

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 im IFC-Format durchgeführt, wobei praxisrelevante Aspekte zur Bewertung der Qualität und Wiederverwendbarkeit des geotechnischen Fachmodells entlang konkreter Beispiele herausgearbeitet werden. Dies 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.

1 Einleitung

Der Methode des Building Information Modelling (BIM) kommt eine zentrale Rolle bei der Digitalisierung des Bauwesens zu. Dabei wird der Fachmodellbasierte Ansatz als Best-Practice gesehen, bei dem verschiedene Projektbeteiligte digitale, räumliche und mit Informationen angereicherte Modelle mit ihren spezifischen Inhalten erstellen. Die verschiedenen Fachmodelle werden DIN EN ISO 19650-1 folgend zu einem Koordinationsmodell oder einem Gesamtmodell zusammengeführt. Für den Datenaustausch wird häufig das herstellernerneutrale IFC-Format (*Industry Foundation Classes*) nach DIN EN ISO 16739-1 genutzt. Der zentrale Liefergegenstand und damit auch Planungs- und Dokumentationsmodell der Fachdisziplin Geotechnik ist dabei das Fachmodell (FM) Baugrund. Nach [1] enthält es sämtliche Informationen, die den Baugrund beschreiben, wenngleich es stets in Verbindung mit dem geotechnischen Bericht und als Ergänzung dessen zu sehen ist.

Die Generierung von Mehrwerten innerhalb der BIM-Methode erfolgt entlang von BIM-Anwendungsfällen (AWF). [2] führen eine Auswahl an möglichen AWF für das FM Baugrund an und differenzieren diese dahingehend, ob für die Umsetzung das FM Baugrund

ausreichend ist oder ob weitere Fachmodelle erforderlich sind. In vorgenannter Empfehlung werden die AWF 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 AEF-Umsetzung zu automatisieren. 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 [3, 4]. Diese Workflows sind nur bedingt automatisierbar und skalierbar. 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

2 Qualität von Bauwerksinformationsmodellen

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

2.1 Prüfung von Bauwerksinformationsmodellen

Nachfolgend werden verschiedene Arbeiten betrachtet, 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 [5].

[6] untergliedern die modellbasierte Prüfung in Abhängigkeit von der Intention in vier Gruppen. 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 dem Nutzer basierend auf hinterlegtem Wissen 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, beispielsweise der Normkonformität, stellt einen zentralen Teil der Forschung zur Qualitätsprüfung dar. Derartige automatisierte

Prüfungen finden sich beispielsweise in digitalen Genehmigungsprozessen wieder. [7] unterteilen Modellprüfregeln in vier Klassen anhand ihrer Komplexität und den Anforderungen an die Prüfumgebung und zeigen entsprechende Beispiele.

[4] zeigen eine Checkliste mit 26 Kriterien, mit denen Sie die Qualität von Fachmodellen verschiedener Disziplinen bewerten. 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.

[3] stellen verschiedene Methoden zur Spezifikation von Informationsanforderungen zusammen, führen aus, was mit welcher Methode spezifiziert werden kann, und geben Empfehlung zu passenden Anwendungsszenarien. 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.

2.2 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, sowie fachspezifische Anforderungen und Herausforderungen berücksichtigt werden.

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 IfcPropertySets zur Abbildung und Gruppierung von geotechnischen Eigenschaften extensiv genutzt.

Für die Aufschlussbohrungen werden folgende Anforderungen definiert:

- I. Jedes Objekt der Klasse IfcBorehole verfügt über das PropertySet IfcBoreholeCommon.

- II. Jedes IfcBorehole ist einer IfcSite zugeordnet.
- III. Sämtliche Objekte der Klasse IfcGeotechnicalStratum mit dem benutzerdefinierten ObjectType „ANSPRACHEBEREICH“ sind Teil eines IfcBoreholes. Das Verhältnis „Ganzes-Teil“ wird über IfcRelAggregates beschrieben.
- IV. Die Namen der IfcBoreholes entsprechen folgender Namenskonvention: Die ersten drei Stellen sind „bh_“ gefolgt von drei Ziffern.
- V. Die Namen der IfcBoreholes sind einzigartig.
- VI. Die Namen der Ansprachebereiche entsprechen denen der zugehörigen IfcBoreholes, gefolgt von einem Unterstrich und drei Ziffern.
- VII. Die Abstände der Bohrungen (Bohr raster) entsprechen den Empfehlungen aus DIN EN 1997-2 Anlage B3.
- VIII. Jeder Ansprachebereich wird als zylindrische Geometrie mit einem Durchmesser von einem Meter geometrisch repräsentiert.
- IX. Die Abweichung des Ansatzpunkts einer Bohrung zum Digitalen Geländemodell darf maximal 50 cm betragen.

