

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Author's Postprint

**Bauer, Jörg**

## **Digitalisierung in der Geotechnik – Status Quo und aktuelle Entwicklungen**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/110447>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bauer, Jörg (2022): Digitalisierung in der Geotechnik – Status Quo und aktuelle Entwicklungen. In: Moormann; Christian; Vogt-Breyer, Carola (Hg.): 13. Kolloquium Bauen in Boden und Fels : Fachtagung über aktuelle Herausforderungen der Geotechnik. Tagungshandbuch 2022. Tübingen: Expert-Verlag. S. 25-39.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



**Erstveröffentlichung in Moormann; Christian; Vogt-Breyer, Carola (Hg.) (2022):  
13. Kolloquium Bauen in Boden und Fels: Fachtagung über aktuelle Herausforderungen  
der Geotechnik. Tagungshandbuch 2022. Tübingen, Expert Verlag GmbH, S. 25-39.**

## **Digitalisierung in der Geotechnik – Status Quo und aktuelle Entwicklungen**

Jörg Bauer<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Deutschland

### **Zusammenfassung:**

Mit der verpflichtenden Anwendung der Methode des Building Information Modeling (BIM) ab spätestens 2025 für Infrastrukturprojekte von öffentlichen Auftraggebern im Verantwortungsbereich des BMVI stellen sich vielfältige Herausforderungen an die Geotechnik. Die bisher überwiegend analog ablaufenden Prozesse wie die Erstellung von geotechnischen Schnitten, die Angabe von geotechnischen Eigenschaften und Kennwerten sowie die Interaktion zwischen Projektbeteiligten sind dazu in digitale Prozesse zu überführen. Voraussetzung hierfür ist die Erstellung eines Fachmodells Baugrund, welches zusammen mit dem Geotechnischen Bericht abzugeben ist und mit anderen Fachmodellen wie bspw. der Bauwerke in Interaktion tritt. Diese neue Arbeitsweise erfordert die Erarbeitung einheitlicher Definitionen, Vorgehensweisen und Zuständigkeiten, ohne eine wesentliche Veränderung der bisherigen rechtlichen Randbedingungen herbeizuführen. Der vorliegende Beitrag beschreibt den aktuellen Stand der Erfahrungen mit dem Fachmodell Baugrund sowie aktuelle Aktivitäten zu Empfehlungen und Standardisierungen für die Anwendung von BIM in der Geotechnik.

### **1 Einleitung**

Gemäß dem *Stufenplan Digitales Planen und Bauen* [1], eingeführt im Jahr 2015 durch das *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)*, müssen zukünftig alle neuen Infrastrukturprojekte von öffentlichen Auftraggebern im Verantwortungsbereich des *BMVI* mit der BIM-Methode durchgeführt werden. Der zunächst in [1] anvisierte verpflichtende Zeitpunkt für die flächendeckende Anwendung von BIM als Regelprozess Anfang 2021 wurde zwischenzeitlich auf spätestens 2025 festgesetzt. Die Zeit bis 2025 soll zum weiteren Aufbau der für BIM erforderlichen Kompetenzen und Kapazitäten sowie zur Implementierung der Methode dienen [2], [3]. Unter BIM wird im Allgemeinen eine Arbeitsmethode verstanden, bei der in einem Gesamtmodell eines Bauwerks oder Infrastrukturprojekts alle relevanten Informationen erfasst, verwaltet und zwischen den Projektbeteiligten ausgetauscht werden. Das Gesamtmodell ergibt sich dabei aus der Gesamtheit aller einzelnen, gewerkspezifischen Fachmodelle, die je nach Zuständigkeit von den Projektbeteiligten erstellt werden. So liefert bspw. der Vermesser sein Fachmodell mit dem Digitalen Geländemodell (DGM), der Geotechniker das Fachmodell Baugrund und der Planer ein Fachmodell mit seinen Planungsinhalten. Die Interaktion dieser einzelnen Fachmodelle findet im Gesamtmodell statt.

Anzuwenden ist BIM für den gesamten Lebenszyklus eines Bauprojekts. Dies umfasst die Planung und Ausführung genauso wie den Betrieb von Bauwerken. Derzeit liegt der Fokus der ersten Anwendungsversuche von BIM nahezu ausschließlich beim Planungs- und Herstellungsprozess von Bauprojekten [4]. Darüber hinaus wird auch für den Betrieb von Anlagen die Anwendung von BIM einen erheblichen Mehrwert aufweisen, bspw. bei der strukturierten Speicherung und Zurverfügungstellung von Informationen von Inspektionsergebnissen und Sanierungsmaßnahmen. Dabei unterscheiden sich jedoch teilweise die Anforderungen an die Betriebsphase gegenüber jenen der Planungs- und Herstellungsphase. Die Herausarbeitung dieser Anforderungen müssen zukünftig auch für das Fachmodell Baugrund noch verstärkt angegangen werden. Mit der Implementierung von BIM ergeben sich für alle Projektbeteiligten, auf Auftraggeber- wie Auftragnehmerseite, viele Fragestellungen, die oftmals anhand von Erfahrungen mit konkreten Bauprojekten herausgearbeitet werden können. Dazu wurden unmittelbar nach Veröffentlichung des *Stufenplan Digitales Planen und Bauen* [1] Pilotprojekte im Verkehrswasserbau, Eisenbahnbau und Straßenbau ausgewählt – zumeist Bauprojekte, die unabhängig von BIM bereits große technische Herausforderungen darstellen. Die anfänglich überschaubare Anzahl an BIM-Projekten hat sich durch die Erprobung der Methode an vielen kleineren Bauprojekten zwischenzeitlich potenziert. Mit dem Ziel, die Aktivitäten, Erkenntnisse und Erfahrungen zum Einsatz von BIM zusammenzuführen, wurde 2020 vom *BMVI* und *BMI* die Arbeitsgruppe *BIM Deutschland* gegründet, die neben der Informationsbündelung u. a. auch Standardisierungen vorantreiben soll.

## 2 Das Fachmodell Baugrund

### 2.1 Allgemeines

Die folgenden Beschreibungen in diesem Abschnitt sind den ersten drei Empfehlungen des Arbeitskreises *Digitalisierung in der Geotechnik der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT)*, [5], [6] und [7], entnommen, in dem der Autor Mitglied ist. Diese Empfehlungen formulieren Zielvorstellungen von BIM in der Geotechnik und spiegeln nur zum Teil die derzeit gelebte Praxis wider (Abschnitt 3). Viele Voraussetzungen zur konsequenten Umsetzung von BIM in der Geotechnik müssen zunächst noch geschaffen werden (Abschnitt 4), wofür die genannten Empfehlungen einen Weg aufzeigen sollen.

### 2.2 Einordnung und Definitionen

Das Fachmodell Baugrund basiert auf dem Geotechnischen Bericht und enthält definitionsgemäß sämtliche Informationen, die den Baugrund beschreiben. Dies sind zum einen *geometrische Informationen*, wie bspw. die Mächtigkeiten der Baugrundsichten, und zum anderen *semantische beschreibende, nicht geometrische Informationen*, wie bspw. die Bodenarten und geotechnische Kenngrößen. Zusammen mit anderen gewerkspezifischen Fachmodellen erfolgt eine Vernetzung des Fachmodells Baugrund im gewerkübergreifenden Gesamtmodell (Abb. 1).

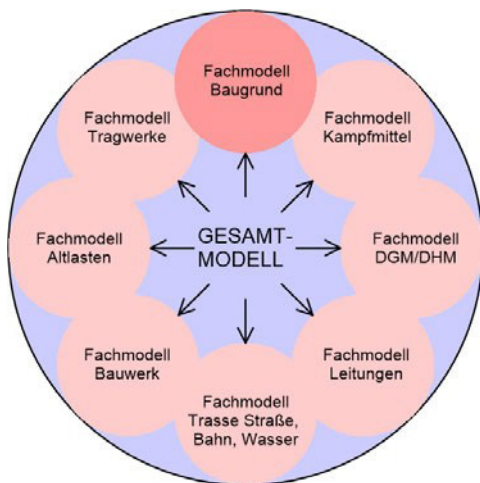


Abbildung 1: Einbettung des Fachmodells Baugrund im Gesamtmodell aus [5]

Mit Fertigstellung des geotechnischen Berichts sollte sich das Fachmodell Baugrund mindestens aus den folgenden *Sub-Fachmodellen* zusammensetzen:

- Sub-Fachmodell der Aufschlüsse,
- Sub-Fachmodell der Baugrundschichten,
- Sub-Fachmodell der Homogenbereichsschichten (nach VOB, Teil C),
- Sub-Fachmodell der Grundwasserschichten und -körper.

Der Begriff *Sub-Fachmodell* wird dabei in Abgrenzung zum Begriff *Teilmodell* für einen datentechnischen Ausschnitt verwendet. Im Gegensatz dazu beschreibt das Teilmodell einen geometrischen Ausschnitt, bspw. einen Bauabschnitt, der mit der gesamten Datenbank des Projekts verknüpft ist.

Darüber hinaus kann das Fachmodell Baugrund eine Vielzahl weiterer Sub-Fachmodelle und Fachdaten aufweisen wie bspw. geophysikalische Daten, Altlasten, Kampfmittel, Informationen aus anderen Projekten oder Informationen aus der Bauausführung. Weiterführende Erläuterungen zu den Fachdaten des Fachmodells Baugrund enthält [5].

Abb. 2 zeigt die geometrischen Informationen in einem Fachmodell Baugrund mit dem DGM und einem Bauwerk sowie den Sub-Fachmodellen der Aufschlüsse und der Baugrundschichten.

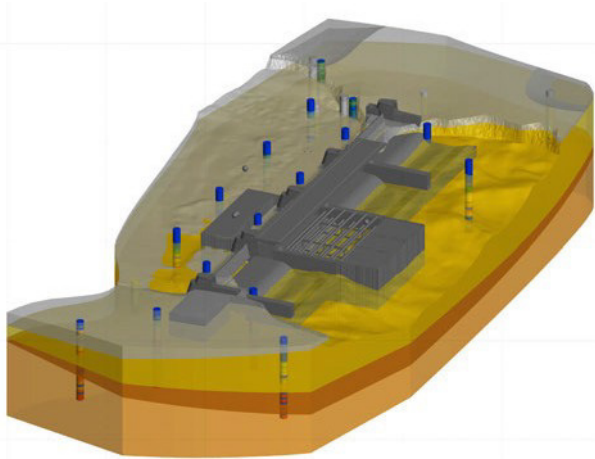


Abbildung 2: Fachmodell Baugrund mit DGM und Bauwerk sowie den Sub-Fachmodellen der Aufschlüsse und der Baugrundsichten (Screenshot aus *Leapfrog Works*) aus [8]

Datentechnisch besteht das Fachmodell Baugrund im Wesentlichen aus *Fachobjekten und Eigenschaften*.

