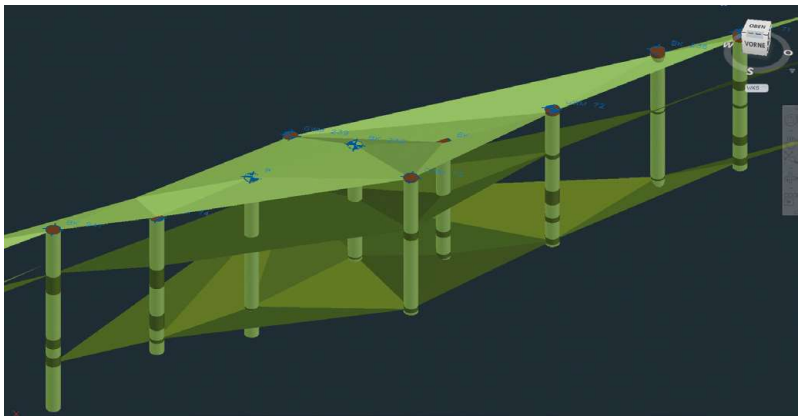


Bild 4: Civil 3D – Ausschnitt der automatisch erzeugten Schichtgrenzen

Das Hauptaugenmerk bei der Verbindung und Übernahme der digitalen Daten aus der SQL-Datenbank liegt auf den Parametern mit allen enthaltenen geometrischen Eigenschaften sowie den Attribut-Informationen zu den lithologischen bzw. petrografischen Eigenschaften. Im Augenblick der Verbindung mit der SQL-Datenbank wird das gewünschte Projekt, welches vorher in HoleBase SI Standard angelegt wurde, ausgewählt, und die digitalen Daten der Bohrdatenbank werden automatisch in die CAD-Zeichnung eingefügt.

Die Erkundungsergebnisse und die in HoleBase SI hinterlegte Bodenschichtung können in der 3D-Ansicht betrachtet werden (**Bild 3**). Die Standardeinstellung sieht eine Darstellung der Bodenschichtung anhand der vorher in HoleBase SI definierten Geology Codes vor. Wahlweise kann unter der Einstellung Locations die Darstellung nach Legend Codes, BGS Lexicon, Boundary oder Geology Code 2 vorgenommen werden. Die Nutzung von Geology Code 2 gewinnt vor allem bei der Notwendigkeit einer zweiten Interpretation einen großen Vorteil. So können in HoleBase SI weitere Geology Codes festgelegt werden und die Zusammenfassung ähnlicher Schichten unterschiedlich und mehrfach interpretiert werden.

Die Bohrprofile werden automatisch als Blöcke eingefügt. Die Bohransatzpunkte sind im 3D-CAD-Raum durch die in HoleBase SI definierten Koordinaten-Parameter (Easting, Northing) sowie durch das Ground Level bestimmt. Die richtige Farbdarstellung der Geology Codes muss über die Layer in Civil 3D eingestellt werden. HoleBase SI erzeugt automatisch Layer für jede Schicht und weitere Zeichenelemente. Die durch HoleBase SI erstellten Layer sind durch das Kürzel KNX, welches vor jedem Layer-Namen steht, zu identifizieren.

Insbesondere für die weitere Bearbeitung ist darauf zu achten, dass die Bohrprofile automatisch mit einer 5-fachen Überhöhung dargestellt werden. Dies ist vor allem dann zu berücksichtigten, sollten weitere, nicht von HoleBase SI erstellte Elemente, z. B. ein digitales Geländemodell (DGM), in die 3D-Zeichnung geladen werden.

Über den HoleBase SI Location Manager in Civil 3D können die angezeigten und zu berücksichtigenden Bohrprofile ausgewählt werden. Auf diese Art und Weise können z. B. Teilfachmodelle für einen Planungsabschnitt erstellt werden oder nicht aussagekräftige Bohrungen oder Archivbohrungen aus der Modellierung ausgeschlossen werden.

Entsprechend den in HoleBase SI festgelegten Geology Codes besteht die Möglichkeit, mit dem HoleBase CONNECT Civil 3D Tool die Schichtgrenzen zunächst automatisch zu generieren (**Bild 4**). Wie im **Bild 4** zu erkennen ist, erzeugt das HoleBase CONNECT Civil 3D Tool Schichtgrenzen mittels linearer

Interpolation im 3D-Raum zwischen den vorhandenen Bohrprofilen. Die Schichtgrenzen sowie eventuelle Linsen sind nachzubearbeiten und fachgerecht zu interpretieren.

