**Automatisierte Qualitätssicherung des Fachmodells Baugrund**

M. Eng. Johannes Beck1, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Sascha Henke1

1) Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg

*Das Fachmodell Baugrund ist das zentrale Modell, mit dem die Geotechnik am kollaborativen BIM-Prozess partizipiert. Eine unzureichende Modellqualität stellt dabei ein erhebliches Hindernis sowohl für die interne Nutzung als auch für die Weiterverwendung durch andere Projektbeteiligte dar. In diesem Beitrag wird untersucht, wie die Qualität von Fachmodellen effektiv geprüft und durch geeignete Arbeitsmethoden nachhaltig gesichert werden kann. Eine Analyse der verschiedenen Facetten des abstrakten Konzepts der Modellqualität zeigt, dass insbesondere die Vollständigkeit und Korrektheit sowohl geometrischer als auch nicht-geometrischer Inhalte von zentraler Bedeutung sind. Qualitätstests unterschiedlicher Art und Komplexität werden anhand eines exemplarischen Baugrundmodells durchgeführt, wobei praxisrelevante Aspekte zur Bewertung der Qualität und Wiederverwendbarkeit des geotechnischen Fachmodells entlang konkreter Beispiele herausgearbeitet werden. Es ist gängige Praxis, Fachmodelle im herstellerneutralen IFC-Format (Industry Foundation Classes) auszutauschen, welches entsprechend auch die Grundlage für die in diesem Beitrag vorgestellte Modellprüfung bildet. Diese erfolgt sowohl auf Basis des Information Delivery Specification (IDS)-Standards als auch mit einem Test-Framework. Zudem wird aufgezeigt, wie durch optimierte Arbeitsweisen die Modellierung und Anreicherung der Daten unterstützt werden können und die Einbindung in Autorensoftware erfolgen kann. Qualitätsgesicherte Modelle sind eine entscheidende Grundlage für die Automatisierung und Umsetzung zahlreicher BIM-Anwendungsfälle. Diese Arbeit leistet daher einen wichtigen Beitrag zur verstärkten und effizienteren Nutzung des Fachmodells Baugrund im Projektkontext und damit zur Generierung von Mehrwerten.*

# Einleitung

Der Methode des Building Information Modellings (BIM) kommt eine zentrale Rolle bei der Digitalisierung des Bauwesens zu. Dabei wird der Fachmodell-basierte Ansatz als Best-Practice gesehen, bei dem verschiedene Projektebeteiligte digitale, räumliche und mit Informationen angereichte Modelle mit ihren spezifischen Inhalten erstellen. Die verschiedenen Fachmodelle werden zu einem Koordinationsmodell oder einem Gesamtmodell zusammengeführt [1]. Für den Datenaustausch wird häufig das herstellerneutrale IFC-Format (Industrie Foundation Classes) genutzt [2]. Der zentrale Liefergegenstand und damit auch Planungs- und Dokumentationsmodell der Fachdisziplin Geotechnik ist dabei das Fachmodell (FM) Baugrund. Nach Mohlzahn et al. enthält es sämtliche Informationen, die den Baugrund beschreiben, wenngleich es stets in Verbindung mit dem geotechnischen Bericht und als Ergänzung dessen zu sehen ist [3].

Zhou et al. gliedern die Vorteile der BIM-Methode für die operative, strategische, organisatorische und die Management-Ebene auf [4]. Zudem arbeiten Sie heraus, welche Mehrwerte, beispielsweise Kostenreduktion oder Risikominimierung, in den verschieden Projektphasen realisierbar sind. Lidelöw et al. untersuchen mithilfe von Interviews in Finnland, Norwegen und Schweden, in wie weit sich die versprochenen Vorteile in der Praxis feststellen lassen [5]. Dabei beleuchten sie, für wen sich Mehrwerte ergeben und stellen fest, dass verschiedene erwartete Vorteile nicht realisiert werden können und die Lücke zwischen Best-Practice und gängiger Praxis zunehmend größer wird. Insbesondere die Nutzung der BIM-Methode über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks hinweg aktuell schwach ausgeprägt.

Die Generierung von Mehrwerten innerhalb der BIM-Methode erfolgt entlang von BIM-Anwendungsfällen. Mohlzahn et al. führen eine Auswahl an möglichen Anwendungsfällen für das FM Baugrund an und differenzieren diese dahingehend, ob für die Umsetzung das FM Baugrund ausreichend ist oder ob noch weitere Fachmodelle erforderlich sind [6]. In vorgenannter Empfehlung werden die Anwendungsfälle aus Sicht des Auftraggebers geschildert. Mit der BIM-Methode können zudem auch innerhalb einer Organisation Mehrwerte erzielt werden.