Eigenschaften, auch als *Merkmale* bezeichnet, sind die semantischen Informationen im Fachmodell wie bspw. die Ergebnisse der Bodenansprache der Bohrungen, Schichtinformationen und die Eigenschaften und Kennwerte gemäß VOB/C. Eigenschaften werden oftmals nach thematischer Zusammengehörigkeit gruppiert [5].

Fachobjekte bilden thematisch einen fachplanungsspezifischen Aspekt ab, z. B. alle Eigenschaften des Aufschlusses 1, des Aufschlusses 2 etc. Fachobjekte bestehen neben den Eigenschaften, also beschreibenden Informationen, auch aus geometrischen Informationen. So bildet ein Aufschluss, eine Baugrundsicht, eine Homogenbereichsschicht oder eine Grundwasserschicht jeweils ein Fachobjekt.

### 2.3 Hinweise zur datentechnischen Struktur des Fachmodells Baugrund

Alle Informationen im Fachmodell Baugrund bedürfen einer strukturierten Speicherung in Form von *Datenbanken*. Grundlage für eine Datenbank ist ein *Datenmodell* mit einer standardisierten datentechnischen Struktur, die die Beziehungen zwischen den zu speichernden Daten abbilden kann. Eine Speicherung der Daten als Freitext ist nicht zielführend, da Freitexte für eine weiterführende Anwendung mit Algorithmen nur schwer interpretiert werden können.

Soll bspw. eine automatisierte Massenermittlung mit dem Fachmodell Baugrund erfolgen, ist neben dem zu bewegenden Volumen aus dem geometrischen Modell die Dichte des Baugrunds erforderlich. Diese Dichte muss dem Fachmodell Baugrund in Form einer Eigenschaft (bspw. Feuchtdichte  $\rho = 1,9 \text{ g/cm}^3$ ) zugeführt werden. Dazu sind u. a. der Begriff "Feuchtdichte", das Symbol " $\rho$ ", die Einheit " $\text{g/cm}^3$ " sowie der Typ der Angabe, hier ein Einzelwert oder ein Wertepaar (Minimal- und Maximalwert, ggf. noch getrennt für vor und nach dem Lösen), zu standardisieren. Eine Angabe dieser Informationen frei nach der Entscheidung eines einzelnen Projektbearbeiters mit Freitext ist nicht zielführend. Dem Projektbearbeiter obliegt lediglich die Aufgabe festzustellen, ob der Wert der

Feuchtdichte für den spezifische Baugrundsicht sinnvoll ist, um ihn in dem Fall mittels einer Untersuchung festzustellen und im Modell anzugeben.

Diesen Vorgang der Angabe von Eigenschaften bezeichnet man als *Attribuierung*.

Aufgrund der sehr großen Komplexität von geotechnischen Informationen sind auch ebenso komplexe Datenmodelle erforderlich. Einige geotechnische Besonderheiten im Vergleich zu anderen Gewerken sind bspw.:

- Der “Baustoff” Baugrund tritt in unendlicher Variationsvielfalt auf und bedarf einer Beschreibung auf Grundlage einer Vielzahl von Vorschriften (Normen, Regelwerke, Empfehlungen etc.). Die Möglichkeiten der Variation von Eigenschaften und Kennwerten zur Beschreibung von Baugrund sind ebenfalls nahezu unendlich.
- Oftmals erfolgt die Beschreibung in Kombination mehrerer Vorschriften, die zudem auch unterschiedlichen Normengenerationen angehören können. So bspw. bei der Beschreibung von Homogenbereichen: Die Norm der VOB/C verweist hierfür auf spezifische Vorschriften zur Beschreibung des Baugrundes. Jedoch kann die Baugrunduntersuchung schon längere Zeit zurückliegen. Während die angewendete Ausgabe der VOB/C aktuell ist, wurde die bereits angewendete spezifische Vorschrift ggf. schon durch eine neuere Ausgabe der Vorschrift ersetzt.
- Je nach Verwendungszweck der Information sind für den gleichen Baugrund unterschiedliche Werte erforderlich. Bspw. ist die undränierete Kohäsion auf der sicheren Seite liegend für eine Standsicherheitsberechnung in einer andere Größe (und Bandbreite) maßgebend, als für den Homogenbereich Bohrarbeiten.
- Kennwerte für die Baugrund-Bauwerk-Interaktion wie die Angabe eines Steifemoduls haben nur für eine bestimmte Kombination von Geometrien Gültigkeit, nämlich einer bestimmten Bauwerkabmessung in einem bestimmten Bereich einer bestimmten Baugrundsicht.

Datenmodelle, die in der Geotechnik Anwendung finden können, müssen diesen und weiteren Besonderheiten Rechnung tragen. Ein Vorschlag, wie ein praktikables Datenmodell in der Geotechnik aufgebaut sein könnte, findet sich in [5].

## 2.4 Entwicklungsstufen

Wie alle Fachmodelle wird das Fachmodell Baugrund über den gesamten Lebenszyklus des Projekts fortgeschrieben. So existieren im Lebenszyklus des Fachmodells mehrere Entwicklungsstufen, die jeweils Vertragsbestandteil bei der Vergabe einer nächsten Planungsphase bis hin zur Ausführung und dem Betrieb sind. Innerhalb der jeweiligen Planungsphase wird das Fachmodell Baugrund durch Integration von neu generierten Fachdaten weiterentwickelt. In [6] sind folgende Entwicklungsstufen definiert:

- Fachmodell in der *Stufe Vorplanung*:

- Es enthält nur rudimentäre Informationen zu Baugrundsichten, z. B. für eine Variantenuntersuchung für Trassierungen oder zur Planung der geotechnischen Aufschlusskampagne.
- Fachmodell in der *Stufe Entwurfsplanung und Genehmigungsplanung*:
- Diese enthalten alle notwendigen Informationen aus dem Geotechnischen Bericht und ggf. dem Geotechnischen Entwurfsbericht.
- Fachmodell in der *Stufe Ausführungsplanung und Werksplanung*:
- Diese enthalten Informationen aus der Fortschreibung des Geotechnischen Entwurfsberichts infolge der fortgeschrittenen Planung, z. B. aus zusätzlichen Baugrunduntersuchungen und Probeversuchen. Das finale Ergebnis ist ein Modell, das der Bauausführung übergeben wird.
- Fachmodell in der *Stufe Fertigstellung*:

Es enthält ergänzende, bei der Ausführung gewonnene Informationen, z. B. Anpassungen von Schichtverläufen nach Eingriffen in den Baugrund, u. a. infolge eines Informationsgewinns durch Baumaschinen (Herstelldaten), und Informationen aus der Bauüberwachung. Das finale Ergebnis ist das As-Built Modell, das dem Betrieb übergeben wird

- Fachmodell in der *Stufe Betrieb*:
- Es enthält Ergänzungen der Baugrundverhältnisse, die zum Zeitpunkt des Modells in der Stufe Fertigstellung nicht bekannt waren, z. B. Änderung der Grundwasserverhältnisse.

Die Reihenfolge der Aufzählung der Entwicklungsstufen stellt einen Regelfall mit einer linearen Entwicklung des Fachmodells Baugrund dar, kann aber je nach Eigenheiten des spezifischen Projekts oder der Vertragsgestaltung zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber von dieser Abfolge abweichen.

Die Beschreibung der Entwicklung eines Fachmodells mit Berücksichtigung des zunehmenden Informationsgehalts erfolgt mit der *Informationsbedarfstiefe*, dem *Level of Information Need (LOIN)* [9]. Die Entwicklungsstufe und das *LOIN* sind demnach gleichbedeutend. Dabei ist auch eine Zuordnung bzw. Korrelation des *LOIN* zu den Projektphasen und zu den Leistungsphasen der *HOAI* möglich, die in [6] aufgezeigt ist.

Die ebenfalls bei BIM für Hochbau und Infrastrukturbau gebräuchlichen *Level of Geometry (LOG)* und *Level of Information (LOI)* können in der Geotechnik nicht sinnvoll angewendet werden. Eine Begründung findet sich in [6].

## 2.5 Attribuierung und LOIN

Der Großteil der Eigenschaften im Fachmodell Baugrund ergeben sich aus dem Geotechnischen Bericht bzw. Geotechnischen Entwurfsbericht gemäß DIN 4020. Darüber hinaus werden Eigenschaften u. a. bei der Ausführung oder beim Betrieb des Bauwerks gewonnen, bspw. Ergebnisse von Langzeitmessungen oder langfristige Änderungen der Grundwasserverhältnisse.

Eine Definition der Mindestanforderung an die Attribuirung in Abhängigkeit der Entwicklungsstufen bzw. des LOIN des Fachmodells Baugrund befindet sich in [6]. Ein darüber hinausgehender projektspezifischer Informationsbedarf wird in den *Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA)* (Abschnitt 2.7) festgelegt.

Um die Anforderung einer konsistenten Erfassung, Verwaltung und Austauschfähigkeit aller Fachdaten innerhalb des Lebenszyklus gemäß BIM erfüllen zu können, ist eine projektübergreifende, allgemeingültige Definition aller Fachobjekte und Eigenschaften essenziell. Für diesen Akt einer weitgehenden Standardisierung müssen noch die Voraussetzungen geschaffen werden. Projektspezifische, lokale Lösungen für die Attribuirung führen zu Insellösungen und sind nicht im Sinne von BIM. Der derzeitige Arbeitsstand zu diesen Standardisierungen ist in Abschnitt 5 beschrieben.