An das Subfachmodell Baugrundsichten werden folgende Anforderungen gestellt:

- X. Werte für die CohesionBehaviour im Propertyset Pset_SolidStratumCapacity liegen im Intervall zwischen 0 und 1000 kN/m².
- XI. Wird ein Reibungswinkel für ein Element mit dem Material „Sand“ angegeben, so liegt er zwischen 27,5° und 37,5°.
- XII. Die Farben der Materialien, die für die Baugrundsichten genutzt werden, entsprechen den Vorgaben aus DIN 4023.
- XIII. Die Wichte unter Auftrieb ist in kg pro m³ anzugeben.
- XIV. 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:

- XV. Die Nominalwerte sämtlicher Eigenschaften mit Grenzwerten müssen innerhalb dieser Grenzen liegen.
- XVI. Die Dateigröße darf 10 MB nicht überschreiten.

3 Prüfung der Qualität des Fachmodells 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 Baugrundsichten. Abbildung 1 zeigt

die simple Baugrundsichtengeometrie des verwendeten Beispielprojekts.

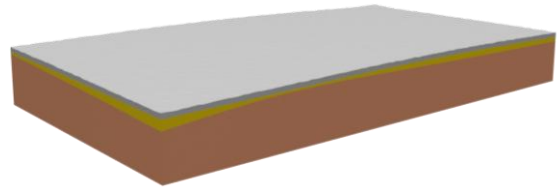


Abbildung 1 Subfachmodell Baugrundsichten

Die Modellerstellung erfolgt ausgehend von den Bohrdaten skriptbasiert und nativ im IFC-Format (IFC4X3_ADD2). Hierfür wird die Python-Bibliothek ifcopenshell (v. 0.8.0) genutzt. 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 (v. 4.2) genutzt. 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.

3.1 Information Delivery Specification (IDS)

Information Delivery Specification (IDS) ist ein offenes Beschreibungsformat, das 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 Menschen 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 2 dargestellt. Die Dreiteilung in Description, Applicability und Requirements spiegelt ist in dem XML-Auszug wider. Im Abschnitt Applicability werden zwei Facets, je eins vom Typ Entity und Attribut, zur Filterung der Modellinhalte verwendet. Im Tag Applicability wird die Kardinalität über minOccurs und maxOccurs festgelegt. Die Kombination, die im Beispiel abgebildet ist, ist als „Das Modell kann (optional) Elemente enthalten, die die Filter passieren“ zu verstehen. 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.

```
</ids:specification>
<ids:specification ifcVersion="IFC4X3_ADD2"
name="Modellaufbau_Borehole_GeotechnicalStratum" description="Ein
IfcBorehole dient als Container für verschiedene
IfcGeotechnicalStratum. IfcBorehole beschreibt die Bohrung als
Ganzes, wohin IfcGeotechnicalStratum zur Repräsentation von
Ansprachebereichen verwendet wird." instructions="Der Modellaufbau
ist durch den Fachplaner für Geotechnik sicherzustellen.">
  <ids:applicability minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
    <ids:entity>
      <ids:name>
        <ids:simpleValue>IFCGEOTECHNICALSTRATUM</ids:simpleValue>
      </ids:name>
    </ids:entity>
    <ids:attribute>
      <ids:name>
        <ids:simpleValue>ObjectType</ids:simpleValue>
      </ids:name>
      <ids:value>
        <ids:simpleValue>ANSPRACHEBEREICH</ids:simpleValue>
      </ids:value>
    </ids:attribute>
  </ids:applicability>
  <ids:requirements>
    <ids:partOf relation="IFCRELAGGREGATES" cardinality="required">
      <ids:entity>
        <ids:name>
          <ids:simpleValue>IFCBOREHOLE</ids:simpleValue>
        </ids:name>
      </ids:entity>
    </ids:partOf>
  </ids:requirements>
</ids:specification>
```

Abbildung 2 Beispielhafte Spezifikation (IDS)

Das Prüfen des Fachmodells an der IFC-Datei erfolgt mit dem Python-Modul IFC-Tester (Version 0.8.0). Der Testbericht 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 der Test erfolgreich war. Falls ein Test nicht erfolgreich war, wird zudem der Grund angeführt.

Mithilfe von IDS können viele Informationen aus IFC-Modellen geprüft werden, da mithilfe der sechs Facet-Typen wesentliche Teile der gängigen alphanumerischen Modellinhalte 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 verbundenen Anforderungen nicht prüfbar. Auch die Einzigartigkeit der Namen und die Dateigröße können nicht geprüft werden.