Die datenzentrische Arbeitsweise bildet die Grundlage, um Arbeitsschritte und damit auch Teile der Anwendungsfallumsetzung zu automatisieren. Effiziente und automatisierte Prozesse fördern die Umsetzung von Anwendungsfällen und die zugehörige Frequenz nachhaltig. Die Qualität der Datengrundlage, hier die Modelle, ist entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung solcher Automatisierungsroutinen. In diesem Beitrag wird dargestellt, wie die Qualität eines Baugrundmodells bewertet und sichergestellt werden kann. Die am häufigsten gewählte Methode zur Definition von Anforderungen ist über eine nicht maschineninterpretierbare Textdatei und die häufigste Prüfung ist eine manuelle Inspektion des Modells unter Zuhilfenahme eines Modellviewers [7, 8]. Diese Workflows sind nur bedingt automatisierbar und skalierbar, folglich sollen in dieser Arbeit relativ niederschwellige Methoden genutzt werden mit denen vorgenannte Ziele erreicht werden können. In Kapitel 2 wird der Begriff der Modellqualität, deren Teilaspekte und Prüfung beleuchtet. Dabei werden spezifische Kriterien für das FM Baugrund vorgestellt. Kapitel 3 behandelt die Modellprüfung. Kapitel 4 beinhaltet exemplarische Empfehlungen zu Arbeitsweisen in der Modellerstellung, mit denen eine hohe Qualität gefördert wird. Der Beitrag schließt mit einem Fazit und Ausblick in Kapitel 5.

Der Beitrag setzt ein grundlegendes Verständnis des IFC-Schemas und der Klassen, die üblicherweise in der Geotechnik verwendet werden, voraus.

Sämtliche Unterlagen zu diesem Beitrag sind in folgendem Repository zu finden:

https://github.com/GeotechnicalBIM/Fachsektionstage2025\_Qualitaet\_FM\_Baugrund

# Qualität von Bauwerksinformationsmodellen

Nach DIN EN ISO 9000 wird unter Qualität der „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt“ verstanden [9]. Folglich ist es zur Qualitätsbewertung von Informationen erforderlich, dass Anforderungen an dieses definiert werden. Die Merkmale lassen sich in quantitativ und qualitativ differenzieren, wobei in dieser Arbeit nur erstgenannte betrachtet werden.

## Prüfung von Bauwerksinformationsmodellen

Nachfolgend werden verschiedene Arbeiten, die sich mit dem Prüfen von Bauwerksinformationsmodellen beschäftigen mit Fokus auf Klassifizierung von Anforderungen beziehungsweise den zugehörigen Prüfungen. Dies erfolgt vor dem Hintergrund, dass mit den in Kapitel 2.2 ausgearbeiteten Qualitätskriterien für das Fachmodell Baugrund, die im Weiteren für die Fallstudie genutzt werden, ein möglichst breites Spektrum diesbezüglich abzubilden.

In Anlehnung an die Inhalte von Bauwerksinformationsmodellen untergliedern Choi et al. die Qualität in die der physischen Informationen, der logischen Informationen und der Daten [10].

Hjelseth und Nisbet untergliedern die modellbasierte Prüfung in Abhängigkeit von der Intention in vier Gruppen [11, 12]. Am verbreitetsten ist das Übereinstimmen mit vordefinierten Kriterien, beispielsweise muss jede Spundwand mindestens 1 m lang sein. In diese Gruppe fallen auch Geometrie-basierte Test (Kollisionskontrolle). Als zweites Konzept führen Sie Systeme an, die basierend auf hinterlegtem Wissen den Nutzer Vorschläge für technische Lösungen machen. Als drittes Konzept wird die adaptive Modellprüfung angeführt, bei der intelligente Objekte sich basierend auf Verhaltensregeln automatisch der Umgebung anpassen. Ein Beispiel ist, dass Bohrpfähle mindestens 2,5 m in den tragfähigen Baugrund einbinden müssen und sich das Pfahlobjekt basierend auf vordefinierten Regeln die tragfähige Schicht sucht und seine Länge entsprechend anpasst, sofern das Kriterium nicht erfüllt ist. Neben der vorgestellten Objektebene ist diese Methodik auf Systemebene anwendbar. Als vierte Art wird die Prüfung hinsichtlich des Vorhandenseins von Modellinhalten angeführt.

Das regelbasierte Prüfen, beispielswiese der Normkonformität, stellt einen zentralen Teil der Forschung zur Qualitätsprüfung dar. Derartige automatisierte Prüfungen finden sich beispielsweise in digitalen Genehmigungsprozessen wieder. Literaturstudien hierzu finden sich in [13, 14]. Solihin und Eastman unterteilen Modellprüfregeln in vier Klassen anhand ihrer Komplexität und den Anforderungen an die Prüfumgebung und zeigen entsprechende Beispiele [15].

Valinejadshoubi et al. zeigen eine Checkliste mit 26 Kriterien, mit denen Sie die Qualität von Fachmodellen verschiedener Disziplinen bewerten [8]. Dies erfolgt unter Zuhilfenahme einer Visuellen Programmierumgebung innerhalb eines BIM-Autorenprogramms automatisiert. Sie unterscheiden in die vier „Scopes“ Übereinstimmung mit der Namenskonvention, Koordination, Massenermittlung und Modellierungsgenauigkeit. Als Metrik zur Bewertung ziehen Sie das Verhältnis der Anzahl an Elementen, die die Tests bestehen zur Anzahl getesteter Elemente heran.

Tomczak et al. stellen verschiedene Methoden zur Spezifikation von Informationsanforderungen zusammen, führen aus, was mit welcher Methode spezifiziert werden kann und geben Empfehlung zu passenden Anwendungsszenarien [7]. Beleuchtet werden Text- und Tabellenbasierte, sowie weitere Individuallösungen, Data Dictionaries, Information Delivery Manual (IDM), IFC Property templates, Information Delivery Specification (IDS), Level of Information Need (LOIN), Model View Definition (MDV), Product Data Templates (PDT) und ein Linked Data Ansatz. In der Regel können die spezifizierten Anforderungen zur Prüfung, ob diese innerhalb eines Modells erfüllt werden, genutzt werden, siehe beispielsweise [16]. Auf dem Markt existieren verschiedene Softwarelösungen zur Qualitätsprüfung von BIM Modellen, wobei Solibri am verbreitetsten ist, siehe [17]. Mit diesen können proprietäre Prüfregeln genutzt werden und auch teilweise oben gelistete Standards.