Die umfangreichen datentechnischen Anforderungen an die Entwicklung standardisierter Fachobjekte und Eigenschaften sind in [5] und [6] beschrieben. Als eine der vielen Anforderungen sei an dieser Stelle lediglich die zwingende Trennung von *Eigenschaftsnamen* und *Eigenschaftswerten* erwähnt. Während die Eigenschaftsnamen vom Auftraggeber in den AIA festgelegt werden und vom Auftragnehmer im *BIM-Abwicklungsplan (BAP)* (Abschnitt 2.7) angepasst werden können, sind die *Eigenschaftswerte* stets vom spezialisierten Auftragnehmer, z. B. dem Sachverständigen für Geotechnik, festzustellen und dem Modell hinzuzufügen.

## 2.6 Anwendungsfälle

Anwendungsfälle beschreiben, zu welchem konkreten Zweck BIM-Modelle im Projekt genutzt werden, z. B. für Standsicherheitsberechnungen, Massenermittlungen oder Kosten- und Terminplanungen. Sie stellen einen fachlichen Informationsprozess dar und werden i. d. R. direkt im Gesamtmodell oder indirekt mit dem Gesamtmodell, z. B. nach Ableitung von Schnitten, durchgeführt. Somit lässt sich die gesamte Projektarbeit und somit jede Projektleistung in Anwendungsfälle partitionieren, die sich durch die Anforderungen und Aufgaben der Projektbeteiligten an die Projektarbeit ergeben. Festgelegt werden die Anwendungsfälle vom Auftraggeber in den AIA.

Die Durchführung bestimmter Anwendungsfälle setzt einen bestimmten Informationsgehalt und damit bestimmte Entwicklungsstufen des Fachmodells Baugrund voraus. Eine Zuordnung des Informationsbedarfs, der Entwicklungsstufen und der Anwendungsfälle hat [6] zum Inhalt.

Vom *BMVI* wurden in [10] und [11] 20 Anwendungsfälle für Projekte im Infrastrukturwesen definiert, die Grundlage für die Ableitung von Anwendungsfällen für das Fachmodell Baugrund in [7] waren. Diese sind in Tab. 1 zusammengestellt, ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

Eine genaue Beschreibung dieser einzelnen Anwendungsfälle enthält [7]. Von der Zusammenstellung in Tab. 1 abzugrenzen sind Anwendungsfälle, für die das Fachmodell Baugrund nicht die unmittelbare Basis darstellt, sondern die das Fachmodell Baugrund lediglich nutzen. Dies ist insbesondere ab der Projektphase der Ausschreibung des Bauprojekts der Fall, bei der die wesentliche Grundlage die Fachmodelle des Hoch-,Infrastruktur- oder Ingenieurbaus (einschließlich Bauwerke des Spezialtiefbaus) darstellen. Ausführung zu diesen Anwendungsfällen finden sich ebenfalls in [7].



Ebenso wie die Entwicklung standardisierter Fachobjekte und Eigenschaften für das Fachmodell Baugrund bedarf es einer projektübergreifenden Standardisierung der Anwendungsfälle. Die für das konkrete Bauprojekt erforderlichen Anwendungsfälle werden dann aus dieser projektübergreifenden Standardisierung ausgewählt und vom Auftraggeber mit den AIA eingefordert.

Tabelle 1: Anwendungsfälle des Fachmodells Baugrund mit Nutzung weiterer Fachmodelle

Anwendungsfall	Weitere erforderliche Fachdaten im Gesamtmodell *
Bestandserfassung	ggf. Bestandsbauwerke, Altlasten etc.
Planungsvariantenuntersuchung	Bestandsbauwerke, Bauwerke oder Trasse etc.
Koordination	Bestandsbauwerke, Bauwerke des Spezialtiefbaus etc.
Fachliche Beurteilung	Bestandsbauwerke, Bauwerke des Spezialtiefbaus etc.
Bemessung und Nachweisführung	Bauwerke oder Trasse, ggf. weitere Gewerke
Grundwasserhaltung	Bauwerke oder Trasse, ggf. weitere Gewerke
Ableitung geologischer Schnitte	Bestandsbauwerke, Bauwerke oder Trasse, ggf. weitere Gewerke
Mengenermittlungen	Bauwerke oder Trasse, ggf. weitere Gewerke
Kostenschätzung und Kostenberechnung	Bauwerke oder Trasse, ggf. weitere Gewerke

\* Eine Vernetzung mit dem Fachmodell DGM wird grundsätzlich vorausgesetzt

## 2.7 Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA) und BIM-Abwicklungsplan (BAP)

Die AIA sind das Dokument, in dem der Auftraggeber die für ihn relevanten Ziele und vor allem die Anforderungen zu Workflows beim Datenfluss, bei der Modellierung, Qualitätssicherung und Kollaborationen definiert. Die AIA geben somit die Rahmenstruktur für die allgemeine spezifische Projektabwicklung mit BIM vor und sind Vertragsbestandteil zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer (Abb. 3).



Abbildung 3: Aspekte von Auftraggeberinformationsanforderungen aus [12]

U. a. werden in den AIA für das konkrete Bauprojekt folgenden Inhalte definiert:

- Welche BIM-Ziele sollen erreicht werden?
- Welche Anwendungsfälle sind durchzuführen?
- In welcher Entwicklungsstufe bzw. in welchen LOINs der Modelle erfolgt die Durchführung der Anwendungsfälle?
- Die Art und Weise der Durchführung aller Prozesse der Informationsverarbeitung inklusive der Vorgabe der einzusetzenden Methoden (u. a. Vorgabe der datentechnischen Struktur der Modelle).
- Die erforderlichen Eingangsinformationen inklusive deren Bezugsquellen in einer detaillierten Beschreibung (u. a. Vorgabe der Eigenschaftsnamen für die Attribuierung der Modelle).
- Die Zuständigkeiten innerhalb der Workflows.
- Die Anforderungen an die Qualität für alle Liefergegenstände (Modelle mit den daraus abgeleiteten Ergebnissen) im BIM-Prozess.

Die detaillierten Vorgaben der Liefergegenstände in den AIA sind erforderlich, um u. a. die Prüfung der BIM-Modelle mit wiederverwendbaren Prüfverfahren zu ermöglichen [12]. Dazu bedarf es einer weitgehenden projektübergreifenden Standardisierung der Prozesse – nur so kann BIM konsequent umgesetzt werden. Entsprechend fordert [12] die Erarbeitung von *AIA-Vorlagen*, aus denen die projektspezifischen AIA abzuleiten sind. Diese AIA-Vorlagen enthalten gemäß [12] u. a.:

- einheitliche Definitionen der Fachmodelle,
- einheitliche Klassifikationssysteme für Fachobjekte der Fachmodelle, damit eine eindeutige Begriffs- und Funktionsbeschreibung möglich wird,
- einheitliche Definitionen für die Eigenschaften bzw. Merkmale der Fachobjekte.

Dies führt in [12] zu Handlungsvorschlägen zur Erarbeitung von Standardisierungen u. a. in Merkmalsdatenbanken, AIA-Datenbanken und Objektvorlagen.

Während – vereinfacht zusammengefasst – in den AIA das “Was” vom Auftraggeber definiert wird, wird im BAP vom Auftragnehmer das “Wie” angegeben. Der Auftragnehmer beschreibt im BAP demnach, wie die Anforderungen der AIA von ihm umgesetzt werden sollen. Der BAP wird während des Projekts, u. a. bspw. bedingt durch zunehmende Erfahrungen und neuen Technologien, sukzessive angepasst und kann Vertragsbestandteil werden. Bestandteile des BAP sind u. a.:

- personelle Zuweisung von Rollen im Projekt,
- Schnittstellen der verschiedenen Akteure wie organisatorische Strukturen und Verantwortlichkeiten,
- die zu verwendenden Technologien wie Softwareapplikationen,
- die Realisierung der Datenübergabe inklusive der Liefertermine von Liefergegenständen,
- Angaben zur Qualitätssicherung.

### 3 Aktueller Stand zur Umsetzung von BIM in der Geotechnik

Alle anfänglich vom *BMVI* ausgewählten BIM-Pilotprojekte unmittelbar nach Veröffentlichung des *Stufenplans Digitales Planen und Bauen* [1] haben gemeinsam, dass dem Baugrund nur eine untergeordnete Bedeutung zukam. Inwiefern bei neueren BIM-Projekten der Baugrund eine weitreichendere Beachtung findet, ist schwer überschaubar. Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass eine konsequente Erprobung von BIM in der Geotechnik von der Modellierung des Fachmodells Baugrund durch den Sachverständigen für Geotechnik über die Planung bis zur Ausführung bisher noch keine Anwendung fand. Dem Arbeitskreis *Digitalisierung in der Geotechnik* der *DGGT* sind bislang keine solcher Projekte bekannt.

Derzeit beschränken sich BIM-Projekte in der Geotechnik zumeist auf die dreidimensionale Darstellung des Baugrundes ggf. inklusive Berücksichtigung des Grundwassers. Weit verbreitete Anwendungen dafür finden bspw. die Softwareapplikationen *Leapfrog Works* von *Seequent* sowie *Civil 3D* und *Revit*, jeweils von *Autodesk*. Nach Import der (direkten und indirekten) Baugrundaufschlüsse mit den zu maßgeblichen Schichten zusammengefassten Aufschlussbereichen wird eine automatisierte Interpolation der Baugrundsichten durchgeführt. Dabei bieten die verschiedenen Softwareapplikationen unterschiedliche Interpolationsalgorithmen an. In den meisten Fällen wird eine händische Nachbearbeitung dieser Schichtgrenzen erfolgen müssen, bevor die Baugrundsicht als Volumen zwischen zwei Schichtgrenzen bzw. dem Oberflächenmodell erzeugt wird. Eine Übersicht und Bewertung unterschiedlicher Softwareapplikationen enthält [8].

