**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.

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

# 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.

IFC-Dateien 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 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.

IDEEN:

* Kohäsion darf nicht negative sein / in einem bestimmten Intervall
* Namenskonvention der Bohrungen
* Baugrundschichtenelemente sollen als IfcGeotechncialStratum klassifiziert sein. Dabei ist als predefined type SOLID zu wählen
* Als Schema ist IFC4x3 zu wählen
* Jedes IFCBorehole soll das PropertySet IfcBoreholeCommon haben
* Abstände der Bohrungen sollen den Empfehlungen nach EC7 entsprechen
* Jedem IfcGeotechnicalStratum ist ein Material zugewiesen
* Die Farben des Material entsprechen DIN4023
* Darstellung Durchmesser der Bohrungen

# Prüfung der Qualität des Fachmodells Baugrund

Die Nachteile der selbst programmierten Lösung: (siehe Tomczak und Eastman)

# Förderung der Modellqualität im Modellierungsprozess

# Fazit und Ausblick

# Literatur

Automatic compliance checking of BIM models against quality standards based on ontology technology

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580524003923

Gade, P. N., Lauritzen, D. H., Andersen, M. & Hjelseth, E. (2022). How Practice Is Represented in BIM-Based Model Checking Research – A Literature Review and Reflections. Conference: European Conference on Product and Process Modeling.

Gade, P. N. & Svidt, K. (2021). Exploration of practitioner experiences of flexibility and transparency to improve BIM-based model checking systems. Journal of Information Technology in Construction, 26, 1041–1060. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.055>

References

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