## Qualitätskriterien für das Fachmodell Baugrund

Nachfolgend werden exemplarische Kriterien vorgestellt, anhand derer die Qualität des Fachmodells Baugrund bewertet werden kann. Dabei wird sowohl darauf geachtet, dass die in Kapitel 2.1 identifizierten Kategorien und Komplexitäten abgebildet werden, sowie fachspezifische Anforderungen und Herausforderungen berücksichtig werden. Der Fokus liegt dabei auf den in Kapitel 3.1 beschriebenen Subfachmodellen Baugrundschichten und Bohraufschlüsse.

IFC-Dateien, respektive das ihnen zugrunde liegende Datenmodell, werden als Modellgrundlage angenommen, da diese aktuell eine zentrale Rolle in den gängigen Austauschszenarien und damit den Liefergegenständen bilden. Geotechnische Klassen wurden mit dem IFC-Standard 4x3 eingeführt, jedoch sind diese aus praktischer Erfahrung heraus aktuell nicht vollumfänglich ausreichend, um das Fachmodell Baugrund einheitlich zu strukturieren und in seiner Gesamtheit abzubilden. Entsprechend werden regelmäßig projektspezifische Festlegungen zur Struktur getroffen und der Erweiterungsmechanismus über benutzerdefinierte IfcProperySets zur Abbildung und Gruppierung von geotechnischen Eigenschafften extensiv genutzt.

Für die Aufschlussbohrungen werden folgende Anforderungen definiert:

1. Jedes Objekt der Klasse IfcBorehole verfügt über das PropertySet IfcBoreholeCommon.
2. Jedes IfcBorehole ist einer IfcSite zugeordnet.
3. Sämtliche Objekte der Klasse IfcGeotechnicalStratum mit dem benutzerdefinierten ObjectType „ANSPRACHEBEREICH” sind Teil eines IfcBoreholes. Das Verhältnis Ganzes-Teil wird über IfcRelAggregates beschrieben.
4. Die Namen der IfcBoreholes entsprechen folgender Namenskonvention: Die ersten drei stellen sind „bh\_“ gefolgt von drei Ziffern.
5. Die Namen der IfcBoreholes sind einzigartig.
6. Die Namen der Ansprachebereiche entsprechen dem der zugehörigen IfcBoreholes, folgt von einem Unterstrich und drei Ziffern.
7. Die Abstände der Bohrungen (Bohrraster) entsprechen den Empfehlungen aus DIN EN 1997-2 Anlage B3.
8. Jeder Ansprachebereich wird als zylindrische Geometrie mit einem Durchmesser von einem Meter geometrisch repräsentiert.
9. Die Abweichung des Ansatzpunkts einer Bohrung zum Digitalen Geländemodell darf maximal 50 cm betragen.

An das Subfachmodell Baugrundschichten werden folgende Anforderungen gestellt:

1. Werte für die CohesionBehaviour im Propertyset Pset\_SolidStratumCapacity liegen im Intervall zwischen 0 und 1000 kN/m².
2. Wird ein Reibungswinkel für ein Element mit dem Material „Sand“ angegeben, so liegt er zwischen 27,5° und 37,5°.
3. Die Farben der Materialien, die für die Baugrundschichten genutzt werden, entsprechen den Vorgaben aus DIN 4023.
4. Die Wichte unter Auftrieb ist in kg pro m³ anzugeben.
5. Das Volumen im Qto\_VolumetricStratumBaseQuantities entspricht dem Volumen, das durch die geometrische Repräsentation beschrieben wird (zulässige Abweichung beträgt 0,01 m³).

Folgende übergreifenden Anforderungen werden gestellt:

1. Die Nominalwerte sämtlicher Eigenschaften mit Grenzwerten müssen innerhalb dieser Grenzen liegen.
2. Die Dateigröße darf 10 MB nicht überschreiten.

# Prüfung der Qualität des Fachmodells Baugrund

## Verwendetes Fachmodell Baugrund

Aufbau und Inhalte des Baugrundmodells, das nachfolgend als Grundlage für die Qualitätsprüfung verwendet wird, sollen möglichst präzise und detailliert festgelegt werden können. Das Fachmodell besteht aus den beiden Subfachmodellen Baugrundaufschlüsse und Baugrundschichten. Abbildung 1 zeigt die Baugrundschichtengeometrie des verwendeten Beispielprojekts. Das Baugrundschichtenmodell basiert auf fünf Bohraufschlüssen, besteht aus drei Schichten und weist eine geringe geologische Komplexität auf.

