

31. Mai 2023

Forschungsprojekt

Digitalisierung der Musterbauordnung (MBO)
Aufbereitung der MBO für BIM-basierte Prüfwerkzeuge
Abschlussbericht

Projektlaufzeit

15. Juni 2021 bis 31. Mai 2023

Berichtszeitraum

-

Geschäftszeichen

P 52-5-19.94-2078.21

Auftraggeber

Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstr. 30 B
10829 Berlin

bearbeitet von

Prof. Dr.-Ing. Markus König, Ruhr-Universität Bochum, Bochum
Marcel Stepien, M. Sc., Ruhr-Universität Bochum, Bochum
Angelina Aziz, M. Eng., Ruhr-Universität Bochum, Bochum
André Vonthron, M. Sc., Ruhr-Universität Bochum, Bochum
Nicolai Schulz-Witte, Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, Hamburg
Thorsten Walter, Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, Hamburg
Andreas Kohlhaas, Dipl. Phys., GSP Network GmbH, Hamburg
Sarah Polay, M. A. (Arch.), GSP Network GmbH, Hamburg

Abschlussbericht

Absender (Auftragnehmer oder Zuwendungsempfänger)

Name: Prof. Dr.-Ing. Markus König

Straße: Universitätsstr. 150

Ort: 44780 Bochum

Tel.: + 49 (234) 32-23047

E-Mail: koenig@inf.bi.rub.de

Vertrag / Zuwendung (nicht Zutreffendes bitte streichen)

Forschungsprogramm	Ein Forschungsprogramm im Rahmen der Zulassungsstelle für Bauprodukte und Bauarten Bautechnisches Prüfamt
Auftraggeber:	Deutschen Institution für Bautechnik (DIBt)
Projekt / Thema:	Digitalisierung der Musterbauordnung (MBO) Aufbereitung der MBO für BIM-basierte Prüfwerkzeuge
Geschäftszeichen	P 52-5-19.94-2078.21
Bearbeiter im DIBt	Frau K. Leibrich
Laufzeit	22 Monate; von 06/2021 – 05/2023

Inhalt

1	Einleitung.....	1
1.1	Durchgeführte Arbeitsschritte laut Arbeitsplan.....	2
1.2	Projektkoordination	3
1.3	Vereinbarter Wertschöpfungsprozess im Projekt.....	7
2	Anforderungsanalyse.....	9
2.1	Bauwerksmodelle als Grundlage für die Digitalisierung der MBO	9
2.1.1	Semantische Information im Bauwerksmodell	9
2.1.2	Geometrische Informationen im Bauwerksmodell	10
2.2	Ganzheitliche Analyse der Vorgaben aus der Musterbauordnung	10
2.2.1	Gebäudeklasse.....	11
2.2.2	Nutzungseinheiten und deren Raumbezug.....	11
2.2.3	Bruttogrundfläche und Nettoraumfläche	12
2.2.4	Brandschutzanforderungen für das Genehmigungsverfahren.....	12
2.2.5	Linked Data Aspekt der Musterbauordnung.....	12
2.3	Sichtung von weiteren Vorgaben aus zusätzlichen Normen, Richtlinien und Forschungsbeiträgen	12
2.4	Anforderungen an die MBO für die Umsetzung konformer Prüfregele.....	14
2.5	Anforderungen an Prüfsoftware, Regelsprache und Format.....	15
2.5.1	Definition der formalen Prüfung	16
2.5.2	Definition der fachlichen Prüfung	16
2.5.3	Regelsprachen zur Formalisierung von Prüfregele	16
2.5.4	Regelbasierte Modellprüfung in Autorensoftware	17
2.6	Potentiale zur Anbindung offener Standards.....	17
2.6.1	Relevante offene Standards für Modellierung und Planung.....	18
2.6.2	Relevante offene Standards für Prüfung und Attribuierung	19
3	Projektergebnisse.....	25
3.1	Zusammenstellung der Modellierungsrichtlinie	26
3.2	Umsetzung eines Modelldemonstrators.....	29
3.3	Regelbasierte Modellprüfung zur Feststellung der Normen-Konformität.....	33
3.3.1	Bewertung der Vorgaben bezüglich Normen-Konformität.....	33
3.4	Regelbasierte Modellprüfung zur Feststellung der Modell-Qualität	34
3.4.1	Bewertung der Vorgaben bezüglich der Gebäudeklasse	34
3.4.2	Bewertung der Vorgaben bezüglich des Brandschutzes	37
3.4.3	Bewertung der Vorgaben bezüglich Trennwände.....	42
3.4.4	Bewertung der Vorgaben bezüglich Rettungswegen.....	44

3.5	Kommentar zu den Herausforderungen und Handlungsempfehlungen.....	48
3.6	Prototypische Entwicklung der Prüfvorgänge.....	50
3.6.1	Konventionelle Prüfung durch manuelle Programmierung	50
3.6.2	Automatisierte Ableitung von Vorlagen-Dateien zu offenen Prüfregele-Formaten.....	51
3.6.3	Entwicklung einer Bibliothek zur fachlichen Prüfung in OpenBimRL.....	52
3.6.4	Anwendung der Prüfung in einen prototypischen Viewer.....	54
3.7	Umfang der durchgeführten MBO Digitalisierung	55
3.7.1	Finaler Stand der Umsetzung von Vorgaben der MBO zu den Anforderungen der MRL 55	
3.7.2	Finaler Stand der Umsetzung von Anforderungen der MRL zu den Prüfregele-Formaten.....	56
4	Zusammenfassung und Ausblick	57
4.1	Übertragung der Vorgänge auf die Landesbauordnungen	57
4.2	Notwendigkeit einer zentralen Pflegestelle	57
4.3	Integration der Projektergebnisse in BIM Deutschland	57
4.4	buildingSMART Vorstandardisierung für VDI und ISO.....	58
4.4.1	buildingSMART Projektgruppe DigiMBO.....	58
4.4.2	buildingSMART Use Case Management DigiMBO	59
4.4.3	Georeferenzierung, Modellierungsrichtlinie und Workflow	59
5	Danksagung	60
6	Literatur.....	61
Anhang A	Modellierungsrichtlinie (MRL).....	64
Anhang B	Handlungsempfehlungen	64
Anhang C	Prüfregele-Formaten und Vorlagen	65
Anhang D	Entwurfsansichten des finalen Mustermodells.....	68

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Interner Wertschöpfungsprozess im Projekt MBO2BIM	8
Abbildung 2 Unterschiedliche semantische Ausprägungen für Bauteile (hier Wand und Tür) zur Darstellung des Level of Information (LOI).....	9
Abbildung 3 Unterschiedliche Abstraktionsebenen für ein Bauteil (hier Treppe) auf einer Skala für Level of Geometry (LOG)	10
Abbildung 4 Raum-Objekte und ihr Bezug zur Fläche, als Kontaktfläche zwischen den Objekten und unter Berücksichtigung der Lage	11
Abbildung 5 Glossar für Begriffe und Abhängigkeiten der Gebäudeklasse nach MBO §2.....	15
Abbildung 6 Gebäudemodell verortet auf dem XPlanung Bebauungsplan	19
Abbildung 7 Schematisierung der MVD	20
Abbildung 8 Basis Konzeptgrafik zum Anwendungsbereich der IDS.....	21
Abbildung 9 Veranschaulichung der Komponenten, aus denen OpenBIMRL besteht	22
Abbildung 10 Abfolge des Prüfvorgangs mit OpenBIMRL.....	23
Abbildung 11 Einfaches Triple-Beispiel wie es in RDF vorkommt	23
Abbildung 12 Konzeptgrafik für die Durchführung einer Digitalisierung von Richtlinien, hier anhand der MBO	25
Abbildung 13 Die Modellierungsrichtlinie (MRL) als Katalog mit Vorgaben aus der MBO	26
Abbildung 14 Begrifflichkeiten und Anforderungen in der MBO (links) und ihr Vorkommen in der MRL (rechts)	27
Abbildung 15 Auszug einer erstellen Auftraggeber-Informationsanforderung für die MBO bei der Genehmigungsplanung	28
Abbildung 16 Konzept der Entwicklung des Mustermodells	29
Abbildung 17 Historie mit fortlaufendem Entwurf, vom ersten Entwurfsmodell (links), zum aktuellen BIM-Modell (Mitte) und als Koordinationsmodell mit der Freiraumplanung (rechts)	29
Abbildung 18 Übersicht zu den einzelnen Geschossen.....	30
Abbildung 19 Vorderansicht von Straßenseite des finalen Mustergebäude	31
Abbildung 20 Wichtige ermittelte Kennwerte des Gebäudes.....	32
Abbildung 21 Prüfung der MBO-Anforderungen an den Rettungsweg für Türen durch MVD in Werkzeugen wie dem Xbim XPlorer	34
Abbildung 22 Nassi-Shneiderman Diagramm zum Prüfablauf der Gebäudeklasse	35
Abbildung 23 Protokoll der fachlichen Prüfung für die Bestimmung der Gebäudeklasse.....	37
Abbildung 24 Auszug aus der DIN 4102-2 mit einer Auflistung der Feuerwiderstandsklassen für Bauteile	38
Abbildung 25 Formalisierter Prüfablauf für die Untersuchung der zugewiesenen Feuerwiderstandseigenschaften	40
Abbildung 26 Ausschnitt der Vorberechnung für die Prüfung von Feuerwiderstandsfähigkeit einzelner Bauteile.....	41
Abbildung 27 Prüfung des Feuerwiderstandsfähigkeit für GK5 mit detektierten Fehlern der Attribuierung	41
Abbildung 28 Darstellung der Trennwände zwischen Nutzungseinheiten im 2.OG	42
Abbildung 29 Darstellung von überschneidenden Wand-Objekten	43
Abbildung 30 Darstellung einer fehlenden Partitionierung bei Trennwänden.....	44
Abbildung 31 Modellierter Fluchtwege als Annotation im IFC-Modell.....	45
Abbildung 32 Generischer Prüfablauf zur Extraktion der Fluchtweglängen in OpenBIMRL.....	46
Abbildung 33 Berechnung eines Geschoss-abdeckenden Graphen (grün = nahe Ausgang, rot = zunehmende Entfernung).....	46