Abb. 4 bis Abb. 9 zeigen die Herangehensweise der Modellierung der Baugrund-, Homogenbereichs- und Grundwasserschichten mit der Softwareapplikationen *Leapfrog Works*. Im Einzelnen sind dies:

- Erfassung der Erkundungsbohrungen mit den angesprochenen Aufschlussbereichen inklusive der Boden- und Felsansprache und Erfassung der indirekten Aufschlüsse wie bspw. Drucksondierungen (CPTs) inkl. der Ergebnisse des Spitzenwiderstands, der Mantelreibung und des Reibungsindex (Abb. 4). Diese Angaben sind für die Interpolation der Baugrundsichten jedoch nicht zwingend erforderlich.
- Zusammenfassung der Aufschlussbereiche und der ähnlichen Bereiche aus den CPTs zu den Bereichen der Baugrundsichten (Abb. 5).
- Modellierung der Baugrundsichten als Volumenelemente aus den zusammengefassten Bereichen der Aufschlüsse und der CPTs nach Abb. 5 (Abb. 6 und Abb. 7). Die Modellierung erfolgt zunächst automatisiert, muss aber in der Regel nachbearbeitet werden.
- Zusammenfassung von Baugrundsichten zu Schichten der Homogenbereiche (Abb. 8).
- Festlegung einer Grundwasserschicht (Abb. 9).

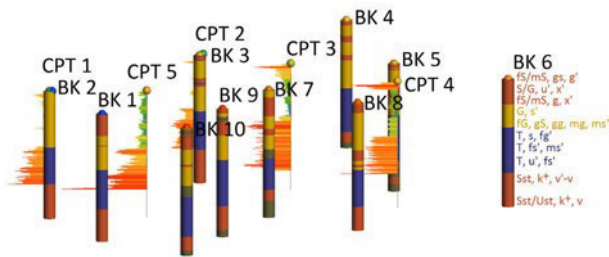


Abbildung 4: Erkundungsbohrungen mit den Aufschlussbereichen und Spitzenwiderstand der CPTs. BK 6 bspw. mit den Ergebnissen der Boden- und Felsansprache (Screenshot aus *Leapfrog Works*)

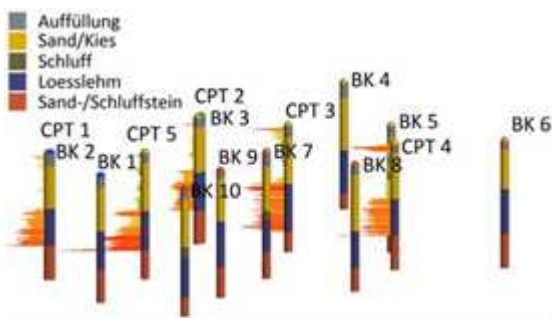


Abbildung 5: Zu Schichten zusammengefasste Bereiche aus den Aufschlüssen und der CPTs (Screenshot aus *Leapfrog Works*)

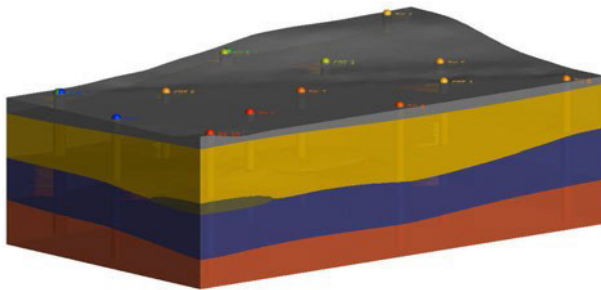


Abbildung 6: Volumen der Baugrundsichten abgeleitet aus den Informationen nach Abb. 5 (Screenshot aus *Leapfrog Works*)

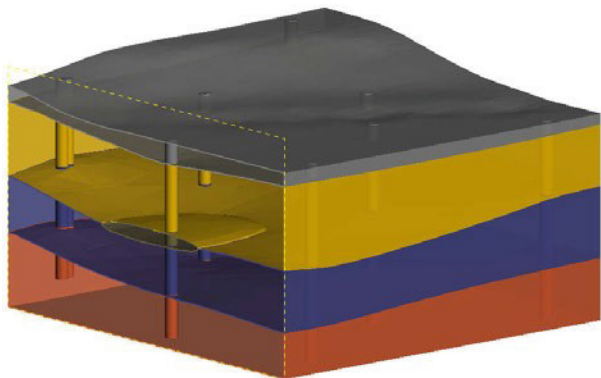


Abbildung 7: Schnitt durch Abb. 6 (Screenshot aus *Leapfrog Works*)

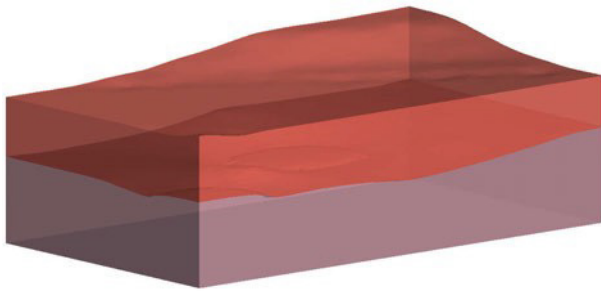


Abbildung 8: Schichten der Homogenbereiche aus der Zusammenfassung von Baugrundsichten nach Abb. 6 (Screenshot aus *Leapfrog Works*)

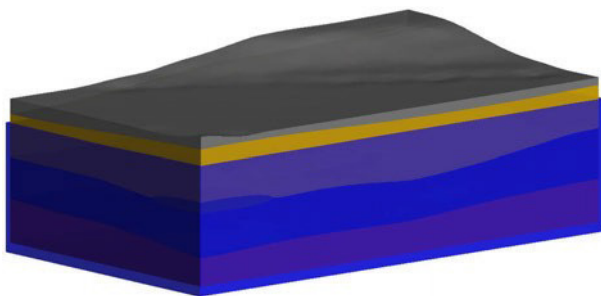


Abbildung 9: Grundwasserschicht (blau) (Screenshot aus *Leapfrog Works*)

Jederzeit während oder nach der abgeschlossenen Modellierung kann aus der Softwareapplikation *Leapfrog Works* ein geologischer Schnitt abgeleitet werden. Ein Beispiel eines Schnittes quer zur Längsachse der Baugrundsichten zeigt Abb. 10. Dabei sind viele Möglichkeiten der Darstellungsweise gegeben. Zudem kann eingestellt werden, bis zu welchem Abstand von einer Schnittachse die Aufschlüsse (z. B. als Bohrsäule) im Schnitt mit dargestellt werden sollen. Dies führt dann dazu, dass die Schichteinteilung an den projizierten Aufschlüssen ggf. von der im Schnitt Schichteinteilung abweicht.

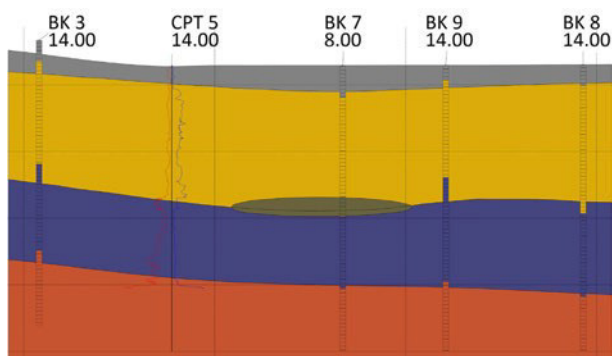


Abb. 10: Geologischer Schnitt durch den Baugrund (abgeleitet aus *Leapfrog Works*)

Nach der geometrischen Modellierung des Baugrundes – die derzeit bereits praktikabel möglich und auch belastbar ist – sind dem Modell die semantischen Informationen hinzuzufügen (Attribuierung). Derzeit ist allen auf dem Markt verbreiteten Softwareapplikationen gemeinsam, dass eine Attribuierung der Fachobjekte entweder nicht oder nur in Form von Freitexten möglich ist.

Die Ergebnisse der Attribuierung bspw. mit der Softwareapplikation *Leapfrog Works* zeigen Abb. 11 bis Abb. 13. Dabei kann die Attribuierung mit dem Anlegen einer Tabelle in Form eines Kommentarfeldes zu den Volumina der Baugrundschichten (Abb. 11), Homogenbereichsschichten (Abb. 12) und der Grundwasserschicht (Abb. 13) erfolgen. Die händisch zugeführten Informationen werden allen softwareintern erzeugten "Einzelvolumen" in einer Schicht zugeordnet. Angezeigt werden die Attribute nach dem Anwählen eines beliebigen Volumenelementes in den Schichten.



Abbildung 11: Baugrundschicht mit einem Ausschnitt attribuerter Informationen (nachbearbeiteter Screenshot aus *Leapfrog Works*)

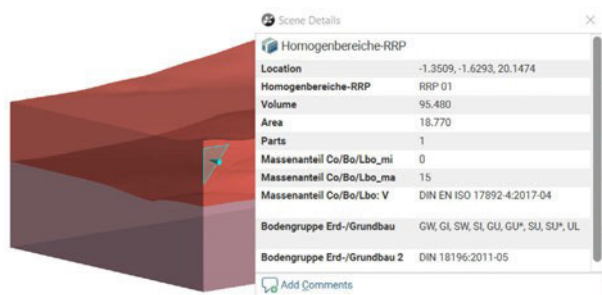


Abbildung 12: Homogenbereichsschicht mit einem Ausschnitt attribuerter Informationen (nachbearbeiteter Screenshot aus *Leapfrog Works*)

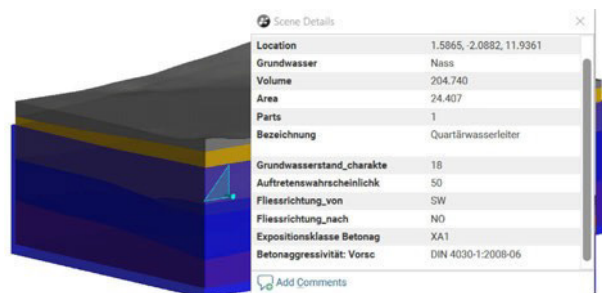


Abbildung 13: Grundwasserschicht mit einem Ausschnitt attribuerter Informationen (nachbearbeiteter Screenshot aus *Leapfrog Works*)

Mit dieser Vorgehensweise der Attribuierung mit Freitexten wird eine grundlegende Voraussetzung für BIM jedoch nicht erfüllt, nämlich die Verwendung von projektübergreifend standardisierten Begriffen zur computerinterpretierbaren, automatisierten Weiterverarbeitung der Daten (vgl. Abschnitte 2.3 und 2.5).