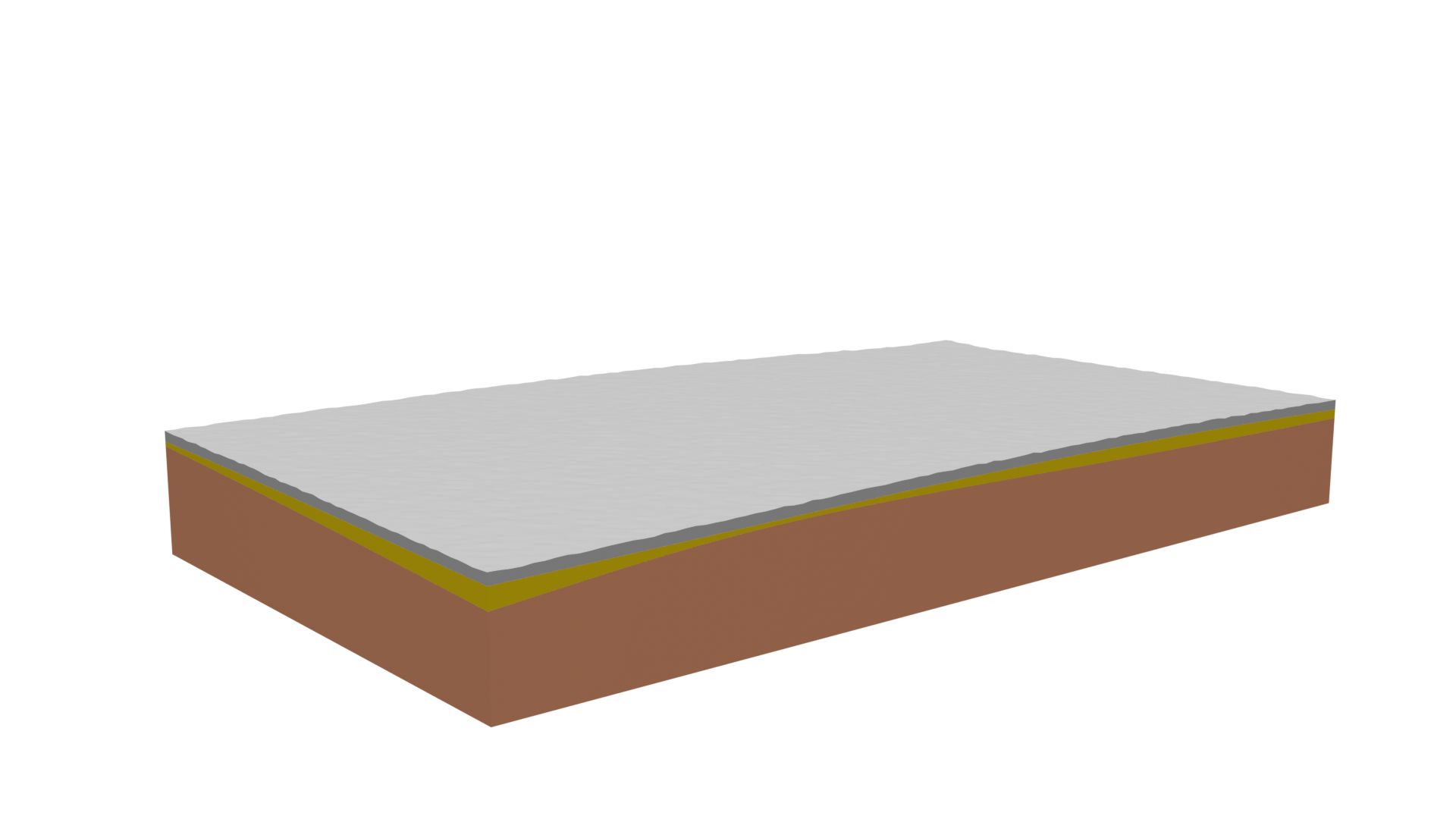


Abbildung Subfachmodell Baugrundschichten

Die Modellerstellung erfolgt ausgehend von den Bohrdaten skriptbasiert und nativ im IFC-Format. Hierfür wird die Python-Bibliothek ifcopenshell (Version 0.8.0) genutzt. Beim gewählten „Gestapelte-Flächen-Ansatz“ wird ein geschlossenes Netz mit Schichtgrenzen-Flächen in mehrere, geschlossene Netze (Baugrundschichten) zerteilt. Für die Interpolation zwischen den Punkten, welche Schichtgrenzen definieren, wird eine RBF-Interpolation (Radiale-Basis-Funktion) verwendet. Für die geometrischen Operationen werden im Skript Funktionen von Blender (Version 4.2) genutzt.

Als IFC-Schema wird IFC4X3\_ADD2 verwendet. Mit diesem können grundlegende geotechnische Klassen und zugehörige Eigenschaften abgebildet werden. Bei der Modellierung der Objekteigenschaften werden IfcPropertySetTemplates verwendet, die für sich genommen zur Anforderungsdefinition und zur Qualitätssicherung genutzt werden können. Diese werden jedoch um den Beitrag kompakt zu halten nicht weiter beleuchtet. Die alphanumerischen Informationen im Modell orientieren sich zwecks Übersichtlichkeit an den in Kapitel 2.2 angeführten Inhalten.

## Information Delivery Specification (IDS)

Information Delivery Specification (IDS) ist ein offenes Beschreibungsformat, dass wie IFC von buildingSMART veröffentlicht wird. IDS zielt auf die Abbildung von Anforderungen an den alphanumerischen Informationsgehalt von Modellen ab. IDS-Dateien basieren auf dem XML-Schema, ihr Aufbau und Syntax sind durch eine XML Schema Definition (XSD) standardisiert.

Eine Spezifikation (Specification) besteht aus drei Teilen, beginnend mit einer Beschreibung (Description), die sie für Meschen verständlich macht und den Grund der Anforderung dokumentiert. Der zweite Teil ist der Anwendungsbereich (Applicability), in dem festgelegt wird, für welchen Teil des Modells die Anforderung gelten soll. Diese Anforderungen (Requirements) stellen den letzten Teil der Spezifikation dar. Jede Spezifikation ist in sich geschlossen, sodass sie in anderen Projekten und anderen IDS-Dateien weiterverwendet werden kann.