Abbildung 34 Ermittelte Fluchtwege durch Graphen-Suche kürzester Pfade mit geringer Genauigkeit	47
Abbildung 35 Ermittelte Fluchtwege durch Graphen-Suche kürzester Pfade mit hoher Genauigkeit (nur Pfade)	47
Abbildung 36 Die Musterbauordnung als „Fassade“ hinter welcher sich weitere Normen und Richtlinien verbergen	49
Abbildung 37 Skala der Umsetzbarkeit von Anforderungen der Musterbauordnung durch PrüfregeIn	50
Abbildung 38 Erste formale Prüfung umgesetzt mit der Programmierschnittstelle in DESITE BIM	51
Abbildung 39 Das OpenBIMRL-CreatorTool zum benutzerfreundlichen Erstellen einzelner fachlicher Regeln	52
Abbildung 40 Kalkulation der Kontaktflächen als Beispiel für die geometrische Prüfung.....	54
Abbildung 41 Übersetzung der Vorgaben der Musterbauordnung in die Anforderungen der Modellierungsrichtlinie	55
Abbildung 42 Umfang der implementierten PrüfregeIn/-abläufe	56
Abbildung 43 Vorberechnungsgraph der OpenBIMRL Regel für die Bestimmung der Gebäudeklasse	65
Abbildung 44 OpenBIMRL Prüfablauf für die Ermittlung der Gebäudeklasse 4	66
Abbildung 45 OpenBIMRL Prüfablauf für die Ermittlung der Gebäudeklasse 5	67
Abbildung 46 Mustermodell, Tiefgarage und Kellerräume.....	68
Abbildung 47 Mustermodell, Erdgeschoss mit Gewerbeflächen	69
Abbildung 48 Mustermodell, erste Obergeschoss mit Büroflächen	69
Abbildung 49 Mustermodell, zweites Obergeschoss mit Wohnungen.....	70
Abbildung 50 Mustermodell, drittes Obergeschoss mit Wohnungen	70
Abbildung 51 Mustermodell, Staffelgeschoss mit begehbareR Dachterrasse.....	70

1 Einleitung

Im Rahmen des Projektes wurden einheitliche Grundlagen für die automatisierte Prüfung bauordnungsrechtlicher Anforderungen der Musterbauordnung (MBO) unter Verwendung von digitalen Bauwerksmodellen (BIM-Modellen) erarbeitet. Dadurch sollen in Zukunft Baugenehmigungsverfahren beschleunigt und aufwendige Konvertierungen von BIM-Modellen in konventionelle 2D-Pläne vermieden werden.

Das Forschungsprojekt wurde von einem Arbeitskreis der Fachkommission Bauaufsicht begleitet. Im Rahmen des Expertenkreises wurden regelmäßig Workshops durchgeführt, um die aktuellen Zwischenergebnisse zu kommunizieren, kritisch zu diskutieren und Mitwirkung der bauaufsichtlichen Praxis aus den Bundesländern zu organisieren.

Die MBO wurde hinsichtlich der Möglichkeit einer automatischen Prüfung unter Verwendung von BIM-Modellen analysiert und nach formalen Ordnungsaspekten für eine IT-technische Bearbeitung strukturiert. Die Teile 1, 2 und 3.4 bis 3.7 der MBO sind anhand von BIM-Modellen prinzipiell prüfbar. Für die identifizierten Teile wurden wesentliche Anforderungen an die Struktur und die Inhalte der BIM-Modelle herausgearbeitet. Denn nur, wenn die BIM-Modelle einheitlich aufgebaut werden, kann eine automatisierte Prüfung erfolgen. Zur Evaluation der Ergebnisse wurde ein Mustergebäude als BIM-Modell erstellt. Im Fokus der ersten Evaluierung stand die Prüfung der Gebäudeklasse. Hierzu wurden konkrete digitale Prüfregeln erarbeitet und prototypisch umgesetzt.

Ein weiterer Schwerpunkt des Projektes war es, die digitalen Prüfregeln der MBO in einem offenen und verständlichen Format darzustellen und zu veröffentlichen. Hierzu wurden Anforderungen an das Datenformat spezifiziert und eine erste Version erarbeitet. Das Datenformat wurde anschließend evaluiert. Hierzu ist auch ein Austausch mit buildingSMART Deutschland e.V. (bsD) gestartet worden, der durch die Einrichtung einer Projektgruppe bei bsD intensiviert wurde, wodurch Zwischenergebnisse auf dem 20. buildingSMART Anwendertag, am 10. Mai 2023, in Stuttgart vorgestellt werden konnten.

Für die Demonstration der Konzepte, Prüfung der Informationsanforderungen und Ausführung von digitalen Prüfregeln wurde ein offener Software-Prototyp entwickelt.

Die Ergebnisse des Projektes werden in diesem Forschungsbericht öffentlich zugänglich gemacht. Der Forschungsbericht umfasst auch Hinweise zur Strukturierung zukünftiger Versionen der MBO, damit diese einfach und konsistent in digitale Prüfregeln überführt werden können. Zusätzlich werden die Vorgaben zur Erstellung von BIM-Modellen zur Prüfung von bauordnungsrechtlichen Anforderungen in einer Modellierungsrichtlinie mit digitalen Objektvorlagen zur Nutzung bereitgestellt. Die erarbeiteten digitalen Prüfregeln werden dokumentiert und zum Download angeboten, damit diese in Zukunft einheitlich und transparent verwendet werden können.

1.1 Durchgeführte Arbeitsschritte laut Arbeitsplan

Der Arbeitsplan gliederte sich in fünf Arbeitspakete (AP). Die gesamten Arbeiten wurden intensiv durch eine Gruppe aus Experten der Bauaufsichtsbehörden der Länder begleitet. Die Experten trafen sich in regelmäßigen Abständen und unterstützten den Forschungsnehmer bei der fachlichen Ausarbeitung der Prüfregele. Auf die Bildung eines weiteren Gremiums wurde bewusst verzichtet, um eine Mehrfachbelastung der Teilnehmenden zu vermeiden. Um die Absicht zu verwirklichen, die Arbeiten möglichst transparent zu gestalten, wurde in der 331. Sitzung der Fachkommission Bauaufsicht, vom 23. - 24. November 2022, über den Stand der Arbeiten im Projekt an die Vertreterinnen und Vertretern aller Bundesländer und des Bundes berichtet.

Für die weitere Öffentlichkeitsarbeit und Verbreitung der Erkenntnisse wurde eine Kooperation mit buildingSMART Deutschland (bSD) umgesetzt. Dazu wurde in der Struktur von bSD eine Projektgruppe „Digitalisierung der Musterbauordnung“¹ gegründet. In diesem Rahmen fanden zwei Veranstaltungen im Format eines Round-Table statt, um mit der Fachöffentlichkeit in den Austausch zu kommen. Außerdem konnte der buildingSMART Anwendertag am 9. und 10. Mai 2023, in Stuttgart genutzt werden, um einen Zwischenstand der Ergebnisse zu präsentieren, was auf großes Interesse gestoßen ist und dort mit weiteren Expertinnen und Experten aus öffentlichen Verwaltungen, Wirtschaft, Forschung und Politik diskutiert werden konnte.

Zusätzlich wurde eine Webseite² aufgebaut, die über das Forschungsprojekt und die erzielten Ergebnisse berichten und die das Teilen der Ergebnisse ermöglichen und für den praktischen Einsatz nutzbar machen. Die einzelnen Arbeitspakete werden im Folgenden näher erläutert:

Forschungsabschnitt	Leistungsbeschreibung
AP1	Analyse und Kategorisierung der Musterbauordnung: Nach dem Aufbau einer Arbeitsgruppe aus Experten der Bauaufsicht werden die Vorschriften der Musterbauordnung hinsichtlich der Möglichkeit einer automatischen Prüfung unter Verwendung von BIM-Modellen analysiert und formalisiert.
AP2	Informationsanforderung an BIM-Modelle: Für die einzelnen Prüfregele wird definiert, welche Informationen auf welche Art und Weise in einem BIM-Modell zur Verfügunggestellt werden sollen. Diese Modellierungsvorgaben werden anhand von exemplarischen BIM-Modellen bzw. BIM-Teilmodellen erläutert.
AP3	Generierung von maschinenlesbaren Regeln und Anfragen: Die menschenlesbaren Prüfregele werden in ein maschinenlesbares Datenformat überführt. Zusätzlich werden Abfragen definiert, um die Informationen einheitlich aus den BIM-Modellen extrahieren zu können. Die Regeln und Anfragen werden mit Hilfe von offenen Standards umgesetzt.
AP4	Prototypische Realisierung eines Prüfwerkzeuges: Damit die Prüfregele und Anfragen evaluiert werden können, wird eine prototypische Implementierung von ausgewählten Prüfregele vorgenommen. Für das Prüfwerkzeug wird ein Lastenheft mit einzelnen Funktionen erarbeitet.
AP5	Beispiele und Evaluierung: Für die praxisnahe Evaluierung werden zum einen Beispielmodelle im IFC-Datenformat erstellt und zum anderen ein BIM-Modell von einem realen Bauprojekt entsprechend den Vorgaben angepasst. Die Evaluierung wird durch die Experten vorgenommen und dokumentiert.

Tabelle 1 Forschungsabschnitte im Projekt MBO2BIM

¹ Projektgruppe Digitalisierung der Musterbauordnung, online unter: <http://www.bsde-tech.de/mitarbeiten/projektgruppen/pg-digimbo/>, (zuletzt geprüft am 30.05.2023)

² Webseite des Forschungsprojekts MBO2BIM, online unter: <https://mbo2bim.de/>, (zuletzt geprüft am 30.05.2023)

1.2 Projektkoordination

<u>Treffen</u>	<u>Thema</u>	<u>Datum</u>	<u>Ort</u>
1. Workshop	Koordination und Vorprojekte	12.09.2020	Webkonferenz
2. Workshop	Kick-off Veranstaltung digiMBO/MBO2BIM	12.09.2020	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Aufbau einer Arbeitsgruppe, Teilnehmer	30.09.2020	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Kick-Off Workshop, Agenda	21.10.2020	Webkonferenz
Regeltermin Koordination		02.11.2020	Webkonferenz
Kick-Off Workshop		04.11.2020	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Ergebnisse zusammenfassen Kick-Off Workshop	11.11.2020	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Erstellung einer Liste Begriffserklärung Gebäudeklasse	24.11.2020	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Impulsvortrag der GSP – Gebäudeklassen	18.02.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Vorbereitung 7. bS Plenartag	26.02.2021	Webkonferenz
7. buildingSMART Plenartag	Round Table - Digitalisierung der Musterbauordnung	08.03.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Follow Up Plenartag, Austausch Fachgruppe Brandschutz	11.03.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Roundtable DigiMBO, aktueller Stand Gebäudeklassen	24.03.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Anforderungen an ein Mustermodell, Vorbereitung Round Table	07.04.2021	Webkonferenz
bS Roundtable - DigiMBO	buildingSMART Roundtable "Digitalisierung der Musterbauordnung"	09.04.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Vorbereitung 3. Workshop	14.04.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Bewerbung Roundtable DigiMBO	21.04.2021	Webkonferenz
3. Workshop	Vorgang der Analyse der MBO-Paragrafen und Konzept zur technischen Umsetzung	22.04.2021	Webkonferenz
buildingSMART-Roundtable	"Digitalisierung der Musterbauordnung" Vorstellung des Forschungsprojekts, PG	28.04.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Mustermodell Update, Software	05.05.2021	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Nullpunktskörper, Georeferenzierung, mittlere Geländehöhe, Kontrollkörper	10.05.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Interne Prozesse und Datenaustausch	19.05.2021	Webkonferenz
buildingSMART Fachgruppe Brandschutz	Vorstellung bei der Fachgruppe zum fachlichen Austausch	19.05.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Beschaffung BIM*Q, zusätzlicher Regeltermin Modellierungstreffen	02.06.2021	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Anpassungen des Muster Bauwerksmodells an die Anforderungen der MBO	09.06.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Organization Workshops, Status Roundtable, Update BIM*Q	16.06.2021	Webkonferenz
bS Fachgruppe Brandschutz	Teilnahme zur Erkundung gemeinsamer Ziele in der Attribuierung, VDI-Blätter 2552	16.06.2021	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Anpassungen des Muster Bauwerksmodells an die Anforderungen der MBO	23.06.2021	Webkonferenz