Der Export der geometrischen und semantischen Informationen kann in nativen Datenformaten oder im Datenformat *IFC* erfolgen. Da eine grundlegende Voraussetzung von BIM jedoch die Entkoppelung von bestimmten Softwareapplikationen ist, sollte für den Datenaustausch das offene Datenformat *IFC* genutzt werden [13], [14]. Mit *IFC (Industry Foundation Classes)* wurde im Rahmen der internationalen non-profit-Organisation *buildingSMART* ein Datenformat erschaffen, welches mit seinem definierten Datenmodell den Datenaustausch zwischen verschiedenen Softwareapplikationen ermöglichen soll. Die Befüllung des Datenmodells mit Fachobjekten und Eigenschaften wird dabei ehrenamtlich in internationalen und nationalen Fach- und Projektgruppen erarbeitet. Die Geotechnik fand hierbei bisher nur rudimentäre Betrachtung (Abschnitt 5), weshalb derzeit kaum auf vordefinierte Eigenschaften bei der Baugrundmodellierung zurückgegriffen werden kann. Neben den vordefinierten Eigenschaften können aber auch freie Eigenschaften in dem vorgegebenen Datenschema (Datentyp, Einheit etc.) übergeben werden. Dieses Datenschema wird jedoch von vielen Softwareapplikationen aktuell nicht vollumfänglich unterstützt, wodurch die Datenübergabe letztlich nur mit Freitext möglich ist.

Während aktuell die Übergabe von geometrischen Informationen zwischen unterschiedlichen Softwareapplikationen mit *IFC* praktikabel möglich ist, machen die semantischen Informationen immer wieder Probleme. Zwar können die Informationen zumeist problemlos in *IFC* exportiert, jedoch oftmals nicht verlustfrei importiert werden. Zudem bieten manche marktverbreitete Softwareapplikationen wie *Leapfrog Works* derzeit noch keine Import-Möglichkeit von *IFC*-Dateien an.

Lösungen für diese Schwierigkeiten sind derzeit nicht unmittelbar absehbar. Neben zu erwartenden Weiterentwicklungen bei *IFC* und den Softwareapplikationen können die semantischen Informationen alternativ mit externen, von *IFC* unabhängigen Datenbanken übergeben werden. Solche Datenbanken stellen aber derzeit noch projektspezifische Einzellösungen für Projektbearbeiter mit hoher Affinität für Datenbanken und IT-Lösungen dar.

Auch hinsichtlich der Notwendigkeit von projektübergreifenden, standardisierten Fachobjekten und Eigenschaften sowie weitgehend standardisierten AIAs für das Fachmodell Baugrund sind derzeit keine verbreiteten Lösungen vorhanden. Zu ersten Ansätzen für solche Entwicklungen siehe Abschnitt 5. Aktuell muss festgestellt werden, dass von Auftraggebern geotechnischer BIM-Projekte AIAs und Vorgaben hinsichtlich der Attribuierung in sehr unterschiedlichem Umfang und in unterschiedlicher Qualität vertraglich vereinbart werden. Nicht selten wird u. a. die Erarbeitung von Vorschlägen für die Attribuierung und der datentechnischen Struktur des Fachmodells dem Auftragnehmer aufgebürdet, was den Zielen der Standardisierung im BIM-Kontext zuwiderläuft.

Weiterführend zu den genannten Schwierigkeiten sind auch viele weitere Fragestellungen bei der Modellierung des Fachmodells Baugrund noch ungelöst. Oftmals ist dies auf die derzeit noch eingeschränkten technischen Möglichkeiten zurückzuführen; teilweise betrifft es auch grundsätzliche Fragestellungen. U. a. sind dies folgende Aspekte:

- Ein dreidimensionales Abbild des Baugrundes suggeriert an jeder Stelle des Baugrundes eine Genauigkeit, die bei Dritten zu Fehlinterpretationen führen kann. Diese Fragen

werden – auch im Zusammenhang mit Haftungsfragen für den Sachverständigen für Geotechnik – aktuell stark diskutiert.

- Die Attribuierung im Fachmodell Baugrund ist aktuell nicht nur im BIM-Workflow schwer weiterverwendbar, sondern kann auch zu Widersprüchen zum Geotechnischen Bericht führen. Dies sollte projektspezifisch vom Sachverständigen für Geotechnik geprüft werden. Der Geotechnische Bericht ist und bleibt weiterhin der maßgebende vertragliche Gegenstand. Auch, da sich im Fachmodell Baugrund derzeit viele Angaben aus dem Geotechnischen Bericht nicht mit der notwendigen Qualität erfassen und zudem nicht mit der gewohnten Prägnanz hervorheben lassen [6].
- Das Grundwasser kann zurzeit zumeist nur als Schicht modelliert werden. Die Modellierung von Grundwasserkörpern wird aktuell oftmals zu Schwierigkeiten führen, ebenso die Modellierung von gespanntem Grundwasser. Eine Fragestellung ist bspw., ob in der über dem gespannten Grundwasser liegenden Baugrundsicht mit geringer Wasserdurchlässigkeit ebenfalls Grundwasser modelliert wird. Erfolgt dies, wird ein ungespannter Grundwasserleiter suggeriert. Wird die geringdurchlässige Baugrundsicht trocken modelliert, kann dies zu einer Nichtbeachtung bspw. von Kluft- oder Porenwasserleitern und damit zu Problemen bei der Baumaßnahme führen. Auch zeitlich und räumlich veränderlichen Porenwasserdruckverteilungen können momentan noch nicht angemessen berücksichtigt werden.
- Eine Zuordnung der Kenngrößen der Bauwerk-Baugrund-Interaktion zu definierten Bauteilen in klar abgegrenzten Bereichen des Baugrundes ist bisher mit den auf dem Markt verbreiteten Softwareapplikationen nur über Umwege möglich. So müssen Objekte mit festgelegter und unveränderbarer Geometrie zur Repräsentation der Bauwerke modelliert werden, denen diese Kenngrößen, wie bspw. das Steifemodul, zuzuordnen sind [6].
- Bei Berücksichtigung der normativen Vorgaben von Abständen und Tiefen von Untersuchungspunkten gemäß DIN EN 1997-2:2010-12 [15] und DIN 4020:2010-10 [16] wird sich in den meisten Fällen auch ein gutes dreidimensionales Abbild des Baugrundes modellieren lassen. Jedoch sehen sich Geotechniker immer wieder der Schwierigkeit gegenübergestellt, auf Untersuchungspunkte zugunsten einer Kostenersparnis verzichten zu müssen. Diese – auch bisher schon bestehende – Problemstellung verschärft sich durch den Zwang, beim Fachmodell Baugrund einen umliegenden, für einen Betrachter des Modells unmittelbar ersichtlichen Randbereich zu modellieren. Es ist grundsätzlich empfehlenswert, die Abstände von Untersuchungspunkten im Bereich der Untergrenze gemäß [15] zu wählen. Der Auftraggeber muss entsprechend für ein belastbares Fachmodell Baugrund bereit sein, die Kosten für notwendige Untersuchungspunkte zu übernehmen.
- Nach Abgabe des Fachmodells Baugrund ist es für Dritte ein Leichtes, aus diesem Modell Schnitte z. B. für statische oder hydraulische Berechnungen abzuleiten, während dessen bisher der Sachverständige für Geotechnik mit der Erzeugung von Schnitten oftmals zwangsläufig beauftragt werden musste. Es muss daher ein klarer Workflow mit eindeutigen Zuständigkeiten vereinbart werden, sodass der Sachverständige für Geotechnik über seine Angaben die Hoheit behält. Das Fachmodell Baugrund darf von Dritten ohne seine Kenntnisnahme, Zustimmung und ggf. fachlichen Begleitung nicht verändert oder für weiterführende Betrachtungen genutzt werden.



Diese und weitere Fragestellungen stehen auf der Agenda des Arbeitskreises *Digitalisierung in der Geotechnik der DGGT* zur Erarbeitung von Empfehlungen (Abschnitt 5).

#### 4 Weitere Aktivitäten bei der Digitalisierung in der Geotechnik

Die Digitalisierung in der Geotechnik umfasst nicht nur die Überführung der bewährten Arbeitsweise der Geotechnik in digitale Workflows gemäß den Anforderungen aus BIM, sondern auch in ihren Ursprüngen davon losgelöste Aktivitäten. Doch auch diese Aktivitäten können zukünftig Bausteine bei BIM darstellen. Einige dieser Aktivitäten sind:

- Spätestens mit Verabschiedung des Geologiedatengesetzes (GeolDG) [17] im Juni 2020 ist die Zurverfügungstellung von geologischen Daten an die zuständigen Landesämter verpflichtend. Gleichzeitig muss eine öffentliche Bereitstellung dieser geologischen Daten erfolgen. Wenngleich die Umsetzung dieses Gesetzes noch einige Schwierigkeiten bereitet, die Digitalisierung der Daten bspw. als Bild für die Erfüllung des Gesetzes ausreichend ist und deren Zurverfügungstellung nicht zwingend digital erfolgen muss (aber zunehmend erfolgen wird), liefert das Gesetz einen wichtigen Anstoß für ggf. verbesserte Datengrundlagen bei geotechnischen Projekten. Die Verfügbarkeit und Verwendung von Altaufschlüssen werden erheblich vereinfacht. Es muss jedoch beachtet werden, dass Altaufschlüsse in der Regel Projektaufschlüsse nur ergänzen und nur in den seltensten Fällen ersetzen können. Dies ist vom Sachverständigen für Geotechnik im Einzelfall zu prüfen.
- U. a. um der Verpflichtung des E-Government-Gesetzes (EGovG) [18] von 2013 nachzukommen, wurde von der *Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)* der geotechnischen Begriffskatalog und das Datenbankschema *GeoValML* entwickelt [19]. Mit *GeoValML* können nahezu beliebige geotechnische Versuchsdaten gespeichert und langfristig verwaltet werden. Die Speicherung erfolgt auf Grundlage einer Standardisierung der Begriffe, Datentypen, Einheiten etc. basierend auf geotechnische Normen und Vorschriften. Damit wird eine automatisierte Weiterverarbeitung der Daten ermöglicht – so wie es auch im BIM-Kontext gefordert wird (Abschnitt 2.5). Entsprechend können die erarbeiteten Standardisierungen auch als Vorlage für die Attribuierung des Fachmodells Baugrund genutzt werden. Derzeit erfolgt eine Migration des Altdatenbestandes der *BAW* in *GeoValML*, die sich auf Laborversuchsergebnisse in Verknüpfung mit den Probekörpern, den Aufschlussstellen und den Projekten beschränkt. Eine Erweiterung auf weitere geotechnische Daten wie bspw. den Eigenschaften und Kenngrößen von Homogenbereichen ist möglich. Weiterhin kann die *GeoVal*-Datenbank mittels Schnittstellen von anderen Datenbanken genutzt werden. Die Nutzung der Daten durch Dritte erfolgt über eine Webapplikation (<https://baugrund-daten.baw.de>). *GeoValML* wird permanent weiterentwickelt.
- Bisher werden bei Spezialtiefbaumaßnahmen die mittels Baumaschinen gewonnenen Daten nur unzureichend nutzbringend weiterverarbeitet. Auch bei der Kommunikation zwischen Baumaschinen und verschiedenen Messdatenerfassungen werden die möglichen Potentiale kaum genutzt. Gründe dafür sind u. a. fehlende Standards und

uneinheitliche Schnittstellen. Mit der Gründung der Arbeitsgemeinschaft *Machines in Construction 4.0 (Arge mic4.0)* durch die Spitzenverbände *Bauindustrie* und *VDMA* sollen Lösungen erarbeitet werden. Ziel ist die Entwicklung eines Standards für Maschinenzustandsdaten und Prozessdaten aus dem Herstellverfahren für eine einheitliche, herstellerübergreifende, maschinenunabhängige und rechtssichere digitale Kommunikation rund um den Bauprozess [20].