Facets beschreiben die Informationen, die einer Entität in einem Modell zugeordnet sind, und werden genutzt, um den Anwendungsbereich und die Anforderungen zu konkretisieren. Im IDS-Standard sind die sechs Facet-Typen Entity, Attribute, Classification, Property, Material und Part Of (Entität, Attribut, Klassifikation, Eigenschaft, Material, Teil von) vorgesehen. Diese Facets können beliebig für den Anwendungsbereich und die Anforderungen kombiniert werden, um so eine Informationsanforderung abzubilden. Überdies können Kardinalitäten (erforderlich, optional und unzulässig) für Entitäten und Eigenschaften abgebildet werden.

Als Beispiel fungiere die Anforderung zur Modellstrukturierung, dass jede Instanz der Klasse IfcGeotechnicalStratum mit dem (benutzerdefinierten) ObjectType *Ansprachebereich* einem IfcBorehole über IfcRelAggregates zugewiesen ist. Die zugehörige Spezifikation ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Dreiteilung in Description, Applicability und Requirements spieglelt ist in dem XML-Auszug gut zu erkennen. Im Abschnitt Applicability werden zwei Facets, je eins vom Typ Entity und Attribut, zur Filterung der Modellinhalte verwendet. Im Tag Applicability wird die Kardinatlität über minOccurs und maxOccurs festgelegt. Die Kombination, die im Beispiel abgebildet ist, ist als „Das Modell kann (optional) Elemente enthalten, die die Filter passieren“. Die genannte Anforderung an den Modellaufbau ist im Abschnitt Requirements mit einem Facet des Typs Part Of definiert. Die Kardinalität für Requirements wird auf der Facet-Ebene festgelegt, was bei der Kombination von mehreren Facets die Flexibilität in der Anforderungsdefinition erhöht.



Abbildung Beispielhafte Spezifikation aus einer IDS-Datei

Das Prüfen des Fachmodells an der IFC-Datei erfolgt mit dem Python-Modul IFC-Tester (Version 0.8.0). Die Testergebnisse können in verschiedenen Formaten ausgegeben werden, darunter BCF (BIM Collaboration Format), JSON und HTML. Der Bericht beginnt mit einer Kurzzusammenfassung unter anderem über die geprüfte Spezifikation, die Anzahl an getesteten Objekten und die Anzahl an durchgeführten Tests, jeweils mit Anzahl der erfolgreichen und nicht erfolgreichen Überprüfungen. Es folgt eine Aufstellung für jeden durchgeführten Test, welches Objekt getestet wurde und ob er erfolgreich war. Falls der Test nicht erfolgreich war, wird zudem ein Grund angeführt.

Mithilfe von IDS können viele Informationen aus IFC-Modellen geprüft werden, da mithilfe der sechs Facet-Typen wesentliche Teile der gängigen alphanumerischen Modelinhalte abgebildet werden können. Allerdings können Tests, die geometrische Daten verwenden, die berechnete beziehungsweise dynamische Werte nutzen oder auf externe Datenquellen referenzieren nicht mit IDS durchgeführt werden. Bezugnehmend auf obige Anforderungen sind somit alle mit geometrischen Angaben nicht prüfbar. Auch die Einzigartigkeit der Namen und die Dateigröße können nicht geprüft werden.

## Individuallösung (nicht standardisiert)

Individuell programmierte Lösungen zur Prüfung der Modellqualität haben den Vorteil, dass sie sehr flexibel ausgestaltbar sind. Allerdings sind sie nicht standardisiert und erfordern entsprechende Expertise zur Definition, Programmierung und Unterhalt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Anforderungen aus Kapitel 2.2 in Tests überführt, mit denen das gesamte IFC-Modell geprüft wird. Hierfür wird das in der Programmiersprache Python inkludierte Testframework Unittest in zweckentlehnter Form verwendet. Somit können Funktionen, die das Modul bietet, wie die automatisierte Durchführung der Tests und die Formatierung der Testergebnisse mit einstellbarem Detailgrad genutzt werden. Für die Informationsverarbeitung wird wie für die Modellerstellung ifcopenshell genutzt.

Abbildung 3 zeigt exemplarisch den Test für die Modellanforderung III., deren IDS-Entsprechung in Abbildung 2 zu finden ist. Es wird die globale Variable *model* verwendet, welche das gesamte in ifcopenshell geladene Fachmodell beinhaltet. Innerhalb der Klasse *TestBoreholes*, die von der Klasse unittest.TestCase erbt, wird eine Funktion definiert, die neben einen informativen DocString den eigentlichen Test enthält. Alle hier geschriebenen Tests folgend dem Aufbau, der bereits aus den IDS bekannt ist: Zuerst werden die Elemente aus der IFC-Datei herausgefiltert, dann werden die Filterergebnisse an den Anforderungen gemessen. In Abbildung 3 werden alle Elemente der IFC-Klasse *IfcGeotechnicalStratum*, deren Objekt-Typ *ANSPRACHEBEREICH* ist. Für jedes der identifizierten Objekte wird dann ein Untertest instanziiert. Dann wird geprüft, ob mindestens eines der Objekte, denen der Ansprachebereich zugeordnet ist, ein *IfcBorehole* ist. Soll jedes Eltern-Objekt ein *IfcBorehole* sein, würde die *any*-Funktion durch eine *all*-Funktion ersetzt werden. Soll der Ansprachebereich genau einem *IfcBorehole* zugeordnet werden, ist zusätzlich zu prüfen, ob die Sammlung *elem.Decomposes* ein Element beinhaltet.