Regeltermin Koordination	Organisation bS Arbeitskreis, Workshops	30.06.2021	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Anpassungen des Muster Bauwerksmodells an die Anforderungen der MBO	07.07.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination - Horizon Europe Call	Horizon Europe Call, Update BIM*Q	14.07.2021	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Anpassungen des Muster Bauwerksmodells an die Anforderungen der MBO	21.07.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Erarbeitung Workflow interner Datenaustausch, Verantwortlichkeiten	11.08.2021	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Anpassungen des Muster Bauwerksmodells an die Anforderungen der MBO	18.08.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Vorstellung RUB Template Manager, aktueller Stand des Prozessdiagramms	25.08.2021	Webkonferenz
Itebo Bauaufsicht	Fachlicher Austausch zum Thema digitale Baugenehmigung und Digitalisierung	01.09.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Anfrage an HPP für direkten Austausch, Besprechung Folienentwurf für Arbeitstreffen	08.09.2021	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Entwicklung einer Datenstruktur zu der Prozesslandkarte, Liefergegenstände	15.09.2021	Webkonferenz
AEC3 Softwareschulung	BIM*Q Basisschulung für die Erstellung der Vorlagendateien und Prüfsätze	20.09.2021	Webkonferenz
4. Workshop	Erste Prüfung und prototypische Umsetzung anhand der Gebäudeklasse	22.09.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Aktueller Stand BIM*Q und Gebäudemodellierung	06.10.2021	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Anpassungen des Muster Bauwerksmodells an die Anforderungen der MBO	13.10.2021	Webkonferenz
8. buildingSMART Plenartag	Vorstellung der Fortschritte beim Projekt MBO2BIM	14.10.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Antrag RT Digitalisierung der MBO	20.10.2021	Webkonferenz
bS Fachgruppe Landschaftsarchitektur	Klassenkataloge Landschaft-Freianlage	26.10.2021	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Anpassungen des Muster Bauwerksmodells an die Anforderungen der MBO	27.10.2021	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Anpassungen des Muster Bauwerksmodells an die Anforderungen der MBO	11.11.2021	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Prüfung Gebäudeklasse, Raumüberschneidungen im BIM-BIM-Modell	17.11.2021	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Anpassungen des Muster Bauwerksmodells an die Anforderungen der MBO	24.11.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Prüfabläufe, Zwischenbericht, Abstandsflächen	01.12.2021	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Vergleich versch. Darstellung von Räumen in den gängigen Autorensystemen	08.12.2021	Webkonferenz
Austausch RUB / BSW Hamburg / hpp Berlin	Vergleich der Anforderungen Brandschutz bzgl. Bauteile und Baustoffe, Bauordnung	09.12.2021	Webkonferenz
VDI 2552 Brandschutz 11.6	Arbeitsstand des VDI-Blattes und Vergleich der Anforderungen, Prozesse und Ziele	14.12.2021	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Umsetzung der Freiraumplanung, definierte Anforderungen, Autorensystem	22.12.2021	Webkonferenz

Regeltermin Koordination	Anforderung an Bauteile und Baustoffe der MBO	22.12.2021	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Gliederung des Zwischenberichts	19.01.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	MBO Themen Abdeckung	02.02.2022	Webkonferenz
bS Fachgruppe Brandschutz	Attribuierung und Brandschutzeigenschaften des VIB, Prozessmodell	02.02.2022	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Projektstatus und Verknüpfung mit XBau, XPlanung	07.02.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	MRL - Georeferenzierung, Brandschutz-Modellierung	16.02.2022	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	DGM des LGV einarbeiten, und Anpassungen an die Attribute der MBI	23.02.2022	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Überprüfung der Ergebnisse im Muster Bauwerksmodell und Abgleich	09.03.2022	Webkonferenz
5. Workshop	Vorgang zur fachlichen Prüfung und Fortschritt bei der Modellierungsrichtlinie	25.03.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Fortschritt Excel-Liste Umsetzung MBO	30.03.2022	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Synchronisierung der Attribute und Zuarbeiten, Ausrichtung der Sprints	20.04.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Excel-Liste Umsetzung MBO, Vorstellung GSP Attributvorlage BIM*Q	27.04.2022	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Aufteilung der Fachmodelle MBO und FRL, Bauteiltypen und Geometrien, Georef.	09.05.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Vorstellung GSP Desite BIM Prüfregelein	11.05.2022	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Anpassungen des Muster Bauwerksmodells an die Anforderungen der MBO	25.07.2022	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	FHH Garagenverordnung, Sprint 2: Brandschutz, Sprint 3: Fluchtweg	01.06.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Trennwände, Update Modellierungsrichtlinie	08.06.2022	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Liste offener Punkte gegen MBO, Vorstellung OpenBIMRL	15.06.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Vorstellung GSP Modell Update, Agenda Termin Brandschutzplaner	22.06.2022	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Fachlicher Austausch mit den Brandschutzplanern	29.06.2022	Webkonferenz
Austausch RUB / BSW Hamburg / hppBerlin	MBO-Trennwände. MGaragenO §9, Wände im Kellergeschoss	30.06.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Nachbesprechung Termin Brandschutzplaner, Update MRL	06.07.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Abstimmung Georeferenzierung, Anfrage Brandschutzplaner	20.07.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Zwischenstand der Freiraumplanung	03.08.2022	Webkonferenz
Zusatztermin Modellierung	Fachlicher Austausch zum Thema Brandschutz und Rettungswege	04.08.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Nachbesprechung Expertengespräch Brandschutz, offene Punkte MRL	17.08.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Update MRL, Präsentation 6. Workshop	24.08.2022	Webkonferenz
Zusatztermin Modellierung	Thema Georeferenzierung als Workflow	24.08.2022	Webkonferenz
6. Workshop	Fortsetzung zum Vorgang der fachlichen Prüfung, Herausforderungen bei der Umsetzung und Modellierungsrichtlinie	30.08.2022	Webkonferenz

Regeltermin Koordination	Nachbesprechung 6. Workshop, Offene Punkte MRL	31.08.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Offene Punkte MRL, DIBt Newsletter	14.09.2022	Webkonferenz
BuildingSMART PG	Kick-off einer Projektgruppe zum Thema Digitalisierung und Prüfung der MBO	23.09.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	DIBt Newsletter, bS Projektgruppen	12.10.2022	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Darstellung der Rettungswege in IFC, CAD	19.10.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Fertigstellung MRL	26.10.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Freilandplanung: Semantik Flächen in BIM	16.11.2022	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Umsetzung der Freilandflächen in Modell	30.11.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Dokumentation und Bauministerkonferenz	07.12.2022	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Anpassungen des Muster Bauwerksmodells an die Anforderungen der MBO	14.12.2022	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Abgleich der offenen Punkte	21.12.2022	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	FRL-Flächenmodell, Aufteilung der Dokumente	11.01.2023	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	FRL-Modellübergabe. HS Osnabrück, Veröffentlichung	19.01.2023	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	HS OS, Vorstellung: Freiraum-Modell	24.01.2023	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Untersuchung Freiland-Modell und BIM*Q	25.01.2023	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Terminvorbereitung, weiterführ. Themen	01.02.2023	Webkonferenz
BuildingSMART PG DigiMBO	1. Sitzung der Projektgruppe zum Thema Digitalisierung und Prüfung der MBO	02.02.2023	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Terminvorbereitung, weiterführ. Themen	08.02.2023	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Vervollständigung Dokumentation, Attribute FRL	23.02.2023	Webkonferenz
Regeltermin Modellierung	Reviews Modelle und Dokumentation	09.03.2023	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Finalisierg. Dokumentation, Modelle, PPTs	15.03.2023	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Aufbereitung der Folien (PPTs) Workshop	22.03.2023	Webkonferenz
Zusatztermin Modellierung	Mögliche Weiterführung und Evaluation	23.03.2023	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Veröffentlichg., Lizenzrechte MBO2BIM	29.03.2023	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	FRL-Modell, Räume i. IFC splitten,	05.04.2023	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Georef. Maßstabsfaktor, MLR Handlungs.	12.04.2023	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	bS Anwendtag, Bilder für Dokumentation	26.04.2023	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Einarbeitung der Kommentare aus den Workshops und der bS Projektgruppe	03.05.2023	Webkonferenz
20. buildingSMART Anwendertage	Vortrag zum Abschluss des Projekts mit Vorstellung konkreter Ergebnisse	09.05.2023 – 10.05.2023	Präsenzveranstaltung
Regeltermin Koordination	Finalisierung und letzte Arbeiten an der Dokumentation, den Modellen und den digitalen Vorlagen und Regeln	17.05.2023	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Koordination des Projektabschlusses, letzte Aufgabenteilung	24.05.2023	Webkonferenz
Regeltermin Koordination	Letzte redaktionelle Prüfung der Dokumente, Abgabe an den DIBt	31.05.2023	Webkonferenz

Tabelle 2 Abgehaltene Projektmeetings und Workshops im Rahmen des Projekts

Das Projekt wurde begleitet von einer Reihe von Meetings und Veranstaltungen (Tabelle 2), bei denen Experten aus den obersten Bauaufsichten und Ingenieure unterschiedlicher Fachdisziplinen die Inhalte des Projekts diskutiert und evaluiert haben. Die Projektgruppen internen Meetings wurden in zwei grundlegenden Themenblöcke abgehalten, jeweils in zweiwöchigem Rhythmus.

Der Regeltermin „Koordination“ wurde genutzt, um den Fortschritt des Projekts zu kommunizieren und organisatorische Entscheidungen zu treffen. So wurden in diesen Meetings Workshops geplant, Kurzberichte / Beiträge geteilt und Befragungen von Fachexperten zu spezifischen Themen durchgeführt. Insbesondere wurden Experten zum Thema Brandschutz- und Freiraumplanung für den fachlichen Austausch in mehreren Meetings eingeladen.

Der Regeltermin „Modellierung“ beinhaltete als thematischen Schwerpunkt die Kommunikation nahe am Bauwerksmodell, zur Erarbeitung von konkreten Lösungen für die Modellierungsrichtlinie und Regelprüfung. Hierbei wurden Testfälle vorgestellt und fachlich analysiert.