- Eine Voraussetzung für die Nutzung von bei Baumaßnahmen gewonnenen Daten ist zunächst das Erfassen dieser Daten von den einzelnen Baumaschinen, die Analyse, Normalisierung, Verknüpfung und Verwaltung dieser Daten in einer gemeinsamen Datenbank und deren Zurverfügungstellung je nach Erfordernis der Weiterverarbeitung. Dienstleistungen dieser Art werden bereits angeboten, siehe bspw. [21].
- Für Auftraggeber, Planer und Geotechniker werden die bei Spezialtiefbaumaßnahmen gewonnenen Daten vor allem interessant, wenn damit Rückschlüsse auf die Baugrundverhältnisse möglich sind. Die so bei Eingriffen in den Baugrund generierten Informationen können im Fachmodell Baugrund bspw. für Anpassungen von Schichtverläufen verwendet werden und eine Fortschreibung des Modells für eine verbesserte Planung nachfolgender Baumaßnahmen ermöglichen. Erste Ansätze für solche Nutzungen von Baustellendaten sind bereits in der Entwicklung.

## **5 Notwendige Voraussetzung für BIM in der Geotechnik und aktuelle Aktivitäten**

### **5.1 Überblick zu notwendigen Voraussetzungen**

Die Modellierung des Baugrundes stellt in einem Planungsprozess einer der ersten Schritte dar. Dennoch fand eine Berücksichtigung des Baugrundes bei den bisherigen Anwendungen der BIM-Methode nur in Ausnahmefällen und wenn, dann zumeist nur auf vergleichsweise niedrigem Niveau statt. Dies liegt zum einen an der oftmals großen Komplexität der Workflows zur Ableitung von geotechnischen Modelle, die zudem auch nur von einem vergleichsweise kleinen Kreis von Experten beherrscht wird, und zum anderen an den wenig ausgereiften technischen Voraussetzungen für die Umsetzung (vgl. Abschnitt 3).

Die Voraussetzungen für eine konsequente Umsetzung von BIM bei geotechnischen Projekten müssen noch für viele Aspekte erarbeitet werden. Die größten Herausforderungen liegen dabei in einer notwendigen Weiterentwicklung von Softwareapplikationen zur Modellierung des Fachmodells Baugrund und insbesondere in noch im erheblichen Umfang zu tätigen Standardisierungen.

Im Gegensatz zu anderen Aspekten beim Infrastrukturbau stellt sich bei der Geotechnik die Besonderheit dar, dass das Fachmodell Baugrund unabhängig vom Infrastrukturträger und unabhängig vom Bauvorhaben eine gleiche Vorgehensweise der Modellierung aufweist. Entsprechend sollten auch die Standardisierungen verkehrsträgerübergreifend erfolgen.

Konkret umfassen diese notwendigen Standardisierungen die Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA) (Abschnitt 2.7) sowie als Teil dieser AIA eine projektübergreifende, allgemeingültige Definition aller Fachobjekte und Eigenschaften in Abhängigkeit der Entwicklungsstufen des Fachmodells Baugrund (Abschnitt 2.5). Diese Menge an vorhandenen Standardisierungen wird dann im konkreten Bauprojekt je nach Erfordernis in einer Auswahl mit den AIA vertraglich vereinbart.

Die Erarbeitung der notwendigen Standardisierungen stellt jedoch keinen einmaligen Akt dar. Zwar ist eine initiale Initiative erforderlich, die in einem ersten Schritt einen großen Anteil der Standardisierungen vornimmt, doch muss für weiterführende Standardisierungen eine dauerhaft operierende Organisation geschaffen werden. Hinweise dazu gibt *DIN EN ISO 23386:2020-11* [22]. Immer wieder neu erscheinende Vorschriften, zunehmende Erfahrungen mit BIM-Projekten und neue technische Entwicklungen erfordern kontinuierliche Fortschreibungen.

Alle Standardisierungen müssen nach Auffassung des Arbeitskreises *Digitalisierung in der Geotechnik* der *DGGT* von Geotechnikern mit Unterstützung von Datenbankexperten erfolgen [6]. Die allgemeingültigen Definitionen der geotechnischen Fachobjekte und Eigenschaften mit ihren vielfältigen Verknüpfungen erfordern ein für diese Daten passendes Datenmodell, das der Komplexität der Daten gerecht wird (Abschnitt 2.3). Ob bereits vorhandene Datenmodelle diesen Anforderungen gerecht werden können, ist kritisch zu prüfen.

Abb. 14 gibt einen Überblick, welche Standardisierungen aus deutscher Sicht für das Fachmodell Baugrund mindestens erforderlich sind [6]. Da dabei viele nationale Eigenheiten zu berücksichtigen sind (Homogenbereiche, traditionell gewachsene Verfahren mit eigenen Begriffen etc.) wird man nur eingeschränkt auf international vorhandene Standardisierungen zurückgreifen können.



Abbildung 14: Erforderliche Standardisierungen für das Fachmodell Baugrund gemäß [6]

Zudem stellt sich bei der Erarbeitung von Standardisierungen die Herausforderung, dass teilweise Widersprüche zwischen den Normen und Vorschriften hinsichtlich von Bezeichnungen und Einheiten derselben Sachverhalte vorliegen. Demzufolge wäre auch eine Vereinheitlichung dieser Abweichungen in den deutschen Normen und Vorschriften wünschenswert.

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick gegeben werden, welche Aktivitäten derzeit hinsichtlich der Erarbeitung von Empfehlungen für BIM in der Geotechnik, für die Schaffung von Voraussetzungen für Standardisierungen und konkret zu Standardisierungen in der Geotechnik stattfinden. Dieser Überblick hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit, auch da sich alle aktuell vorhandenen Aktivitäten nur schwer überschauen lassen.

## 5.2 Aktuelle Aktivitäten

Hinsichtlich der Erarbeitung von Empfehlungen für die Geotechnik sind insbesondere die Arbeitskreise *BIM im Spezialtiefbau* der Bundesfachabteilung *Spezialtiefbau im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie*, *BIM im Untertagebau* des Deutschen Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB) und der bereits mehrfach erwähnte Arbeitskreis *Digitalisierung in der Geotechnik* der DGGT aktiv. Alle diese Arbeitskreise weisen bereits mehrere Veröffentlichungen auf, bspw. [5], [23], [24]. Zudem sind die Zuständigkeitsbereiche zwischen diesen Arbeitskreisen weitgehend abgestimmt und es findet ein regelmäßiger Austausch statt. Die Arbeit in diesen Arbeitskreisen erfolgt ehrenamtlich.

Wo derzeit Initiativen für Standardisierungen von Fachobjekten und Eigenschaften in der Geotechnik stattfinden, ist nicht vollumfänglich überschaubar. Der Geotechnik angenommen hat sich u. a. die *Fachgruppe Verkehrswege* von *buildingSMART Deutschland*. Eine Vorstandardisierung, die auch geotechnische Aspekte enthält, wurde bereits veröffentlicht [25]. *buildingSMART Deutschland* als Ableger der internationalen non-profit-Organisation *buildingSMART* weist etwa 20 solcher Fach- und Projektgruppen für alle Bereiche des Bauwesens mit dem Ziel der Erarbeitung von Standardisierungen auf. Dies erfolgt vor dem Hintergrund des ebenfalls von *buildingSMART* entwickelten Datenformats *IFC*. Die Arbeit in diesen Fach- und Projektgruppen ist ehrenamtlich. Weiterhin wird von *buildingSMART* derzeit mit *IFC5* eine um den Infrastrukturbau erweiterte Version angekündigt, wohingegen das derzeit zumeist verwendete *IFC4* für die Beschreibung von Gebäudemodellen entwickelt wurde. Inwiefern *IFC5* auch geotechnische Standardisierungen enthalten wird, bleibt abzuwarten.

Von *BIM.Hamburg* wurde im Jahr 2018 ein erster Bauteilkatalog mit geotechnischen Objekten und Eigenschaften veröffentlicht [26]. *BIM.Hamburg* ist ein Zusammenschluss von sechs BIM-Leitstellen verschiedener Organisationen mit dem Ziel der Erarbeitung von strategischen Maßnahmen für die Implementierung von BIM in Hamburg. Weiterhin wird derzeit eine Standardisierung von geotechnischen Objekten und Eigenschaften vom *Deutschen Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB)* erarbeitet. Eine Standardisierung insbesondere von Daten aus Baugrundaufschlüssen und Laborversuchen liegt von der *Bundesanstalt für Wasserbau* im Rahmen des Projekts *GeoValML* vor (Abschnitt 4). Zudem wurde von der *Bundesanstalt für Wasserbau* der *Datenkatalog Homogenbereiche* erstellt, der für die Bauleistungen nach VOB/C eine standardisierte Beschreibung der Eigenschaften ermöglicht [27]. Dieser umfasst die Bezeichnungen der Homogenbereiche, die maßgebenden Kennwerte und Eigenschaften in Abhängigkeit der entsprechenden Normen der VOB/C, die datentechnischen Vorgaben, wie ein Wert anzugeben ist sowie Vordefinierungen der anzugebenden Werte auf Basis der normativen Vorgaben. Zuletzt finden auch Standardisierungen statt, die im Zuge der Vergabe von konkreten Bauprojekten von Infrastrukturträgern bei geotechnischen Ingenieurbüros beauftragt wurden.