Für alle 16 Anforderungen aus Kapitel 2.2 konnten mit geringem Aufwand entsprechende Tests geschrieben werden. Da die Tests in sich geschlossene Einheiten sind, können sie projektübergreifend weiterverwendet werden.

Bei der Prüfung der geometrischen Durchbildung, beispielsweise dass jeder Ansprachebereich durch einen Zylinder repräsentiert werden soll, ist es herausfordernd, dass ein Zylinder im IFC-Schema auf verschiedene Weisen repräsentiert werden kann. Ausgewählte Optionen sind dabei beispielsweise *IfcRightCircularCylinder*, ein *IfcExtrudedAreaSolid* basierend auf einer *IfcCircleProfileDefinition* oder einem tessellierten Netz (IfcPolygonalFaceSet). Entsprechend verringert die Kenntnis der genauen Soll-Durchbildung beziehungsweise die zu erwartende Geometrie aus dem IFC-Export den Aufwand beim Schreiben der Tests signifikant. Wenn ein Netz als Geometrie verwendet wird, kann ein Zylinder nur approximiert beschrieben werden, dann mithilfe gerader Netzkanten kann keine kreisförmige Grundfläche abgebildet werden. Entsprechend kann die geometrische Qualität dann dahingehend beurteil werden, ab wann die Approximation zylindrisch genug ist. Je feiner das Netz ist, desto besser kann die Geometrie abgebildet werden, was allerdings zu Lasten der Dateigrößte und der Modellperformance geht. Im vorliegenden Fachmodell sind die Geometrien der Ansprachebereiche als Kreisprofil, das dann extrudiert wird, festgelegt. Neben dem reinen Prüfen, ob der Durchmesser einen bestimmten Wert beträgt, kann im Gleichen Schritt der Durchmesser auch auf den Soll-Wert gesetzt werden. Beim Vorarbeiten von der Geometrierepräsentation hin zum Profil ist es dann auch unerheblich, ob für jeden Ansprachebereich, jede Bohrung oder ein globales Kreisprofil definiert ist. In dem vorgestellten Fachmodell ist ein Profil definiert, auf dass sämtliche Extrusionen für Ansprachebereiche referenzieren. Das hat den Vorteil, dass weniger redundante Daten entstehen und nur ein Wert geändert werden muss, um die Darstellung aller Bohrungen anzupassen. Allerdings können dann entsprechend Darstellungsdurchmesser der Bohrungen nicht Elementweise eingestellt werden.



Abbildung Beispielhafter Test in Python

# Ideen zur Förderung der Modellqualität im Modellierungsprozess

Nachdem nun ein Überblick über verschiedene Facetten der Qualität des Fachmodells Baugrund bestehet und zwei Mechanismen zur Prüfung dieser in Ihrer Grundfunktion gezeigt wurden, stellt dieses Kapitel dar, wie diese Erkenntnisse im Modellierungsprozess genutzt und adaptiert werden können, um eine höhere Qualität zu erreichen.

Um hochwertige Modelle zu erstellen, ist es für Fachplaner sinnvoll, eigene Qualitätsanforderungen zu definieren, welche etwaige Anforderungen von Informationsbestellern ergänzen. Es ist anzustreben, dass diese projektübergreifend verwendet werden und projektspezifisch ergänzt werden. Projektübergreifende Anforderungen fördern die Einheitlichkeit von Struktur und Inhalt der innerhalb einer Organisation erstellten Modelle, was der Automatisierung von internen Anwendungsfällen – beispielsweise der Erstellung von Bohrplänen, Massenermittlungen und der Optimierung von Aufschlussprogrammen – förderlich ist.

Hierfür ist zu beachten, dass die Umsetzbarkeit der angeführten Ideen maßgeblich von den durch die BIM-Autorensoftware bereitgestellten Möglichkeiten abhängt und der Modellierweise abhängt. Ein Aspekt dabei ist die Anpassbarkeit und Erweiterbarkeit der Programmfunktionalitäten, beispielsweise durch eine Programmierschnittstelle (engl. Application Programming Interface, API). Erfolgt die Qualitätsprüfung nicht am nativen Datenmodell, ist der Export / die Konvertierung einschlägig, insbesondere wenn komplexe Datenmodelle wie IFC verwendet werden. Üblicherweise wird für IFC nur ein Teil des Schemas für den Import / Export umgesetzt, beschrieben über Model View Definition (MVD). Entsprechend sind Austauschszenarien und damit auch die Anforderungen an die ausgetauschten Daten aufbauend auf den MVDs zu definieren.

Die in Kapitel 3 gezeigten Verfahren prüfen IFC-Dateien, entsprechend sind sie dem Export nachgelagert. Somit bietet es sich an, sobald ein IFC-Export abgeschlossen wurde, automatisch einen Prüfprozess zu starten. Wenngleich die Integration in den Exportprozess der Autorensoftware Möglichkeiten in der Nutzerinteraktion eröffnet, kann das Verfahren isoliert von der Autorensoftware umgesetzt werden. Exemplarisch prüft ein Skript periodisch, ob Änderungen an zu definierenden Dateien vorhanden sind, und startet die Prüfroutine, sofern eine Änderung stattfand.