Bei den geplanten Workshops handelt es sich um Großveranstaltungen, bei denen die Fachexperten der obersten Bauaufsichten über konkrete Ergebnisse unterrichtet worden sind. Die Veranstaltungen fanden alle vier bis sechs Monate statt. Als Ergebnisse der Workshops wurden Kataloge mit offenen Fragen eingebracht, um so über verfahrensrelevante Punkte im Projekt zu entscheiden. Begleitet wurden diese Workshops von umfangreichen Beispielen am Muster-Bauwerksmodell und der Regelprüfung.

1.3 Vereinbarter Wertschöpfungsprozess im Projekt

Im Rahmen des Projekts wurde ein interner Wertschöpfungsprozess vereinbart, der die Koordination und Bearbeitung zwischen den Projektpartnern schrittweise verdeutlicht, veranschaulicht in Abbildung 1. Das interne Projektteam besteht dabei aus einer Expertengruppe, die sich aus der *Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen Hamburg* (BSW), der *GSP Network GmbH* (GSP) und der *Ruhr-Universität Bochum* (RUB) zusammensetzt.

In diesem Prozess übernimmt die BSW, neben der aktiven Teilnahme als Fachexperte für die Erarbeitung einer digitalen Modellierungsrichtlinie, die generelle Projektkoordination und die Kommunikation im Rahmen der Workshops. Die Ruhr-Universität Bochum übernimmt hierbei die wissenschaftliche Erarbeitung zur Analyse von digital prüfbaren Vorgaben der Musterbauordnung, die Erstellung der Modellierungsrichtlinie, die Umsetzung einer formalen und fachlichen Regelprüfung sowie die Aufbereitung und Freigabe digitaler Vorlagen zur Modellierung und Prüfung. Auf Seiten der GSP wird parallel eine fortlaufende Evaluierung der erarbeiteten Modellierungsrichtlinie anhand der Modellierung, Prüfung und Koordination eines Bauwerksmodells durchgeführt. Zusätzlich pflegt die GSP die Vorgaben der Modellierungsrichtlinie als Vorlagen in gängigen digitalen Softwares nach, sodass diese direkte Anwendung in den Autorensoftwares finden können. Für jeden Teilprozess wurde die Datenhaltung konkretisiert, um nachhalten zu können, welcher Projektpartner, welchen Teil im Prozess liefert und wie diese Informationen ineinandergreifen.

Um den Workflow der Wertschöpfung des Daten- und Informationsaustauschs zwischen den Akteuren abstimmen zu können, wurden die 14-tägigen Entwurfszyklen als Prozessmodell in *Business Process Model and Notation* (BPMN) entwickelt und in mehreren Schritten verfeinert. Abbildung 1 zeigt das Prozessmodell in Form eines Schwimmliniendiagramms als 14-tägige „Sprints“; in der Abszisse ist die

Zeitspanne zwischen den Projektsitzungen und in der Ordinate die Akteure sowie eine Schwimmlinie mit den Dokumenten / Modellen in der gemeinsamen Datenablage abgebildet.

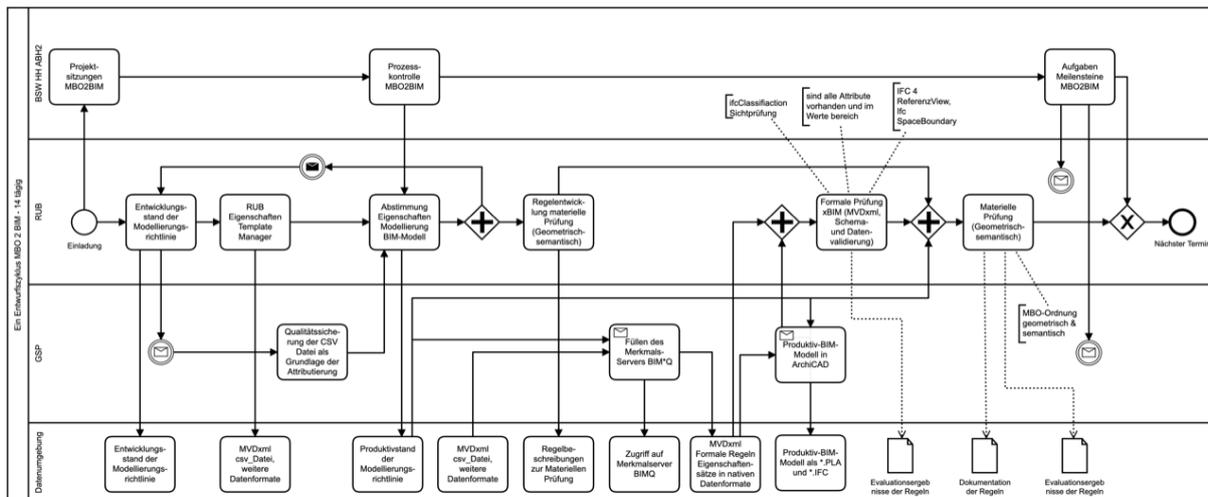


Abbildung 1: Interner Wertschöpfungsprozess im Projekt MBO2BIM

Der Start eines „Sprints“ erfolgt mit der Einladung zu einer neuen Projektsitzung und Darstellung der Ergebnisse anhand des letzten *Entwicklungsstands der Modellierungsrichtlinie* (MRL). Diese werden in der Datenumgebung (Sciebo der RUB) abgelegt und der GSP zur QS per E-Mail zugesandt. Die deskriptiv in der MRL beschriebenen Objekt-Eigenschaften bildet die RUB in dem von ihr entwickelten *Eigenschaften Template Manager* ab und exportiert daraus eine CSV-Datei sowie eine mvdXML-Datei, die dann zur Modellprüfung herangezogen werden kann. In der Projektsitzung und auch infolge werden die Eigenschaften, die die Erfordernisse der Musterbauordnung (MBO) an Bauelementen des Bauwerksinformationsmodells (IFC-Datei) beschreibt, unter Berücksichtigung der MRL gemeinsam abgestimmt und diskutiert. Die BSW überwacht diesen Prozess und gibt ihrerseits den notwendigen Input. Die jeweilige Projektsitzung wird protokolliert und die Anforderungen in den *Produktivstand der MRL* übernommen. Mögliche Änderungen gehen als Feedback (Rück-Schleife) in den *Entwicklungsstand der MRL* und die fertigen Ergebnisse dienen zur Regelentwicklung der materiellen Prüfung des *BIM-Modells* im IFC-Format. Um die konsolidierten Eigenschaften in den gängigen Autorensystemen nutzen zu können, werden die Eigenschaften in die kommerzielle Cloud-Lösung *BIM*Q-Server* von der GSP eingetragen. Der *BIM*Q Server* erzeugt daraus Dateien der Eigenschaftensätze in den nativen Formaten für die Autorensysteme Allplan, Archicad und REVIT sowie mvdXML Dateien zur formalen Prüfung in kommerziellen IFC-Prüfprogrammen wie xBIM oder Simplebim®. Die GSP vervollständigt das Produktiv-BIM-Modell eines Mustergebäudes anhand dessen die Evaluierung der Regelsätze zur formalen und materiellen Prüfung der IFC-Datei durchgeführt wird. Die Durchführung der modellbasierten Prüfungen (formal und materiell) des Entwicklungs- (RUB) und des Produktiv-Modells (GSP) führt zu Erkenntnissen, die in den Evaluationsergebnissen dokumentiert werden. In Abstimmung mit der BSW werden dann die Aufgaben und Meilensteine für den nächsten Entwicklungsschritt und Sprint festgelegt, um bei dem nächsten Termin den Zyklus wieder von vorn zu beginnen. Offensichtlich zeigt das Prozessmodell nur den Datenaustausch und die Kommunikation zwischen den Akteuren, aber nicht die eigentliche Forschungs- und Entwicklungsarbeit in abstrahierter Form. Viele Iterationen und Zwischenschritte kommen zusätzlich hinzu, würden aber das grundsätzliche Schema des Diagramms stören, dessen Sinn in der Dokumentation, Orientierung am aktuellen Status der Arbeit und zur Rückbesinnung auf eigentliche Ziele liegt (siehe DIN EN ISO 29481 Part 1).

2 Anforderungsanalyse

Für eine ganzheitliche Digitalisierung und maschinelle Prüfung der Musterbauordnung (MBO) [1] werden eine Reihe von Anforderungen herausgestellt, auf denen die Ergebnisse des Projekts basieren. Diese Anforderungen ergeben sich teilweise aus den inhaltlichen Details der einzelnen Paragraphen der MBO und teilweise aus technischen Rahmenbedingungen für die Umsetzung einer teilautomatisierten Auswertung relevanter Vorgaben der MBO.

2.1 Bauwerksmodelle als Grundlage für die Digitalisierung der MBO

Die maschinelle Prüfung der Vorgaben aus der MBO setzt voraus, dass Dokumente und Planungsunterlagen vorliegen, welche die relevanten Informationen aus den Paragraphen der MBO vorhalten. Hierbei werden insbesondere Bauwerksmodelle im Format der *Industry Foundation Classes* (IFC) als grundlegender Informationsträger in Betracht gezogen. Das IFC-Format ist ein offener und in der Industrie weit etablierter Standard zur Modellierung und zum Austausch von Bauwerksmodellen. Bei einem IFC basierten BIM-Modell werden Objekte/Bauteile in einer hierarchischen Struktur miteinander in Relation gesetzt. Eine räumliche Ordnung entsteht durch die Zuordnung physikalischer Bauteile (wie Wände, Türen, Fenster, usw.) zu räumlichen Elementen, welche eine Partitionierung in lokale Bereiche im BIM-Modell zulässt (wie Projekt, Gelände, Gebäude(-teil), Geschoss, Raum).

2.1.1 Semantische Information im Bauwerksmodell

Semantische Informationen werden im IFC-Format als Attribute und Eigenschaften einzelnen Elementen über Relationen konkret zugewiesen. Das IFC-Schema schreibt hierbei eine Reihe von vordefinierten Eigenschaftssätzen (*IfcPropertySet*) vor, welche dem Standard gemäß über die Namenskonvention „*Pset_...*“ ausgezeichnet werden. Diese Eigenschaftssätze enthalten Merkmale die eindeutig und im internationalen Verständnis dem Bauteil zugeordnet werden müssen. Gängige Autorenwerkzeuge generieren diese Eigenschaftssätze automatisch zum Zeitpunkt der Modellierung. Werden jedoch regionale Vorschriften in Betracht gezogen, so wird oft festgestellt, dass die in dem IFC-Datenschema vordefinierten Eigenschaftssätze nicht ausreichen oder abweichende Definitionen angewandt werden können und müssen. Daher ist es gängige Praxis, die Eigenschaftssätze über eine Modellierungsrichtlinie zu kommunizieren und zu definieren, die das BIM-Modell für die regionalen Vorschriften hinaus optimiert.