Es kann also festgestellt werden, dass eine Vielzahl von Aktivitäten vorhanden ist, eine Abstimmung leider bisher aber kaum stattfindet. Eine solche ist allerdings dringend erforderlich. Zudem muss geprüft werden, ob alle diese Aktivitäten eine automatisierte datentechnische Weiterverarbeitung ermöglichen, indem die Datenbanken mit anderen Datenbanken über Schnittstellen kommunizieren können.

Unabhängig von geotechnischen Fragestellungen findet eine Standardisierung insbesondere in zwei Organisationen statt. Einerseits von der bereits genannten Organisation *buildingSMART* mit dem Datenformat *IFC*, das mit seinem definierten Datenmodell den Datenaustausch zwischen verschiedenen Softwareapplikationen ermöglichen soll und eine weitreichende Vordefinition von Objekten und Eigenschaften als Grundlage hat. Zum anderen die Organisation *BIM Deutschland*, die eine Bündelung der Informationen zu BIM-Aktivitäten in Deutschland anstrebt und auch Standardisierungen vorantreiben soll. Dazu wurde das *BIM-Portal* als fachlich übergeordnete Datenbank auf Grundlage von [22] entwickelt, in der zugelassene Nutzer neue Objekte und Eigenschaften vorschlagen können, die dann von weiteren Rollen wie Genehmiger und Prüfer ggf. dauerhaft in die Datenbank überführt werden. Das *BIM-Portal* befindet sich derzeit noch in der Testphase. Das zugrundeliegende Datenmodell entspricht dem von *IFC*. Ob dieses Datenmodell für geotechnische Daten sinnvoll genutzt werden kann, bedarf einer Prüfung. Weit entwickelte Datenbanken für fachlich spezifische komplexe Inhalte im Infrastrukturbau werden bspw. mit *Allplan Bimplus* von der *Allplan Deutschland GmbH* und von *KorFin®* von der *A+S Consult GmbH* angeboten. Dabei werden bereits auch geotechnische Daten bei Infrastrukturprojekten verarbeitet [28]. Zuletzt sei noch die bereits genannte Datenbank für geotechnische Daten *GeoValML* der *Bundesanstalt für Wasserbau* genannt.

Zur Erarbeitung von standardisierten Vorlagen von Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA) für das Fachmodell Baugrund sind dem Arbeitskreis *Digitalisierung in der Geotechnik der DGGT* derzeit keine Aktivitäten bekannt. In vorhandenen Unterlagen, zumeist als Mustervorlagen oder Muster-AIA bezeichnet, die bspw. auf den Homepages des *BMVI*, von *BIM.Hamburg* und den großen Infrastrukturträgern verfügbar sind, wird das Fachmodell Baugrund nicht, oder nur am Rande betrachtet. Hier wären noch Initiativen zu entwickeln.

### **5.3 Möglichkeiten der Nutzung einer vorhandenen Standardisierung**

Eine weitreichende Standardisierung ist die Grundlage für weitere noch zu tätige Entwicklungen, die eine Nutzbarmachung dieser Daten für konkrete Bauprojekte sinnvoll ermöglichen. Dabei sind drei im Folgenden kurz beschriebene Wege denkbar, die jeweils bestimmte Vor- und Nachteile aufweisen. Auch können diese drei Wege unterschiedliche Entwicklungsschritte bis hin zu einer BIM-fähigen Lösung darstellen.

#### **Weg 1: Thematisch abgeschlossene Datenbanken**

Der einfachste Weg ist die Erarbeitung einer Datenbank, die vollständig unabhängig von der Geometrie des Schichtenmodells des Baugrundes angelegt ist und ausnahmslos die semantischen Informationen eines spezifischen Themenkomplexes beinhaltet. Sofern aber eine Verknüpfung der geometrischen und semantischen Daten nicht möglich ist, stellt dieser Workflow keinen BIM-Prozess

dar. So wäre bspw. eine Massenermittlung bei einem Erdaushub nicht vollautomatisch möglich, da das Aushubvolumen und die Dichte des Bodens an unterschiedlichen Orten gespeichert sind. Kann dagegen eine Verknüpfung aller Daten erreicht werden, könnte dies einen Weg für BIM darstellen. So wäre es möglich, Daten je nach ihrem Themenkomplex in eigens dafür entwickelten Datenbanken zu verwalten. Dies würde Vorteile gegenüber einem generellen Datenmodell aufweisen, das für alle Themenkomplexe des Infrastrukturbaus gemeinsam die Grundlage bilden möchte. Dieser Weg der Verknüpfung unterschiedlicher Datenbanken wird aktuell bei Bauprojekten schon gelebt, wenngleich dazu noch umfassende Kenntnisse in Datenbanktechnik notwendig sind.

### **Weg 2: Thematisch übergeordnete Datenbanken**

Thematisch übergeordnete Datenbanken enthalten die geometrischen und semantischen Daten aller Themenbereiche eines übergeordneten Bereichs, z. B. den Infrastrukturbau, und haben den Vorteil, dass das darin verwendete, generell angewendete Datenmodell eine gebündelte Datenübergabe an Dritte leichter ermöglicht. Voraussetzung ist jedoch eine so weitgehende Flexibilität des Datenmodells, dass alle Themenkomplexe mit ihren vielfältigen Verknüpfungen normalisiert erfasst werden können. Hinsichtlich der Realisierung geotechnischer Projekte mit einer thematisch übergeordneten Datenbank sind zwei Vorgehensweisen denkbar. Zum einen eine projektindividuelle Speicherung der geometrischen und semantischen Informationen in einer lokal vorhandenen Datenbank, die zwischen den Projektpartnern ausgetauscht wird. Dieser Weg wird mit dem Datenformat *IFC* verfolgt. Zum anderen könnte die Attribuierung auch in einer global zugänglichen, auf einem Server abgelegten Datenbank erfolgen, auf die von den Schichtmodellen der geotechnischen Modellierungssoftware heraus referenziert wird. Die Attribuierung könnte dann auf dem Server oder lokal mit Datum und Versionierung gespeichert werden. Wesentlicher Vorteil dieses Weges ist, dass Einführung, Verwaltung und Nutzung neuer Objekte und Eigenschaften in Echtzeit mit dem Fortschritt der Bauprojekte möglich ist. Auf neuen Standardisierungen kann unmittelbar zugegriffen werden, ohne dass erst eine neue Version der Datenbank für einen lokalen Austausch eingeführt werden muss.

### **Weg 3: Thematisch übergeordnete Datenbanken**

Ein vergleichsweise schnell umsetzbare und für den Anwender bequeme Lösung ist, wenn die standardisierten Fachobjekte und Eigenschaften zur Beschreibung bestimmter Themenkomplexe in den Softwareapplikationen direkt vorhanden sind. Der Anwender hat nach Erstellung der Schichtenmodelle des Baugrundes unmittelbar Zugriff auf Datenbanken zur Attribuierung bspw. der Aufschlüsse, Baugrundsichten und Homogenbereichssichten. Zwingend erforderlich ist jedoch, dass alle Softwareapplikationen dieselben Datenbanken oder zumindest dieselben Inhalte der Datenbanken verwenden und keine Insellösungen entstehen.

## **6 Zusammenfassung und Ausblick**

Nach der Einführung des *Building Information Modeling (BIM)* durch das *BMVI* und der breiteren Anwendung dieser Methode werden auch zunehmend Anforderungen an die Geotechnik gestellt werden, sich an diesen digitalen Workflows zu beteiligen. Erste Infrastrukturprojekte im BIM-Kontext

mit der Erstellung und Nutzung von dreidimensionalen Baugrundsichtenmodellen wurden bereits ausgeführt. Dabei erfolgt oftmals auch eine ausgewählte Attribuierung der Schichtenmodelle mit Informationen aus dem Geotechnischen Bericht, die mit den derzeit auf dem Markt verbreiteten Softwareapplikationen in der Regel nur mit Freitext realisierbar ist. Vor allem bei der Datenübergabe dieser attribuierten Schichtenmodelle an Dritte, wie der nachfolgenden Planung oder den Auftraggebern, treten oftmals Schwierigkeiten auf, die nur mit erheblichem zeitlichem Aufwand gelöst werden können. Nicht selten erfolgen Nachmodellierungen des Schichtenmodells z. B. durch den Planer, was nicht nur auch fachlichen, sondern aus rechtlichen Gründen dringend abzulehnen ist.

Aufgrund der noch für viele Problemstellungen fehlenden technischen Voraussetzungen kann von einem Fachmodell Baugrund als ein Fachmodell unter vielen in einem BIM-Projekt oftmals noch nicht gesprochen werden. Die Interaktion der einzelnen Fachmodelle in einem gewerkübergreifenden Gesamtmodell wird derzeit nur ansatzweise und von Spezialisten mit großem datentechnischen Know-how umgesetzt.

Unabhängig von den technischen Schwierigkeiten sind auch viele weitere Voraussetzungen für die Umsetzung von BIM und insbesondere von BIM in der Geotechnik noch nicht geschaffen. Bisher fand der Baugrund bei BIM-Projekten nur selten Beachtung und entsprechend sind die für BIM erforderlichen Standardisierungen in der Geotechnik noch nicht vorhanden. Lediglich erste Ansätze für eine solche Entwicklung sind erkennbar – eine Zusammenarbeit bei diesen Entwicklungen findet dagegen kaum statt. Hier besteht dringender Handlungsbedarf.