Als zusätzliche Schichtgrenze der obersten Bodenschicht wird im Modell das digitale Geländemodell (DGM) eingefügt. Die automatisch erzeugte obere Schichtgrenze entspricht nicht der tatsächlichen Geländeoberfläche. Für spätere direkte Volumenberechnungen aus dem 3D-Modell spielt dies eine entscheidende Rolle, da die Genauigkeit der Volumenberechnungen dadurch erhöht werden kann. Im **Bild 5** ist das automatisch erzeugte Schichtenmodell mit dem DGM als oberste Schichtgrenze zu erkennen. Das digitale Geländemodell und die Bohrpunkte werden mit einer 5-fachen Überhöhung dargestellt. Dies erleichtert das visuelle Verständnis der Baugrundsituation sehr stark und ermöglicht eine präzise Interpretation.

Die Anpassung und Interpretation des 3D-Baugrundmodells erfolgt über die Erstellung von Schnitten der Interpretation- und Profile-Tools. Hier können an beliebiger Stelle im 3D-Raum Schnitte gesetzt werden und neben dem eigentlichen 3D-Modell als 2D-Schnitt (**Bild 6**) angelegt werden. Die Schnitte stehen in Relation zum 3D-Modell und jegliche Veränderung im 3D-Modell wirkt sich direkt auf den 2D-Schnitt aus und umgekehrt. Nach der Anpassung der Schichtgrenzen in Civil 3D ergibt sich ein annäherndes 3D-Modell des Baugrunds (**Bild 7**).

Gleichzeitig mit der bereits verbesserten Darstellung des 3D-Schichtenmodells stößt man mit den verwendeten Programmen aber auch an die Grenzen des technisch Möglichen. Es fällt auf, dass die Schichtgrenzen nicht alle vollständig erkannt und vom HoleBase CONNECT Civil 3D Tool verarbeitet werden können. Eine freihändige Bearbeitung der Schichtgrenzen ist nur begrenzt möglich. Dies ist unter anderem der Tatsache geschuldet, dass die Aufschlüsse für das zugrunde liegende Projekt nicht für ein BIM-Projekt geplant waren. Die Anzahl der Aufschlüsse reicht dementsprechend nicht aus, um ein aussagekräftiges 3D-Baugrundmodell zu modellieren, was im **Bild 8** deutlich wird.

7 Fazit

Wie zuvor aufgezeigt, ist es möglich, mit der Software HoleBase SI Standard die Ergebnisse einer Bohrkampagne in einer zentralisierten Datenbank zu speichern und zu verwalten. Die Idee hinter dem Programm folgt durchgängig der BIM-Methode und ermöglicht es, digitale Daten auch nach dem Open-BIM-Prinzip zu importieren und zu exportieren. Die offene Datenaustausch-Schnittstelle beschränkt sich hierbei auf das CSV-Format (CSV für englisch comma-separated values). Dies hat den Vorteil, dass die Daten softwareunabhängig eingesehen und bearbeitet werden können, birgt jedoch auch den Nachteil, dass die Daten nur in einem durch das Programm vorgeschriebenen Format ein- und ausgelesen werden können.

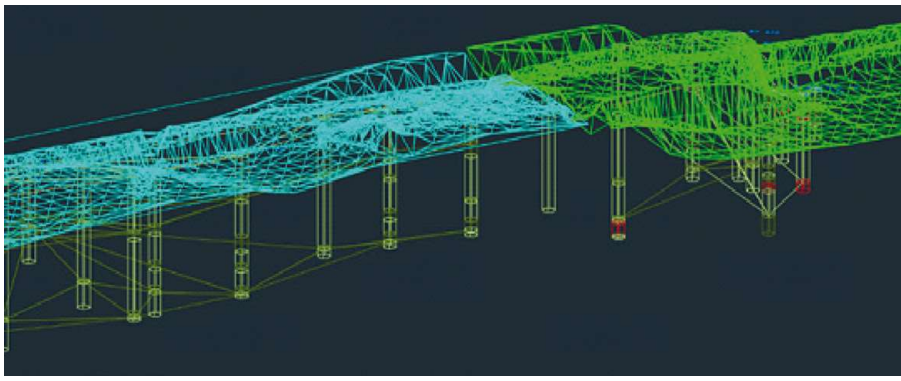


Bild 5: Civil 3D – Auszug der 3D-Ansicht der importierten Bohrprofile

Ein weiterer Diskussionspunkt ist die Kontrolle der Eingabedaten. Schichtenverzeichnisse werden vor Ort im Bohrkernlager oder in situ aufgenommen und handschriftlich erstellt. Es handelt sich nicht um maschinell erzeugte digitale Daten, wie z. B. von Vermessungsinstrumenten, die direkt mit dem Computer eingelesen werden können. Dies birgt eine gewisse Fehleranfälligkeit, da jeder Datensatz zu jedem Aufschluss