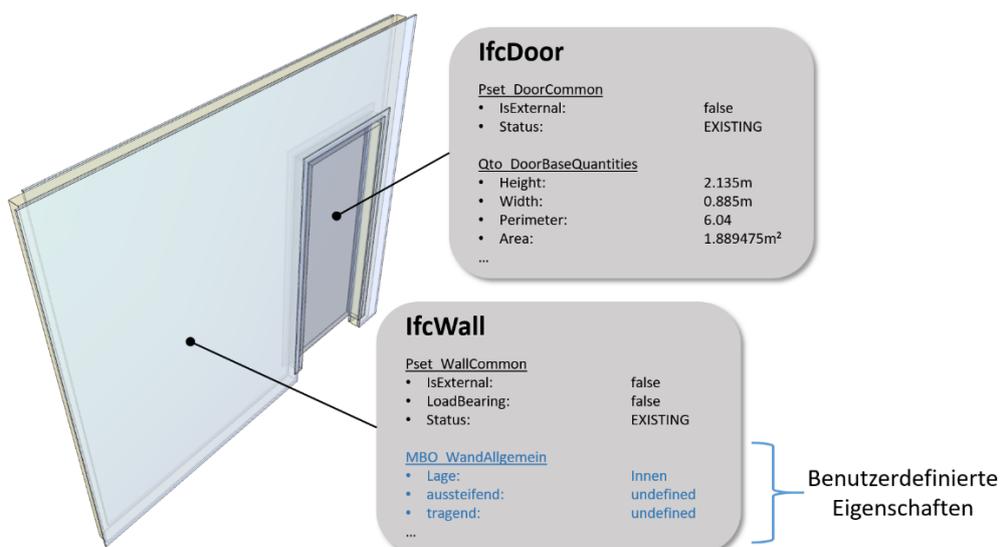


Abbildung 2: Unterschiedliche semantische Ausprägungen für Bauteile (hier Wand und Tür) zur Darstellung des Level of Information (LOI)

2.1.2 Geometrische Informationen im Bauwerksmodell

Die Geometrie eines Bauwerksmodells wird im IFC-Format durch die Klassen-Gruppe der Repräsentationen (IfcRepresentation) zugeordnet und modelliert. Bei geometrischen Informationen handelt es sich im Wesentlichen, um die Darstellung und Abmessung eines Bauteils, welches je nach implementiertem *Level of Geometry* (LOG) unterschiedlich detailliert ausfallen kann (siehe Abbildung 3). Die Geometrie eines Gebäudes dient nicht nur der Visualisierung, sondern wird auch für Prüfanforderungen, wie Kollisionsprüfungen, Ermittlung von Kontaktflächen und Abständen, verarbeitet. Bei der Modellierung von Geometrien und Körpern werden zwei grundlegende Ansätze unterschieden. Ausgehend von der Definition und Notation von Flächen wird in der Computergrafik zwischen expliziten und impliziten geometrischen Darstellungen unterschieden. Details zu den Geometrie-Formen können *Anhang A* entnommen werden. Wichtig ist, je nach vorliegender Norm und Richtlinie festzulegen, auf welchen Detaillierungsgrad Bezug zu nehmen ist. Dieser kann sich von Bauteil zu Bauteil unterscheiden, erfordert jedoch eine Beschreibung der Detaillierung, um die korrekte Genauigkeit für die Prüfung bei der Verrechnung von Geometrien einordnen zu können.

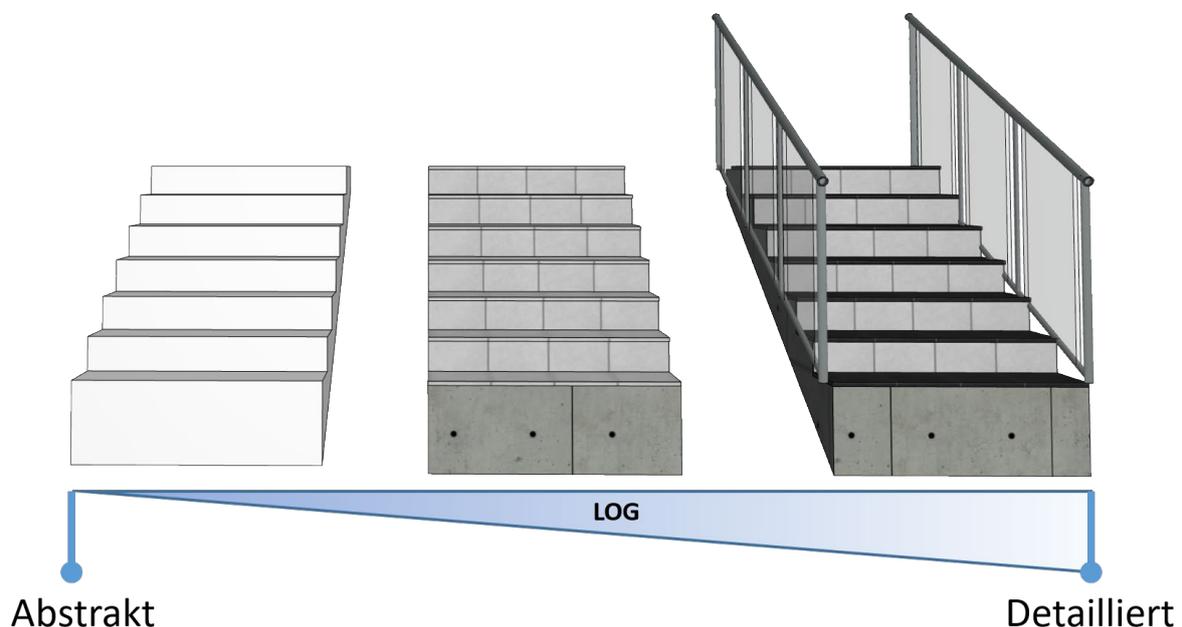


Abbildung 3: Unterschiedliche Abstraktionsebenen für ein Bauteil (hier Treppe) auf einer Skala für Level of Geometry (LOG)

2.2 Ganzheitliche Analyse der Vorgaben aus der Musterbauordnung

Die Musterbauordnung (MBO; Stand 2020) ist in sechs Teilen mit insgesamt 87 Paragraphen unterteilt. Von diesen enthalten primär die Teile eins bis drei (die ersten 51 Paragraphen) Vorgaben an Bauteile eines Bauwerks, die am Bauwerksmodell dargestellt und geprüft werden können. Der Inhalt dieser Paragraphen, welcher vorwiegend Vorgaben auf Bauteilebene reguliert, ist teilweise aufeinander aufbauend und mit den Folge-Paragraphen eng vernetzt. So werden die Gebäudeklasse, Aufenthaltsräume, Nutzungseinheiten, sowie die Bruttogrundfläche (BGF) und Nettoräumfläche (NRF) als Grundvoraussetzungen für die Vorgaben der Musterbauordnung betrachtet. Die Inhalte der Teile vier bis sechs der MBO sind Vorschriften von organisatorischer und operativer Art. So enthalten diese Regulierungen Hinweise für die Adressierung von Entwurfsverfasser und den Vorgängen von Anträgen, wie sie bei dem Baugenehmigungsverfahren eingehalten werden müssen.

2.2.1 Gebäudeklasse

Die Musterbauordnung unterteilt bauliche Anlagen in fünf Gebäudeklassen. Die Einteilung der Gebäudeklasse richtet sich nach der Art, Höhe und Fläche des Gebäudetyps.

- Bei der Gebäudeklasse eins (GK1) handelt es sich um freistehende Gebäude mit einer Höhe bis zu sieben Metern, maximal zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400m² oder freistehende land- oder forstwirtschaftlich genutzte Gebäude.
- Gebäude mit mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt maximal 400m² und einer maximalen Höhe von sieben Metern sind der Gebäudeklasse zwei (GK2) zugehörig.
- Gebäudeklasse drei (GK3) sind alle sonstigen Gebäude, die nicht höher als sieben Meter sind.
- Gebäude, die höher sind, jedoch bis maximal 13 Metern gehören zur Gebäudeklasse vier (GK4). Diese dürfen jedoch auch nur Nutzungseinheiten mit maximal jeweils 400m² haben.
- Alle weiteren Gebäude die nicht unter die Gebäudeklassen–1 - 4 fallen und unterirdische Gebäude, sind der Gebäudeklasse fünf (GK5) zuzuordnen.

Diese Eingruppierung der Gebäude ist insbesondere für die Prüfung des Genehmigungsverfahrens relevant. Unter anderem werden für die Bestimmung der Anforderungen an den baulichen Brandschutz die Gebäudeklasse mit in die Bemessung einbezogen. Viele fachlichen Anforderungen der MBO bauen auf der Gebäudeklasse auf und erfordern es, diese frühzeitig zu bestimmen. Damit diese ermittelt werden kann, muss jedoch feststehen, welche Nutzungseinheiten im entworfenen Bauwerksmodell vorliegen. Die kalkulierten Flächen der Nutzungseinheiten sind ein entscheidender Grundwert für die Bestimmung der Gebäudeklasse.

2.2.2 Nutzungseinheiten und deren Raumbezug

Der Raumbezug wird durch Nutzungseinheiten klassifiziert und Räume darunter gruppiert. In einem Bauwerksmodell können hierfür Relationsobjekte (IfcRelAggregates), aber auch Bauteileigenschaften (NUF1 bis NUF7) zur Identifizierung genutzt werden. Diese Gruppe ist wichtig, um die Gesamtflächen der Nutzungseinheiten bei verteilter Lage der Raumobjekte bestimmen zu können. Diese Information wird, beispielsweise bei der Bestimmung der Gebäudeklasse benötigt. Ein Raumobjekt steckt automatisch auch eine dazugehörige Fläche ab (Abbildung 4). Die Informationen zum Flächeninhalt, sowie weitere Kenndaten auf Basis der Geometrie, können aus den dazugehörigen Quantities ausgelesen werden. In der MBO wird ein direkter Bezug auf die Nutzungseinheiten und spezifische Raumobjekte genommen. So sind die Aufenthaltsräume (MBO §47) innerhalb einer Nutzungseinheit von besonderem Stellenwert. Anforderungen an den Dachraum (MBO §27) und den Rettungswegen (MBO §33) orientieren sich beispielsweise direkt an den Aufenthaltsräumen.