Analog dazu kann ein Skript zur Nachbearbeitung von IFC-Dateien ausgeführt werden. Beispielweise existieren Autorenprogramme, bei denen der Wert einer numerischen Eigenschaft, nicht leer gelassen werden können. In der Praxis finden sich Behelfslösungen, bei denen dann solche Werte auf unrealistisch hohe Werte (z.B. 99999) gesetzt werden. Mit einem Skript können diese Werte dann identifiziert und aus der IFC-Datei entfernt werden.

Die Nutzung von Vorlagen beziehungsweise wiederkehrenden Bauteilen ist in der BIM-Modellierung gängig, wenngleich in der Baugrundmodellierung nicht zwingend auf diese zurückgegriffen wird. Derartige Bauteildefinitionen ermöglichen die Verwendung der gleichen Eigenschaftsbezeichnungen, parametrischen Geometriebeschreibung und Vorgabewerten in den Instanzen dieser Definition.

Eine Möglichkeit, um Eigenschaften in BIM-Autorenprogrammen anzulegen, ist über die Programmierschnittstelle. Erhält ein Modellautor beispielweise vom Informationsbesteller eine Spezifikation (IDS), dass alle IfcBoreholes eine Liste an Eigenschaften haben müssen, können diese allen Objekten, die als IfcBorehole exportiert werden, mithilfe eins Skripts hinzugefügt werden. Somit wird Übertragungsfehler vorgebeugt. Dieses Vorgehen beschränkt sich nicht auf die Eigenschaftsnamen. Ein in der Praxis vorzufindendes Phänomen ist, dass Anforderungen an Eigenschaften in Tabellenform gestellt werden. Diese können ebenfalls als Grundlage zum Erstellen von Eigenschaften verwendet werden.

Nachfolgend werden zwei Techniken zur Qualitätsprüfung innerhalb von Autorenprogrammen gezeigt. Der Vorteil ist, dass kein Export erforderlich ist, und nicht das gesamte Modell wie beim IFC-SPF Dateien geladen werden muss, um ein einzelnes Element zu prüfen. Der Modellautor bekommt direkt im Autorenprogramm eine Rückmeldung und kann somit schnell eine Anpassung vornehmen.

Innerhalb einiger Autorenprogramme lassen sich Eigenschaften über Formeln ermitteln. Diese Funktionalität kann genutzt werden, um Qualitätsprüfungen innerhalb der Autorensoftware durchzuführen. Abbildung 4 zeigt exemplarisch das Interface zur Parameterverwaltung innerhalb einer Familie (Bauteildefinition) in Autodesk Revit. Der Modellautor setzt den Wert für den Parameter *WichteInput*, während der Parameter *IstWichteGueltig* automatisch prüft, ob der gesetzte Wert in einem bestimmten Intervall liegt. Der Wahrheitswert des abgeleiteten Parameters kann dann beispielsweise zur Filterung und Visualisierung von ungültigen Elementen genutzt werden. Die Funktionalität dieser Formeln ist beschränkt, beispielsweise können keine Eigenschaften von anderen Bauteilen (sofern sie nicht verschachtelt sind) referenziert werden.

Ein Bild, das Text, Software, Zahl, Reihe enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung Prüfung eines Wertebereichs in einer Revit-Familie

Eine andere Option sind auch hier individuell programmierte Lösungen. Die Tests können dabei beispielsweise wie in Kapitel 3.3 durchgebildet werden, nur werden Daten aus dem nativen Modell verarbeitet anstelle der IFC-Datei. Die Tests können analog am ganzen Modell stattfinden. Wenn es die Programmierschnittstelle zulässt, bietet sich Ereignisbehandlungsroutinen an. Wird beispielsweise die Änderung einer Objekteigenschaft festgestellt, werden Testroutinen für diese Eigenschaft / dieses Objekt gestartet.

# Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde die automatisierte Qualitätsprüfung des Fachmodells Baugrund adressiert. Es wurden 16 exemplarische Qualitätsmerkmale definiert, die ein breites und praxisnahes Spektrum der Anforderungen an die Inhalte des Fachmodells abbilden. Ein exemplarisches Fachmodell, das mit quelloffener Software nativ im IFC-Format erstellt wurde, wurde mithilfe dieser Anforderungsdefinitionen geprüft. Dabei wurden IDS und eine individuell programmierte Lösung gezeigt. Während mit letztgenannter alle Anforderungen geprüft werden konnten, gibt es bei IDS einige konzeptionelle Einschränkungen. Allerdings kann mit IDS ein Großteil der alphanumerischen Anforderungen abgebildet werden. IDS ist standardisiert, vergleichsweise einfach in der Handhabung und in der Lage das abzubilden, was in der Praxis an Qualitätsanforderungen zu erwarten ist. Die Adaption von IDS in der geotechnischen Praxis ist zu empfehlen. Individuell programmierte Lösungen können ergänzend genutzt werden.

In Kapitel 4 wurden Ideen aus Sicht eines Modellerstellers zusammengestellt, wie die Modellqualität gefördert werden kann. Qualitätsprüfungen während der Modellerstellung, neben der Qualitätsprüfung exportierter Modelle, sind zu empfehlen, da der Korrekturaufwand etwaiger Fehler geringer ist.