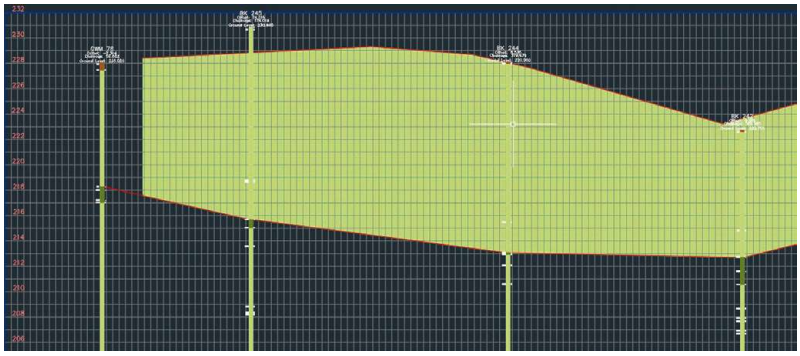


Bild 6: Civil 3D – 2D-Schnitt mit HoleBase CONNECT Civil 3D Tool

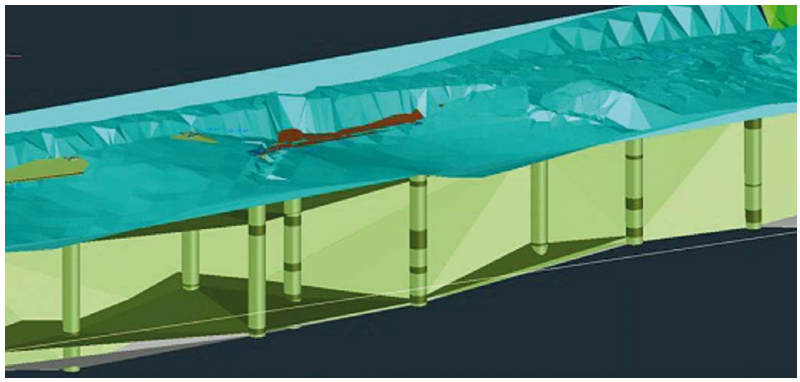


Bild 7: Civil 3D – 3D-Modell mit teilweise angepassten Schichtgrenzen

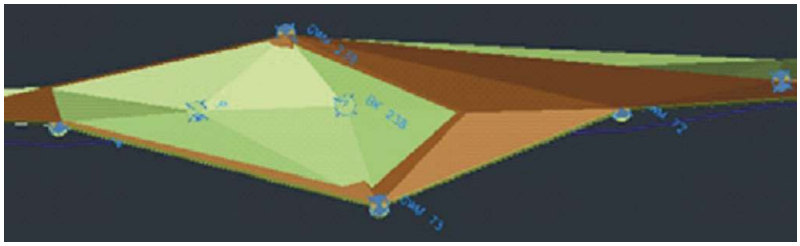


Bild 8: Civil 3D – Draufsicht 3D-Baugrundmodell

nach der Bohrkernaufnahme noch einmal händisch digitalisiert werden muss. Erfolgt dies nicht umgehend in einer BIM-fähigen Bohrdatenbank, wie HoleBase SI, sondern in einem in der Branche üblichen Schichtverzeichnis-Programm, wie iDat WinBohr oder WinSchi, müssen die Daten noch einmal händisch in die BIM-fähige Bohrdatenbank übertragen werden. Dies erhöht die Fehleranfälligkeit und widerspricht eigentlich dem BIM-Prinzip. Andererseits ist es in der Aufarbeitung der Daten aus der Baugrunderkundung üblich, dass die geotechnischen Ansprachen des Bohrguts vor Ort auf der Grundlage der weiteren direkten (Labor- und Feldversuche) und indirekten (z. B. geophysikalischen Ergebnisse) im Rahmen der Erstellung eines Geotechnischen/Tunnelbautechnischen Gutachtens nochmals bewertet werden müssen. Spätestens an dieser Stelle beginnt die BIM-konforme Aufbereitung der Daten.