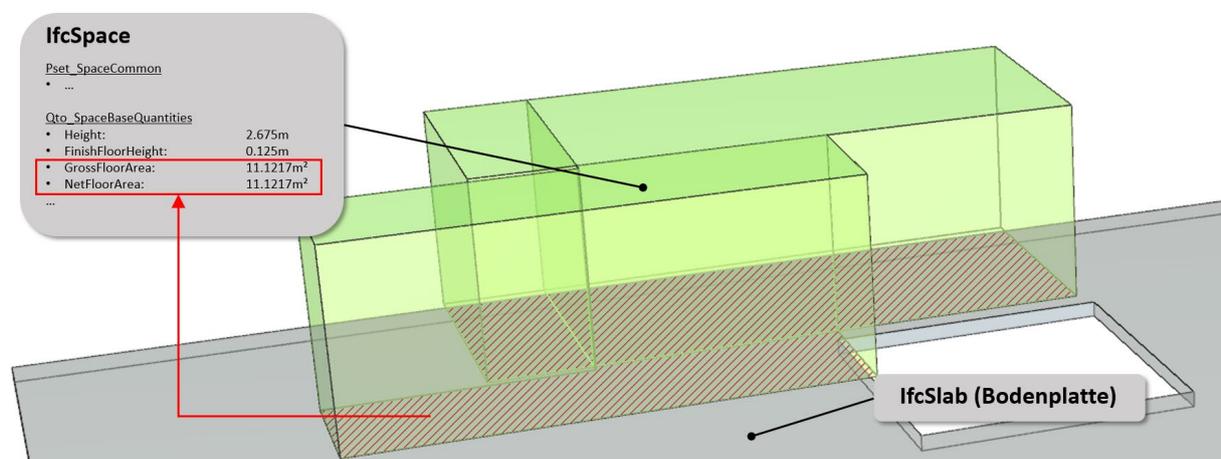


Abbildung 4: Raum-Objekte und ihr Bezug zur Fläche, als Kontaktfläche zwischen den Objekten und unter Berücksichtigung der Lage

2.2.3 *Bruttogrundfläche und Nettoraumfläche*

Die Anforderungen der Flächen innerhalb der MBO erfordern es, eine klare Unterteilung zwischen den Bruttogrundflächen (BGF) und Nettoraumflächen (NRF) vorzunehmen. Beispielsweise werden in MBO §47 zusätzliche Anforderungen für die Fensterbemaßungen formuliert, welche abhängig zu der Nettoraumfläche (Netto-Grundfläche) des Aufenthaltsraums zu kalkulieren sind. Die Definition für BGF und NRF ist der DIN 277-1 [2] zu entnehmen und stellt damit eine zusätzliche Anforderung dar, die zwingend durch die Verkettung von erforderlichen Informationen aus Abschnitt 2.2.1 und 2.2.2 aufgenommen werden muss. Im Kern beschreibt die BGF den Flächeninhalt eines Raumes, zuzüglich ihrer gemittelten angrenzenden Bauteilflächen. Wohingegen die NRF die umliegenden Bauteile als Grenze zieht und aus der Flächenkalkulation entfernt. Eine Beschreibung zu BGF und NRF mit Beispielen kann dem *Anhang A* entnommen werden.

2.2.4 *Brandschutzanforderungen für das Genehmigungsverfahren*

Anforderungen an den baulichen Brandschutz werden an den Gebäudeklassen bemessen. Wird das Gebäude mit einer höheren Gebäudeklasse eingestuft, so sind die Anforderungen an den Brandschutz im Genehmigungsverfahren höher. Die Musterbauordnung sieht dabei bereits ein Abbild der Brandschutzplanung auf Baustoffebene vor. Die Baustoffebene ist jedoch nicht ausführlich beschrieben und nicht hinreichend für die Prüfung im Sinne der Genehmigungsplanung (HOAI LPh 4). Erst die Umsetzung des Gebäudes in der Ausführungsplanung (HOAI LPh 5) legt die Material- und Produktwahl fest. Dieser Schritt ist jedoch nicht im Fokus dieser Forschungsarbeit und bleibt der Zukunft vorbehalten. Deshalb werden im Rahmen des Projekts Brandschutzeigenschaften auf Bauteilebene abstrahiert, um die Prüfung brandschutztechnischer Anforderungen schon zur Genehmigungsphase zu ermöglichen.

2.2.5 *Linked Data Aspekt der Musterbauordnung*

Im Gegensatz zu bauteilspezifischen Anforderungen sind für operative Voraussetzungen meist zusätzliche Unterlagen und Nachweise zu liefern, welche nach dem aktuellen Stand nicht allein von Bauwerksmodellen informativ nachgehalten werden. Für solche Fälle können *Linked Data Ansätze* umgesetzt werden, wie durch den Standard der ICDD und Nutzung von *Semantic Web Technologien*. Diese werden allerdings im Rahmen dieses Projekts nicht weiter in Betracht gezogen, um den Fokus auf aktuell prüfbare Konzepte zu legen.

2.3 ***Sichtung von weiteren Vorgaben aus zusätzlichen Normen, Richtlinien und Forschungsbeiträgen***

Die MBO ist bewusst in vielen Punkten offen formuliert, um die Ausdifferenzierung bestimmter Mengen und Eigenschaften auf Normenschriften zu verlagern. Diese Referenzdokumente beziehen sich dann jedoch im Detail auf die Anforderungen der Individual-Bauteile. Da die Digitalisierung der Vorgaben aus der MBO im Vordergrund der MRL steht, wird versucht, diese Vorgaben der MBO möglichst unverändert zu übernehmen.

Wenn die MRL die Vorgaben der MBO als prüfbare Inhalte formulieren soll, dann ist diese Vorgehensweise (einer möglichst unveränderten MRL zu MBO) nur begrenzt möglich. Für manche Vorgaben müssen Ergänzungen aus entsprechenden Normen hinzugezogen werden, um diese zu vervollständigen und dadurch prüfbar zu machen. Das ist besonders relevant, wenn eine Vorgabe als Basis mehrerer verknüpfter Anforderungen dient (MBO §2 Gebäudeklasse).

So wurde beispielsweise in MRL Abschnitt 6.1.1 zusätzlich die Klassifikation der Nettoraum- und Bruttogrundflächen aus der der DIN 277-1 [2] mit in die MRL aufgenommen. Diese zusätzlichen Vorgaben sind notwendig, um unterschiedliche Flächen nach Nutzarten kalkulieren zu können, was nach MBO §2 erforderlich ist, um die Gebäudeklasse zu bestimmen.

Um Planungsunterlagen miteinander kombinieren und gegenseitig prüfen zu können, wurde ein Konzept zur Georeferenzierung und Überlagerung der Unterlagen benötigt. Es ging dabei insbesondere um die Erstellung eines Koordinationsmodells (Entwurfsplanung und Freiraumplanung) sowie der Zuordnung von Liegenschaftsinformationen aus XPlanung. Dazu wurde in den MRL-Abschnitten 3.1, 4.1 und 4.2 Informationen hinzugezogen, die eine Referenz auf Basis eines geodätischen Datums und eines vom Ort und Referenzkoordinatensystems abhängigen *kombinierten Maßstabsfaktors* ermöglicht. Die Erkenntnisse dieser Vorgehensweise sind anhand von Arbeiten aus der Forschung abgeleitet [3]. Die aufgenommenen Definitionen und Anwendungen zum geodätischen Datum sind unter der Berücksichtigung der Hinweise zur Verwendung des amtlichen geodätischen Raumbezugs ETRS89/UTM und DHHN2016/NHN im Straßen- und Brückenbau vorgenommen worden [4].

Generell sind bei der Ausarbeitung der spezifischen Vorgaben für Bauteile aus der Musterbauordnung Kenntnisse aus der Modellierungsrichtlinie zum Forschungsprojekt BIM-basierter Bauantrag mit einbezogen worden [5]. Dieses Forschungsprojekt wird als Vorgänger zu Digitalisierung der Musterbauordnung betrachtet und thematisiert bereits Attribuierungen, beispielsweise zur Klassifizierung von Nutzungseinheiten, Aufenthaltsräume, Zufahrten, externen Flächen, Einbindung von XPlanung und Abstandsflächen.

Die Anforderungen an die Gestaltung und Freiraumplanung haben klare Überschneidungen mit Teilvorgaben der MBO, wie bspw. den Anforderungen an Zu- und Durchfahren, Abstell- und Bewegungsflächen in §4 - §8. Hier wurden die Synergien und Referenzen zu relevanten Forschungsprojekten im Bereich der Freiraumplanung genutzt und bieten einen ergänzenden Bezug mit zusätzlichen Attribuierungen [6]. Für die Formalisierung digitaler Anforderungen der MBO-Vorgaben zu Durchfahren, Abstellflächen und Bewegungsflächen wurde auf den Beschluss der Muster-Richtlinie über Flächen der Feuerwehr der Bauministerkonferenz zurückgegriffen [7], welches den Vorgaben der MBO mehr Kontext verleiht und zum Verständnis der Teilanforderungen beiträgt.

Die brandschutztechnischen Anforderungen, betreffend der MBO §26 - §32, wurden durch stetigen Abgleich mit den Normen und Richtlinien für die MRL aufbereitet. Die Anpassung sieht vor, das Brandverhalten der Baustoffe auf der Bauteilebene so zu generalisieren, dass diese für die Genehmigungsphase hinreichend angegeben werden kann. Insbesondere die DIN 4102 [8] und der Brandschutzleitfaden für Gebäude des Bundes [9] dienen als Referenzdokumente.

Als Quelle für Kennwertbeispiele, Begrifflichkeiten und Vorgabenzusätze dienten vor allem das Baugesetzbuch (BauGB) [10] und die Muster-Verwaltungsvorschrift Technischer Baubestimmungen (MVV TB) [11].

In Anlehnung an das Konzept der Landesbauordnungen, die an die MBO anknüpfen, dienten zudem die Hamburgische Bauordnung (HBauO) [12] und die Landesbauordnung NRW (BauO NRW) [13] als Referenzdokumente zur Erstellung der MRL. Die HBauO wird verwaltungsseitig ergänzt durch Zusatzdokumente [14], welche häufig Gefragte Begriffsdefinitionen (eng. Frequently Asked Questions, FAQ) listet und erläutert. Bei Unklarheiten wurde ein Abgleich mit dem Dokument vorgenommen. Für konkrete Anwendungsbeispiele und die fachliche Erschließung von inhaltlichen Feinheiten diente das Sachbuch Landesbauordnung NRW im Bild [15], welches viele Aspekte der MBO mit thematisiert und aufbereitet.

Für die Ausgestaltung der Raumflächen im Kellergeschoss, wie Stellplätze und Fahrgassen, wurde die Mustergaragen-Verordnung (MGarVO) [16] mit in die Betrachtung gezogen. Hierbei sind auch die Zusatzanforderungen der Zu- und Abfahrten, Gebäudeabschlusswände, Außenwände, Rampen und Rettungswege von besonderem Interesse im Zusammenhang mit der MBO.

Die Anforderungen übriger Abschnitte und Paragraphen der MBO wurden konservativ nach dem Verständnis der Formulierung und Detaillierung der Musterbauordnung in die MRL eingearbeitet und bieten durchaus Potential zur Anbindung umfangreicher Ergänzungen. Für viele der Paragraphen bietet es sich an, über die Musterbauordnung hinaus zu blicken und zukünftig zusätzliche Dokumente und Normen in den Digitalisierungsprozess einzubinden. Einige relevante Dokumente für den Digitalisierungsprozess wären hier:

- DIN 18065 (Gebäudetreppen) [17]
- DIN 18040 (Barrierefreies Bauen) [18]
- DIN 18095 (Rauchschutztüren) [19]
- DIN 4102-18 (Feuerschutzabschlüsse selbstschießend) [8]

Die BIM-Richtlinie VDI 2552 Blatt 4 „Anforderungen an den Datenaustausch“ [20] beschreibt u.a. wie Bauwerksmodelle mit ihren Bauteilen zu erstellen sind und welche Qualitätsanforderungen an die eigentliche Modellierungsarbeit gestellt werden. Eine essenzielle Voraussetzung für die modellbasierte Prüfung der Gebäudemodelle anhand der MBO ist eine kollisionsfreie Modellierung und eine vollständige Attribuierung, die Teil der formellen Prüfung ist (Abschnitt 2.4 und 2.5.1).