In Zukunft ist eine weitere Ausarbeitung der geotechnischen Klassen im IFC-Standard anzustreben. Die IFC-Export-Funktionalitäten, die gängige Autorenprogramme anbieten, sollten weiter verfeinert werden, beispielsweise im Umgang mit Einheiten. Gute Kataloge geotechnischer Eigenschaften, ggf. direkt mit Prüfregeln, können zu zukünftig hochqualitativeren Modellen beitragen. Die Effizient bzw. der erreichbare Automatisierungsgrad in BIM-Prozessen hängt maßgeblich von der Datenqualität ab, daher sollte das Bewusstsein für deren Bedeutung bei allen Beteiligten geschärft werden.

# Literatur

1. Deutsches Institut für Normung e.V.: Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) –Informationsmanagement mit BIM –Teil 1: Begriffe und Grundsätze (ISO 19650-1:2018);Deutsche Fassung EN ISO 19650-1:2018. Beuth Verlag GmbH, Berlin ICS 35.240.67; 91.010.01(DIN EN ISO 19650-1:2019-08) (2019)

2. Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 16739-1:2024-09, Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauwirtschaft und im Anlagenmanagement - Teil 1: Datenschema (ISO\_16739-1:2024); Englische Fassung EN ISO 16739-1:2024. DIN Media GmbH, Berlin 25.040.40, 35.240.67(DIN EN ISO 16739-1) (2024)

3. Molzahn, M., Bauer, J., Henke, S., Tilger, K.: Das Fachmodell Baugrund. Empfehlungen des Arbeitskreises 2.14 der DGGT „Digitalisierung in der Geotechnik“. geotechnik 44(1), 41–51 (2021). doi: 10.1002/gete.202000040

4. Zhou, Y., Ding, L., Rao, Y., Luo, H., Medjdoub, B., Zhong, H.: Formulating project-level building information modeling evaluation framework from the perspectives of organizations: A review. Automation in Construction 81, 44–55 (2017). doi: 10.1016/j.autcon.2017.05.004

5. Lidelöw, S., Engström, S., Samuelson, O.: The promise of BIM? Searching for realized benefits in the Nordic architecture, engineering, construction, and operation industries. Journal of Building Engineering 76, 107067 (2023). doi: 10.1016/j.jobe.2023.107067

6. Molzahn, M., Bauer, J., Henke, S., Tilger, K.: Anwendungsfälle des Fachmodells Baugrund. Empfehlung Nr. 3 des Arbeitskreises 2.14 der DGGT „Digitalisierung in der Geotechnik“. geotechnik (2021). doi: 10.1002/gete.202100026

7. Tomczak, A., Berlo, L.v., Krijnen, T., Borrmann, A., Bolpagni, M.: A review of methods to specify information requirements in digital construction projects. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1101(9), 92024 (2022). doi: 10.1088/1755-1315/1101/9/092024

8. Valinejadshoubi, M., Moselhi, O., Iordanova, I., Valdivieso, F., Shakibabarough, A., Bagchi, A.: The Development of an Automated System for a Quality Evaluation of Engineering BIM Models: A Case Study. Applied Sciences 14(8), 3244 (2024). doi: 10.3390/app14083244

9. Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 9000:2015-11, Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2015); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 9000:2015. DIN Media GmbH, Berlin 01.040.03, 03.100.70, 03.120.10(DIN EN ISO 9000) (2015)

10. Choi, J., Lee, S., Kim, I.: Development of Quality Control Requirements for Improving the Quality of Architectural Design Based on BIM. Applied Sciences 10(20), 7074 (2020). doi: 10.3390/app10207074

11. Hjelseth, E., Nisbet, N.: Overview of concepts for model checking. In: International Council for Research and Innovation in Building and Construction (ed.) 27th W78 Conference "Applications of IT in the AEC Industry", Kario (Ägypten), 16.11. - 19.11.2010 (2010)

12. Hjelseth, E.: Classification of BIM-based model checking concepts. Special issue: CIB W78 2015 Special track on Compliance Checking. ITcon(23), 354–369 (2016)

13. Aydın, M.: A Review of BIM-Based Automated Code Compliance Checking: A Meta-Analysis Research. In: P. Dadios, E. (ed.) Automation and Control - Theories and Applications. IntechOpen (2022)

14. Eastman, C., Lee, J., Jeong, Y., Lee, J.: Automatic rule-based checking of building designs. Automation in Construction 18(8), 1011–1033 (2009). doi: 10.1016/j.autcon.2009.07.002

15. Solihin, W., Eastman, C.: Classification of rules for automated BIM rule checking development. Automation in Construction 53, 69–82 (2015). doi: 10.1016/j.autcon.2015.03.003

16. Weise, M., Liebich, T., Nisbet, N., Benghi, C.: IFC model checking based on mvdXML 1.1. In: Christodoulou, S.E., Scherer, R.J. (eds.) eWork and ebusiness in architecture, engineering and construction. Proceedings of the 11th European Conference on Product and Process Modelling (ECPPM 2016). European Conference on Product and Process Modelling (ECPPM 2016), Limassol (Zypern), 07.09.-09.09.2016. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton (2016)

17. Dene, W.: Parametric modelling in construction: Investigating the quality of rule-based checking. In: Wilde, W.P. de, Mahdjoubi, L., Garrigós, A.G. (eds.) Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations III. BIM 2019, Seville, Spain, 09.10.2019 - 11.10.2019, pp. 57–68. WIT PressSouthampton UK (2019). doi: 10.2495/BIM190061