Für die Geotechnik stellt sich mit der rasanten technischen Entwicklung bei BIM einerseits und den zunehmenden Anforderungen in BIM-Projekten andererseits die Herausforderung, die Überführung der bisherigen Arbeitsweisen in digitale Arbeitsweisen aktiv anzunehmen und mit zu gestalten. Nur so ist eine Einflussnahme auf die technischen Entwicklungen möglich, sodass die geotechnischen Besonderheiten einen sinnvollen Eingang finden können. Die Geotechnik muss ihre Arbeitsinhalte dahingehend analysieren, was sinnvoll in digitale Prozesse überführt werden kann und wie dabei die seit langem bewährten Zuständigkeiten in einem Bauprojekt beibehalten werden können, ohne dass sich der Sachverständige für Geotechnik in rechtlich schwierige Konstellationen begeben muss. Dies bedeutet, dass die Geotechnik technischen Entwicklungen vorausdenken und beeinflussen muss. Dies erfolgt bspw. in Form von Arbeitskreisen, in Fachgruppen und in Verbänden mit ihren Veröffentlichungen und der unermüdlichen Kommunikation ihrer Arbeitsergebnisse. Da diese Tätigkeiten zumeist ehrenamtlich und neben der täglichen Projektarbeit stattfindet, die Entwicklungen in BIM gleichzeitig sehr vielfältig und schnell erfolgen und zudem bereits unüberschaubare Mengen an Papier mit BIM-Themen bestehen und täglich neu entstehen, erfordern dies von den Beteiligten einen hohen Einsatz. Dieser Artikel soll daher an dieser Stelle auch ein Aufruf an in der Geotechnik tätige Personen sein, sich an diesen Prozessen zu beteiligen. Nur so kann BIM für die Geotechnik zum Erfolg werden.

## Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [Hrsg.] (2015): Stufenplan Digitales Planen und Bauen. <https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?blob=publicationFile> (abgerufen am 12.11.2021)
- [2] Deutschen Bahn AG [Hrsg.] (2019): BIM-Strategie – Implementierung von Building Information Modeling (BIM) im Vorstandsressort Infrastruktur der Deutschen Bahn AG. <https://www.deutschebahn.com/resource/blob/3985436/edf737542c2ee3bc3ea17173f5af33aa/Implementierung-von-BIM-im-VR-I-data.pdf> (abgerufen am 12.11.2021)
- [3] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) [Hrsg.] (2021): Masterplan BIM Bundesfernstraßen – Digitalisierung des Planens, Bauens, Erhaltens und Betriebs im Bundesfernstraßenbau mit der Methode Building Information Modeling (BIM). [https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Anlage/StB/bim-rd-masterplan-bundes-fernstraesen.pdf?\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Anlage/StB/bim-rd-masterplan-bundes-fernstraesen.pdf?_blob=publicationFile) (abgerufen am 12.11.2021)
- [4] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) [Hrsg.] (2018): Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ – AP 1.2: Szenariendefinition und AP 1.3: Empfehlung. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/digitales-planen-und-bauen.pdf?blob=publicationFile> (abgerufen am 12.11.2021)
- [5] Molzahn, M.; Bauer, J.; Henke, S.; Tilger, K. (2021): Das Fachmodell Baugrund – Empfehlungen des Arbeitskreises 2.14 der DGGT „Digitalisierung in der Geotechnik“. *Geotechnik* 44 (1), S. 41–51. <https://doi.org/10.1002/gete.202000040>
- [6] Molzahn, M.; Bauer, J.; Henke, S.; Tilger, K. (2021): Entwicklungsstufen und Attribuierung des Fachmodells Baugrund – Empfehlungen Nr. 2 des Arbeitskreises 2.14 der DGGT „Digitalisierung in der Geotechnik“. *Geotechnik* 44 (3), S. 209–218. <https://doi.org/10.1002/gete.202100024>
- [7] Molzahn, M.; Bauer, J.; Henke, S.; Tilger, K. (2022): Anwendungsfälle des Fachmodells Baugrund – Empfehlung Nr. 3 des Arbeitskreises 2.14 der DGGT „Digitalisierung in der Geotechnik“. *Geotechnik*. zur Veröffentlichung akzeptierter Bericht. <https://doi.org/10.1002/gete.202100026>
- [8] Stütz, D.; Herten, M. (2020): Evaluation von Software zur Generierung von Baugrundsichtenmodellen. *Geotechnik* 43 (4), S. 275–282. <https://doi.org/10.1002/gete.202000027>



- [9] DIN EN 17412-1:2021-06: Bauwerksinformationsmodellierung – Informationsbedarfstiefe – Teil 1: Konzepte und Grundsätze. Berlin: Beuth Verlag, Berlin.
- [10] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) [Hrsg.] (2019) Handreichung und Leitfäden – Teil 1: Grundlagen und BIM-Gesamtprozess. [https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020\\_AP4\\_Teil1.pdf](https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil1.pdf) (abgerufen am 12.11.2021)
- [11] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) [Hrsg.] (2019): Handreichung und Leitfäden – Teil 7: Handreichung BIM-Fachmodelle und Ausarbeitungsgrad. [https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020\\_AP4\\_Teil7.pdf](https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil7.pdf) (abgerufen am 12.11.2021)
- [12] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) [Hrsg.] (2018): Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ – AP 5: Konzept für Datenbanken. [https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2018/08/BIM4INFRA2020\\_AP5\\_Datenbankkonzept\\_FINAL.pdf](https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2018/08/BIM4INFRA2020_AP5_Datenbankkonzept_FINAL.pdf) (abgerufen am 12.11.2021)
- [13] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) [Hrsg.] (2019): Handreichung und Leitfäden – Teil 8: Neutraler Datenaustausch im Überblick. [https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020\\_AP4\\_Teil8.pdf](https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil8.pdf) (abgerufen am 12.11.2021)
- [14] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) [Hrsg.] (2019): Handreichung und Leitfäden – Teil 9: Datenaustausch mit Industry Foundation Classes (IFC). [https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/08/BIM4INFRA2020\\_AP4\\_Teil9.pdf](https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/08/BIM4INFRA2020_AP4_Teil9.pdf) (abgerufen am 12.11.2021)
- [15] DIN EN 1997-2:2010-12: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds. Beuth Verlag, Berlin.
- [16] DIN 4020:2010-10: Geotechnische Untersuchungen für bautechnisch Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2. Beuth Verlag, Berlin.
- [17] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Geologiedatengesetz (GeolDG). Inkrafttreten am 30.06.2020. [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBL&jumpTo=bgbl120s1387.pdf#\\_bgbl\\_%2F%2F%5B%40attr\\_id%3D%27bgbl120s1387.pdf%27%5D\\_\\_1638541770916](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBL&jumpTo=bgbl120s1387.pdf#_bgbl_%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl120s1387.pdf%27%5D__1638541770916) (abgerufen am 12.11.2021)
- [18] Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat: E-Government-Gesetzes (EGovG). Inkrafttreten am 01.08.2013, letzte Änderung am 23.09.2021.

[https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=//\\*\[@attr\\_id=%27bgbl113s2749.pdf%27\]#bgbl\\_%2F%2F\\*%5B%40attr\\_id%3D%27bgbl113s2749.pdf%27%5D\\_1638542147174](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=//*[@attr_id=%27bgbl113s2749.pdf%27]#bgbl_%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl113s2749.pdf%27%5D_1638542147174)  
(abgerufen am 12.11.2021)

- [19] Stütz, D.; Kunz, E. (2021): GeoValML – Das interoperable Austauschformat für nahezu beliebige geotechnische Versuchsdaten. 1. Fachkongress “Digitale Transformation im Lebenszyklus der Infrastruktur” am 29./30.06.2021. Technische Akademie Esslingen (TAE). Tagungshandbuch, S. 133–136.
- [20] Siewert, D. (2021): Standardisierung von Maschinen- und Prozessdaten aus Sicht der Anwender. Vortrag beim “Zukunftsforum Spezialtiefbau” am 21.04.2021. Online-Veranstaltung.
- [21] fielddata.io (2021): Die digitale Baustelle im Spezialtiefbau. Vortrag beim “Zukunftsforum Spezialtiefbau” am 21.04.2021. Online-Veranstaltung.
- [22] DIN EN ISO 23386:2020-11: Bauwerksinformationsmodellierung und andere digitale Prozesse im Bauwesen – Methodik zur Beschreibung, Erstellung und Pflege von Merkmalen in miteinander verbundenen Datenkatalogen. Beuth Verlag, Berlin.
- [23] Bundesfachabteilung Spezialtiefbau im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V. [Hrsg.] (2019): BIM im Spezialtiefbau – Technisches Positionspapier. [https://www.bauindustrie.de/fileadmin/bauindustrie.de/Verband/Bundesfachabteilungen/Spezialtiefbau/BIM\\_POSPAPIER\\_5.6\\_CI60WEH.pdf](https://www.bauindustrie.de/fileadmin/bauindustrie.de/Verband/Bundesfachabteilungen/Spezialtiefbau/BIM_POSPAPIER_5.6_CI60WEH.pdf) (abgerufen am 12.11.2021)
- [24] Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB) [Hrsg.] (2019): BIM im Untertagebau. [https://www.daub-ita.de/fileadmin/documents/daub/gtcrec4/gtcrec11de\\_BIM\\_im\\_Untertagebau\\_05-2019.pdf](https://www.daub-ita.de/fileadmin/documents/daub/gtcrec4/gtcrec11de_BIM_im_Untertagebau_05-2019.pdf) (abgerufen am 12.11.2021)
- [25] buildingSMART Deutschland [Hrsg.] (2020): BIM-Klassen der Verkehrswege. Heft 1.01 der bSD Schriftenreihe. 1. Auflage, bSD Verlag.
- [26] BIM.Hamburg [Hrsg.] (2018): Bauteilkatalog Geotechnik. <https://bim.hamburg.de/contentblob/13525014/446d542bd1e1cb14cd169661f192b360/data/d-02-bauteilkatalog-geotechnik-v002.pdf> (abgerufen am 12.11.2021)
- [27] Bauer, J. (2022): Standardisierte Beschreibung der Eigenschaften im Fachmodell Baugrund für Bauleistungen nach VOB/C (Homogenbereiche). BAWBrief (in Vorbereitung). Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.

- [28] Schütz, D.; Vorwerk, V.; Wilfing, L.; Michael, J.; Just, M.; Bartnitzek, J. (2020): Projekt Hanau – Fulda: Digital planen, digital beteiligen. In: Infrastrukturprojekte 2020 – Bauen für die starke Schiene. Deutsche Bahn [Hrsg.], S. 120–129.

## **Autoren**

Jörg Bauer  
Bundesanstalt für Wasserbau  
Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe  
E-Mail: joerg.bauer@baw.de