2.4 Anforderungen an die MBO für die Umsetzung konformer Prüfregeln

Die bauteilspezifischen Anforderungen aus Teil eins bis drei der MBO beschreiben die Vorgaben in textueller Form als eine Sammlung von Begriffen, Werten und deren Definitionen. Diese Begriffe stehen teils in direkter Abhängigkeit und bauen paragrafenübergreifend aufeinander auf. Einzelne Paragraphen sind in Fachsprache formuliert, aus der sich konkrete Regeln in kausaler Schreibweise („wenn...“, „dann...“) für einen Prüfablauf ableiten lassen. Jedoch gilt es für diese Inhalte herauszufinden, ob die Paragraphen in ihren Begrifflichkeiten eine einheitliche Definition vorsehen, also ob die Begriffe paragrafenübergreifend in ihrer Bedeutung eindeutig übereinstimmen. Diese Eigenschaft wird als eine Grundvoraussetzung betrachtet, um abhängige Regeln einheitlich und widerspruchsfrei formulieren zu können. Eine Untersuchung der Denotation der Begriffe ist also eine wesentliche Anforderung.

Als Beispiel für Relevanz einer eindeutigen Denotation kann die Definition der *Höhe* aus §2 Absatz 3 Satz 2 der MBO in Betracht genommen werden, welche für die Bestimmung der Gebäudeklasse festlegt:

„Höhe im Sinne des Satzes 1 ist das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, über der Geländeoberfläche im Mittel. ...“

Zahlreiche Vorgaben, wie bei *tragenden Wänden* und *Stützen* in MBO §27 oder *Brandwänden* in MBO §30, stützen sich im weiteren Verlauf der MBO auf die ermittelte Gebäudeklasse. Solche Vorgaben können unabhängig von der Gebäudeklasse ebenfalls Bezug zur *Höhe* gewisser Bauteile einbeziehen. Jedoch, die vorhandene Abhängigkeit zur Gebäudeklasse macht es notwendig, zwischen zwei unterschiedlichen Definitionen von Höhen zu unterscheiden. Der Begriff und sein inhaltlicher Wert sind Kontext abhängig, werden aber als solche nur durch die Paragraphen unterschieden. So führt eine Prüfung potenziell zu Unstimmigkeiten bei der Ausführung und schlimmstenfalls zu einer Doppeldeutigkeit innerhalb eines Regelsatzes.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Begriff	Musterbauordnung (MBO) 2019		Landesrecht, Hamburger Bauordnung			Ermittlungsregeln	Bezug	Landesspezifika (bitte ergänzen)		Kommentar	
	Definition	Fundstelle	Definition	Fundstelle	Kommentar (wenn nicht anders vermerkt, BayBO (Simon/Bosse 2020))			Definition	Fundstelle	Kommentar	
Höhe	Höhe ist das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, über der Geländeoberfläche im Mittel.	§ 2 Abs. 3 Satz 2 MBO	Höhe ist das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum zulässig ist, über der Geländeoberfläche im Mittel.	§ 2 Abs. 3 Satz 2 HBauO	Rn. 56: Die Gebäudehöhe ist der Abstand zwischen dem Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum zulässig ist (oberer Bezugspunkt) und der Geländeoberfläche im Mittel (unterer Bezugspunkt).	FOK = Fußbodenoberkante; HGA = Anfrage (Überprüfe, alle Geschosse und gebe das höchste Geschoss in dem ein Aufenthaltsraum vorhanden oder möglich ist zurück); GM = Geländeoberfläche im Mittel.	Aufenthaltsraum Fußbodenoberkante				Nichtgelegenes Geschoss (siehe 12) und Aufenthaltsraum möglich;
Geschoss	Geschosse sind oberirdische Geschosse, wenn ihre Deckenoberkanten im Mittel mehr als 1,40 m über die Geländeoberfläche hinausragen; im Übrigen sind sie Kellergeschosse.	§ 2 Abs. 6 Satz 1 MBO	Geschosse sind oberirdische Geschosse, wenn ihre Deckenoberkanten im Mittel mehr als 1,40 m über die Geländeoberfläche hinausragen; im Übrigen sind sie Kellergeschosse. Vollgeschosse sind Geschosse, deren Deckenoberkante im Mittel mehr als 1,40 m über die Geländeoberfläche hinausragt und die eine liche Höhe von mindestens 2,3 m haben. Das oberste Geschoss und Geschosse im Dachraum sind Vollgeschosse, wenn sie diese Höhe über mindestens zwei Drittel der Geschossfläche des	§ 2 Abs. 6 HBauO	zu § 2 Rn. 57f.: Nach der im Bauordnungsrecht üblichen Auslegung ist ein Geschoss - zu unterscheiden vom Vollgeschoss - dann vorhanden, wenn eine Gebäudeebene von Personen betreten und in einem nicht ganz unbedeutenden Bereich - aufrecht begangen werden kann; die Gebäudeebene, d. h. die Gesamtheit der auf gleicher Ebene liegenden Räume, muss dabei durch einen Boden und eine Decke oder das Dach von anderen Raumschichten (Gebäudeebenen) abgetrennt werden. In der Regel wird eine Begrenzbarkeit auf einer Breite von mindestens 1 m gefordert. Ein Geschoss im Sinne der HBauO liegt schließlich nur dann vor, wenn die in Rede stehende Gebäudeebene in ihrer Dimensionierung so zusammen ist, dass sie betreten werden kann und einen nicht nur unter Schwierigkeiten zu nutzenden Bewegungsspielraum gewährt (aa Wilke u. a., a. a. O., RnR. 107). Betretbar ist eine Gebäudeebene nur dann, wenn sie zumindest aufrecht begangen werden kann. Das OVG Hamburg (Urt. v. 10.4.2003 - 2 BF 523/98) führt aus: Ein Geschoss „ist dann vorhanden, wenn eine						von Menschen betreten werden können und geeignet oder bestimmt sind, dem Schutz von Menschen, Tieren oder Sachen zu dienen. (3) Gebäude werden in folgende Gebäudeklassen eingeteilt: 1. Gebäudeklasse 1: a) freistehende Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m² und b) freistehende land- oder forstwirtschaftlich genutzte Gebäude, 2. Gebäudeklasse 2: Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m², 3. Gebäudeklasse 3: sonstige Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m, 4. Gebäudeklasse 4: Gebäude mit einer Höhe bis zu 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m², 5. Gebäudeklasse 5: sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude. Höhe im Sinne des Satzes 1 ist das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, über der Geländeoberfläche im Mittel. Das Grundgeschoss des Aufenthaltsraumes ist die
Kellergeschoss	Geschosse sind oberirdische Geschosse, wenn	MBO 2019 § 2 Satz 1	Deckenoberkante im Mittel, Geländeoberfläche								

Abbildung 5: Glossar für Begriffe und Abhängigkeiten der Gebäudeklasse nach MBO §2

Um dies zu vermeiden, wurden im Rahmen des Projektes Glossare angelegt und alle relevanten Begriffe, deren Abhängigkeiten, daraus resultierende Regeln und deren Ursprung in den Paragraphen, Satz für Satz entnommen und dokumentiert. Aus den Glossaren lassen sich Abhängigkeitsgraphen ableiten, welche aufzeigen, wie sich aus Teildefinitionen und Begriffen eine Vorgabe zusammensetzt. Überschneidungen in der Bedeutung werden so erkannt und können aufgelöst werden, beispielsweise durch die Umbenennung/Ausprägung betreffender Begrifflichkeiten. Jedoch ist es in manchen Fällen notwendig, eine neue Definition oder Umformulierung für die MBO in Betracht zu ziehen. Das ist insbesondere bei Regeln der Fall, in denen explizit auf weitere Regelwerke Bezug genommen werden muss (siehe Abschnitt 2.3).

Diese Vorarbeit bildet die Grundlage für die Erstellung einer Modellierungsrichtlinie (MRL). Eine MRL kann als eine technische Ableitung zum Rahmendokument, in diesem Fall der Musterbauordnung, verstanden werden, welche die technischen Voraussetzungen zur Einhaltung aller geforderten Vorgaben aufzeigt.

2.5 Anforderungen an Prüfsoftware, Regelsprache und Format

Im Kontext eines BIM-basierten Prüfablaufs wird unter „regelbasierter Modellprüfung“ die Tätigkeit einer qualitativen Validierung einer Modellierungsrichtlinie (MRL) am Bauwerksmodell verstanden. Bauwerksmodelle können sich im geometrischen und strukturellen Aufbau unterscheiden, und dennoch im semantischen Informationsgehalt einzelner Objekte mit den Vorgaben aus den MRL konform sein. Bei der Erstellung eines Gebäudemodells werden in der Regel eine Vielzahl von Vorgaben aus unterschiedlichen MRL berücksichtigt. Gerade weil die Modellierung eines Bauwerksmodells dem Schema der MRL folgen muss, sind diese Modelle qualitativ gegen die MRL prüfbar. Als qualitative Prüfung wird die formale Einhaltung der MRL und deren Inhalt gegen die fachlichen Vorschriften des Ursprungsdokumentes getestet. Die formale und fachliche Prüfung kann als Teildisziplin der regel- bzw. modellbasierten Prüfung angesehen werden.

2.5.1 Definition der formalen Prüfung

Durch die **formale Prüfung** wird die ordnungsmäßige Attribuierung eines Modells nach vorliegender Norm verstanden. Hierbei werden Informationen nach Klasse und vorhanden Merkmalen untersucht, um eine Aussage über ihre Existenz und vorhandene Werte zu treffen. Es wird allerdings nicht zwingend die Korrektheit der Werte geprüft, lediglich ihre Typisierung und Existenz nach Vorgabe der Norm. Für die Prüfung werden ausschließlich semantische Informationen verarbeitet, welche entweder direkt an den Objekten attribuiert sind oder über Relationen aus den verknüpften Eigenschaften ausgelesen werden. Dabei kann es sich auch um Kenngrößen handeln, die aus der Planung automatisch auf Basis der Geometrie mitbestimmt wurden.

2.5.2 Definition der fachlichen Prüfung

Bei der **fachlichen Prüfung** gilt es die Informationslieferung des vorhandenen und ordnungsmäßig modellierten Modells nachzuweisen, indem fachliche Vorgaben der Normen und Richtlinien algorithmisch umgesetzt werden und deren Ergebnisse gegen die Angaben im BIM-Modell abgeglichen werden. In der Regel umfassen fachliche Prüfungen eine komplexe Abfolge von Berechnungen, welche auch die Verarbeitung von Geometrie mit sich zieht, wie das Bestimmen von Schnittkörper, Höhe und Nachbarschaften. Die fachliche Prüfung erfordert daher meistens eine umfangreiche Verarbeitung von Modellinformationen und kann auch Dokumente mit einfließen lassen, die zusätzlich gebraucht werden, wie Planungsunterlagen, die eine maschinell auswertbare anliegende Bebauung oder Baugrenzen enthalten. Grundsätzlich kann die formale Prüfung als eine Voraussetzung für die fachliche Prüfung verstanden werden, schließlich muss zunächst ein BIM-Modell formal richtig und geometrisch einwandfrei sein, damit es fachlich untersucht werden kann.