Das Ziel bei der Erstellung einer, dem BIM-Gedanken folgenden Bohrdatenbank muss es sein, die Daten so schnittstellenneutral wie möglich zu speichern und zu verwalten. Dabei zeigt sich durch die oben genannten Erfahrungen, dass die Fehleranfälligkeit gesenkt werden kann, wenn die Daten so wenig wie möglich händisch bearbeitet werden müssen.

Um zentralisierte Bohrdatenbanken nach der BIM-Methode pflegen zu können, ist es außerdem notwendig, dass die durch den Geologen/Geotechniker ermittelten tunnelbautechnischen Kennwerte direkt in der digitalen Bohrdatenbank hinterlegt werden können. Diese müssen als Attribut in Relation zu den definierten idealisierten Bodenschichten bzw. Homogenbereichen definiert werden können. Betrachtet man den weiteren Projektverlauf im BIM-Prozess, können die zu den Parametern der Lithologie und Schichtgrenzen in Relation stehenden geotechnischen/tunnelbautechnischen Attribute bei der Modellierung und bei der Verwendung des BIM-Baugrundmodells als Berechnungsgrundlage für das konstruktiv/statische BIM-Tunnelmodell verwendet werden. Dies ist zum heutigen Zeitpunkt technisch noch nicht umsetzbar. Die betreffenden tunnelbautechnischen Attribute müssen händisch im BIM-Baugrundmodell hinterlegt werden bzw. vom Tragwerksplaner des Tunnels händisch aus dem Baugrundgutachten in das konstruktive Berechnungsprogramm übernommen werden.

Die Möglichkeiten zur Interpretation der Bodenschichtung im HoleBase CONNECT Civil 3D Tool sind grundlegend gut durchdacht, beschränken den Anwender aber auch bei verhältnismäßig kleiner Aufschlussdichte und geringer Komplexität der Bodenverhältnisse wie im behandelten Fall. Hier bleibt zu betrachten, ob der Ansatz nach [3] eine Methode darstellt, infolge derer die Anordnung der geplanten Bohransatzpunkte zu einem aussagekräftigen BIM-Baugrundmodell führen kann.

Die Möglichkeit, mit den Civil 3D Standardwerkzeugen Linien, Flächen und Volumenkörper zu erstellen, besteht natürlich weiterhin. So würde sich auch aus linienförmig angeordneten Aufschlüssen ein BIM-Baugrundmodell extrapolieren lassen. Dies entspricht dann aber nicht mehr dem BIM-Gedanken der offenen und neutralen Datendurchgängigkeit, da die so erzeugten Zeichenelemente nicht mehr in direkter Verknüpfung zu den in der Bohrdatenbank hinterlegten digitalen Daten stehen. Alternativ besteht die Möglichkeit, auf Archivbohrungen zurückzugreifen. Diese lassen sich bei einer gut gepflegten Datengrundlage in den BIM-Prozess integrieren. Die Daten der Archivbohrungen können in der Bohrdatenbank digitalisiert werden und über das HoleBase Civil 3D Tool mit dem BIM-Baugrundmodell verknüpft werden. Da aber nicht immer Archivbohrungen vorliegen bzw. oft erst in großer Entfernung zu finden sind, ist dies auch keine verlässliche Herangehensweise, um die Modellränder eines BIM-Baugrundmodells zu erschließen. Weiterhin wäre es für die Zukunft wünschenswert, dass die Archivbohrungen in offenen und neutralen Datenaustauschformaten bei den Landesämtern vorliegen, um diese für weitere Projekte nutzen zu können.