3.2 Individuallösung

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 zusammen mit ifcopenshell verwendet. Somit können Funktionen, die das Modul bietet, wie die automatisierte Durchführung der Tests und die Formatierung der Testergebnisse mit vorgebbarem Detailgrad genutzt werden.

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 einem 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, gefiltert. 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, denn mithilfe gerader Netzkanten kann keine kreisförmige Grundfläche abgebildet werden. Entsprechend kann die geometrische Qualität dann nur dahingehend beurteilt werden, ab wann die Approximation ausreichend zylindrisch ist. Je feiner das Netz ist, desto besser kann die Geometrie abgebildet werden, was allerdings zu Lasten der Dateigröße und der Modellperformance geht. Im vorliegenden Fachmodell sind die Geometrien der Ansprachebereiche als Kreisprofil, das extrudiert wird, festgelegt. Neben dem reinen Prüfen, ob der Durchmesser einen bestimmten Wert aufweist, kann im gleichen Schritt der Durchmesser auch auf den Soll-Wert gesetzt werden. Beim Verarbeiten von der Geometrierepräsentation hin zum Profil ist es dann auch unerheblich, ein Kreisprofil global, je Bohrung oder je Ansprachebereich 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 die Darstellungsdurchmesser der Bohrungen nicht elementweise eingestellt werden.

4 Ideen zur Förderung der Modellqualität im Modellierungsprozess

Nachdem nun ein Überblick über verschiedene Facetten der Qualität des Fachmodells Baugrund vorliegt 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 und projektspezifisch ergänzt werden. Projektübergreifende Anforderungen fördern die Einheitlichkeit von Struktur und Inhalt der innerhalb einer Organisation erstellten Modelle, was der Automatisierung von internen AWF – 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 von der Modellierweise abhängt.

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.

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, parametrische Geometriebeschreibungen und Vorgabewerten in den Instanzen dieser Definition.

```
class TestBoreholes(unittest.TestCase):
    def test_relationship_ifcgeotechnicalstratum_ifcborehole(self):
        """III. Modellaufbau IFC Boreholes, siehe Schriftbeitrag Kap. 2.2"""
        elems = ifcopenshell.util.selector.filter_elements(model, "IfcGeotechnicalStratum, ObjectType=ANSPRACHEBEREICH")
        for elem in elems:
            with self.subTest(elem=elem):
                self.assertTrue(any((i.RelatingObject.is_a("IfcBorehole") and i.is_a("IfcRelAggregates")) for i in elem.Decomposes))
```

Abbildung 3 Beispielhafter Test in Python

IDS-Dateien können ebenfalls zum Anlegen von Eigenschaften in Autorenprogrammen verwendet werden. 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.

Bei der Qualitätsprüfung innerhalb von Autorenprogrammen ist kein Export erforderlich und es muss nicht das gesamte Modell geladen werden, um ein einzelnes Element zu prüfen. Der Modellautor bekommt direkt im Autorenprogramm eine Rückmeldung und kann somit schnell eine Anpassung vornehmen. Die Eigenschaftsdefinition über Formeln kann genutzt werden, um Qualitätsprüfungen innerhalb der Autorensoftware durchzuführen, sofern das Programm dieses Feature bereitstellt. 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 referenziert werden. Eine andere Option sind auch hier individuell programmierte Lösungen.

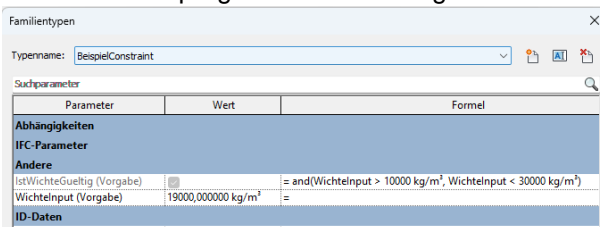


Abbildung 4 Prüfung eines Wertebereichs in einer Revit-Familie

5 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 quell-offener 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 alpha-numerischen 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 qualitativ höherwertigeren Modellen beitragen. Die Effizienz 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.

6 Literatur

1. 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).
2. 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).
3. 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)
4. 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).
5. 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).
6. Hjelseth, E.: Classification of BIM-based model checking concepts. Special issue: CIB W78 2015 Special track on Compliance Checking. *ITcon*(23), 354–369 (2016)
7. Solihin, W., Eastman, C.: Classification of rules for automated BIM rule checking development. *Automation in Construction* 53, 69–82 (2015).