Abschließend lässt sich zusammenfassend feststellen, dass mit den Programmen HoleBase SI, Civil 3D und dem HoleBase CONNECT Civil 3D Tool unter den genannten Einschränkungen bereits ein BIM Baugrundmodell umsetzbar ist. Zu beachten ist aber, dass die Einführung der BIM-Methode in einem Unternehmen mit einem großen Zeit- und Kostenaufwand für Mitarbeiterschulungen und Lernprozesse sowie für die Programme selbst verbunden. Allein die Konfiguration von HoleBase SI mit allen Anpassungen auf die Bedürfnisse des jeweiligen Unternehmens und auf die deutschen Normen und Standards bedarf einer nicht zu unterschätzenden Einarbeitungszeit. Hier sollte das Kosten-Nutzen-Verhältnis berücksichtigt werden. Ebenso sind umfangreiche Kenntnisse und Erfahrungen im Umgang mit der CAD-BIM-Software AutoDesk Civil 3D erforderlich. Auf lange Sicht wird sich die BIM-Methode aber durchsetzen, was für deutsche Verkehrsinfrastrukturprojekte nicht zuletzt durch den Stufenplan des BMVI gefordert wird. Es ist aktuell allerdings noch viel Pionierarbeit erforderlich, die sich aber über die Jahre amortisieren und die Qualität, Offenheit und Durchsichtigkeit der Planung, der Ausführung und des Betriebs von Infrastrukturmaßnahmen verbessern wird.

8 Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Firma Bentley Systems für die zur Verfügungstellung der Software HoleBase SI Standard.

9 Quellenverzeichnis

[1] Henke, S.; Ebers-Ernst, J.; Rust, M.; Schäferhoff, G.: Das BIM-Baugrundmodell im Kontext des BIM-Gesamtmodells - Testmodellerstellung unter Einbeziehung zahlreicher Fachgewerke. Kolloquium Digitalisierung in der Geotechnik, Bundesanstalt für Wasserbau, 23. Januar 2020, S. 23–29.

[2] Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB) / Arbeitskreis „BIM im Untertagebau“: Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten, BIM im Untertagebau. Stand Mai 2019.
[3] Prinz, I.: Digitale Baugrundmodelle: BIM in der Geotechnik. EI - Der Eisenbahningenieur, Heft 05-2019, S. 22–27.
[4] Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB) / Arbeitskreis „BIM im Untertagebau“: Modellanforderungen – Teil 1 Objektdefinition, Codierung und Merkmale, Ergänzung zur DAUB-Empfehlung BIM im Untertagebau (2019), Stand November 2020.
[5] Lu, C.: Entwicklung parametrisierter Bauteile zur Anwendung in BIM-Modellen im Bereich des Tunnelbaus. Masterarbeit, Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt, 2021, unveröffentlicht.
[6] Egger, M.; Hausknecht, K.; Liebich, T.; Przybylo, J.: BIM-Leitfaden für Deutschland. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 2013.
[7] Borrmann, A., et al.: BIM4INFRA2020 Teil 8, Neutraler Datenaustausch im Überblick. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), April 2019.
[8] planen-bauen 4.0 - Gesellschaft zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betreibens mbH: Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Dezember 2015.
[9] buildingSMART international: IFC Specifications Database. buildingSMART international, Juni 2020.
[10] König, M., et al.: Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zur Anwendung von Building Information Modeling im Infrastrukturbau, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI).
[11] Oettinghaus, S.: BIM Collaboration - Digitale und interdisziplinäre Zusammenarbeit in openBIM Projekten. 43. Dresdner Wasserbaukolloquium 2020.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt



vertritt im Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwesen an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt die Forschungs- und Lehrgebiete Geotechnik, Tunnelbau, CAD und Umweltgeotechnik.
Kontakt:
juergen.schmitt@h-da.de

Claudio Cortese, M.Eng.



ist als Projektingenieur für die Prof. Quick und Kollegen - Ingenieure und Geologen GmbH tätig.

Kontakt:
claudio.cortese@quick-ig.de

Dr. rer. nat. Joachim Michael



ist seit 2014 Gesellschafter und Geschäftsführer der Prof. Quick und Kollegen - Ingenieure und Geologen GmbH. Er lehrt an der Technischen Hochschule Mittelhessen das Fach Tunnelbau und Rohrvortriebsverfahren. Dr. Michael hat an der Phillips-Universität Marburg mit dem Schwerpunkt Felsbruchmechanik und Tunnelbau promoviert und ist Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Grundbau, Geotechnik im Tunnelbau (IHK Darmstadt).
Kontakt:
joachim.michael@quick-ig.de

Dr.-Ing. Simon Meißner



ist Gesellschafter und Geschäftsführer der Prof. Quick und Kollegen - Ingenieure und Geologen GmbH. Er lehrt an den Technischen Universitäten Kaiserslautern und Darmstadt, ist Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger Erdbau, Grundbau, Felsbau (IHK Darmstadt), Prüfsachverständiger für Erd- und Grundbau und Mitglied im Arbeitskreis 1.6 Numerik in der Geotechnik der DGGT.

Kontakt:
simon.meissner@quick-ig.de