2.5.3 Regelsprachen zur Formalisierung von Prüfregeln

Zur Formalisierung von formalen und fachlichen Prüfungen werden Regelsprachen eingesetzt. Das Thema der Regelsprachen ist eng verbunden mit dem Thema der Abfragesprachen (eng. Query Language). Abfragesprachen haben ihren Ursprung in der Aussagenlogik und Grammatik, die das theoretische Grundkonstrukt für die deklarative Programmierung bilden. Als deklarative Programmierung wird ein Programmierparadigma bezeichnet, welches die Beschreibung eines Problems in den Vordergrund stellt, ohne den Lösungsweg im Detail zu beschreiben. Abfragesprachen zeichnen sich durch deren Grammatik aus und wie diese in der Lage sind Regeln daraus abzuleiten. Gemäß der Chomsky-Hierarchie sind Abfragesprachen zu gliedern in die Sprachkonstrukte:

- rekursiv aufzählbar,
- kontext-sensitiv (Typ-1),
- kontext-frei (Typ-2) und
- regulär (Typ-3).

Die Abfragesprache ist dabei immer auf den abgefragten Datensatz optimiert. Demnach ist eine Abfragesprache ein Sprachkonstrukt mit eindeutiger Syntax, ähnlich zu einer herkömmlichen Programmiersprache, welche es erlaubt Mengen auf einer Datengrundlage zu selektieren, filtern und zu bearbeiten. In Datenbanken werden Abfragesprachen eingesetzt, um Informationen nach einer formulierten Anfrage zu finden. Eine Abfragesprache terminiert mit einer Menge von Elementen und Informationen. Im Gegensatz dazu, ist das Ergebnis einer Regelsprache immer eine klare Aussage, die mit wahr (eng. true) oder falsch (eng. false) zu beantworten ist. Abfragesprachen können Teil einer Regelsprache sein und üblicherweise lassen sich Abfragesprachen zu einer Regelsprache erweitern, da sie inhärent Regeln zur Definition ihrer Abfrage nutzen. Hierbei sind die Abfragen als eine Vorverarbeitung der zu prüfenden Elemente zu verstehen, welche dann durch Regeln zu verarbeiten sind.

2.5.4 Regelbasierte Modellprüfung in Autorensoftware

Ein regelbasiertes System, bzw. eine Prüfsoftware, nutzt die Konzepte der regelbasierten Modellprüfung und führt die Validierung anhand festgelegter Regeln durch. Im Kern der Ausführung steht eine Regel-Engine (Inferenzmaschine), welche in der Lage ist, Regelsätze am BIM-Modell zu testen und Ergebnisse grob zu interpretieren. In den meisten gängigen Autorensoftwares (REVIT®, Archicad®, usw.) sind solche Prüfsysteme teilweise eingebunden und werden zusätzlich zur Modellierung kontinuierlich evaluiert, um sicherzustellen, dass ein Bauwerksmodell gültig und richtig modelliert ist. Es existieren auch Softwaresysteme, welche darauf ausgelegt sind, die Modellprüfung automatisiert zu definieren und durchzuführen (Solibri® Model Checker, desite BIM® usw.). Die Evaluation der regelbasierten Modellprüfung ist jedoch softwarespezifisch und verlässt sich auf interne Vereinbarungen der Hersteller, also wird die Prüfung nach dem Prinzip einer Black-Box restriktiv durchgeführt oder erfordert im besten Fall konkrete Programmierkenntnisse, um die Verfahren selbst algorithmisch zu implementieren. Diese Expertensysteme sind zudem überwiegend als anspruchsvolle Desktop-Anwendungen konzipiert. Wenige regelbasierte Systeme nutzen verfügbare offene Standards oder adaptieren das Konzept für web-basierte Anwendungen.

2.6 Potentiale zur Anbindung offener Standards

Die Verwendung offener Standards für die Formulierung und Anwendung von regelbasierter Modellprüfung wird als Notwendigkeit für die Adaption und Akzeptanz in den Leistungsbeschreibungen zukünftiger Prozesse gewertet. Das betrifft sowohl Planungsunterlagen als auch die Vorlagen für Attribuierung und regelbasierte Prüfungen. Hierfür können mehrere Begründungen angeführt werden:

1. Dokumente, Modelle und Regeln, welche über offene Standards kommuniziert werden, sind für alle beteiligten einsehbar und nachvollziehbar.
2. Offene Standards verfallen nicht nach einem Softwareupdate oder werden hinfällig bei einer Aktualisierung ihres grundlegenden Schemas.
3. Herstellergebundene Softwaresysteme können von öffentlichen Stellen nicht ausgeschrieben werden, standardisierte Formate jedoch schon.
4. Durch eine Formulierung offener Standards können Regeln leichter adaptiert werden (beispielsweise von der Musterbauordnung zu Landesbauordnungen).
5. Es erleichtert die projektübergreifende Wiederverwendung von Regelsatzvorlagen, da diese eher Richtlinien gebunden formuliert werden.
6. Offene Standards ermöglichen Interoperabilität zwischen Softwaresystemen und dadurch mehr Vielfalt in der Auswahl von Werkzeugen.

Als konkreter Anwendungsfall wird hier die Bauwerksgenehmigung angeführt, die durch eine offene regelbasierte Modellprüfung den manuellen Prüfungsaufwand deutlich reduzieren kann. Durch Berücksichtigung von Vorlagen für die Attribuierung und Regelprüfung bei der Ausschreibung der Projekte profitieren alle nachfolgenden Prozesse, da durch die Vereinheitlichung der Modellinformationen eine verlässliche Archivierung und eine darauf aufbauende optimierte Planung im gesamten Lebenszyklus des Bauwerks ermöglicht werden.

Erste Initiativen haben bereits gezeigt, dass eine zentrale Verwaltung und Bereitstellung von Vorlagen auf Basis offener Standards vorteilhaft ist. Der *buildingSMART Data Dictionary*³ (bSDD) ist ein Online-Dienst, der Klassifikationen und Eigenschaften im IFC-Format transparent filtern kann. Im Rahmen von

³ buildingSMART Data Dictionary, online unter: <https://www.buildingsmart.org/users/services/buildingsmart-data-dictionary/>, (zuletzt geprüft 30.05.2023)

BIM Deutschland ist im Jahr 2022 das BIM-Portal⁴ online geschaltet worden, das es ermöglicht, Objektvorlagen in offenen Standards, wie IFC und XML, in Projektgruppen zu verwalten und zur Verfügung zu stellen. Dabei setzt das BIM-Portal intern auf den normierten Standard für Merkmale und Merkmalsgruppen, der DIN EN ISO 23386.

Es existieren zahlreiche offene Standards, die im Bauwesen Einsatz finden. Hier wird zwischen den offenen Standards für die Modellierung und Planung, sowie den offenen Standards für Prüfung und Attribuierung unterschieden.

2.6.1 Relevante offene Standards für Modellierung und Planung

Im Folgenden werden einige relevante offene Standards und Formate zur Modellierung und Planung von Bauwerken aufgelistet.

2.6.1.1 Industry Foundation Classes (IFC)

Die *Industry Foundation Classes* (IFC) [21] sind ein offener, internationaler Standard für den Austausch von BIM-basierten Daten (Building Information Modeling). IFC wurde von buildingSMART International (ehemals bekannt als *International Alliance for Interoperability* oder IAI) entwickelt. Die Entwicklung von IFC begann als Antwort auf die Notwendigkeit, eine gemeinsame Sprache für den Austausch von Daten im Austauschprozess zwischen verschiedenen Softwareanwendungen zu schaffen.

Das erste IFC-Schema wurde 1994 veröffentlicht und enthielt grundlegende Definitionen für die Modellierung von Gebäuden. In den folgenden Jahren wurde das Schema kontinuierlich weiterentwickelt, um neue Anforderungen zu erfüllen und den Austausch von Informationen in komplexeren BIM-Modellen zu ermöglichen. So wurden in der Veröffentlichung von IFC4 Erweiterungen für Infrastruktur mit einbezogen, wie IFC-Rail und IFC-Road.

IFC definiert also einen Satz von Datenstrukturen und Objekttypen, die es ermöglichen, Informationen über ein Gebäude oder eine Infrastruktur zu modellieren und auszutauschen. Ein IFC-Modell kann Informationen zu Geometrie, Materialien, Raumfunktionen, Bauteilen, Ausstattung und mehr enthalten. Der IFC-Standard ist eine wichtige Technologie für die Industrie, da er die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Unternehmen und Softwareanwendungen ermöglicht und die Effizienz und Genauigkeit von BIM-Prozessen verbessert. Viele BIM-basierte Softwareanwendungen unterstützen IFC und ermöglichen den Import und Export von IFC-Dateien.

2.6.1.2 XPlanung

XPlanung ist ein wichtiger Bestandteil der Digitalisierung im Bereich der Raumplanung und ermöglicht, raumbezogene Daten in digitaler Form auszutauschen und zu verarbeiten. Das XPlanungs-Format⁵ ermöglicht als Standard die digitale Erfassung, Übermittlung und Verarbeitung von Bauleitplänen, Raumordnungsplänen und Landschaftsplänen (Abbildung 6). Entwickelt und verwaltet wird XPlanung von der XLeitstelle [22] und ist seit Oktober 2017 vom IT-Planungsrat als verbindlicher Standard zur Bearbeitung von Planungs- und Genehmigungsverfahren erhoben worden⁶.

Der Standard legt dabei eine einheitliche Struktur und Syntax fest, um die Interoperabilität zwischen verschiedenen Systemen und Anwendungen sicherzustellen. Dabei wird eine einheitliche Struktur verwendet, die es erlaubt, die Daten in einer hierarchischen Baumstruktur darzustellen. Der Standard

⁴ BIM Deutschland Portal für Merkmale und Merkmalsgruppen, online unter: <https://via.bund.de/bim/merkmale/landing>, (zuletzt geprüft 30.05.2023)

⁵ Schema des Formats XPlanung einsehbar unter: <https://xleitstelle.de/xplanung/releases-xplanung>, (zuletzt geprüft 30.05.2023)

⁶ Beschlussinformation nachlesbar unter: <https://xleitstelle.de/leitstelle/rechtliches>, (zuletzt geprüft 30.05.2023)

unterstützt die Umsetzung von Open-Data-Strategien und fördert damit die Transparenz und die Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Akteuren.

Insgesamt trägt der XPlanungs-Standard dazu bei, den Planungsprozess zu verbessern, zu beschleunigen und die Qualität der Planungsdaten zu erhöhen.

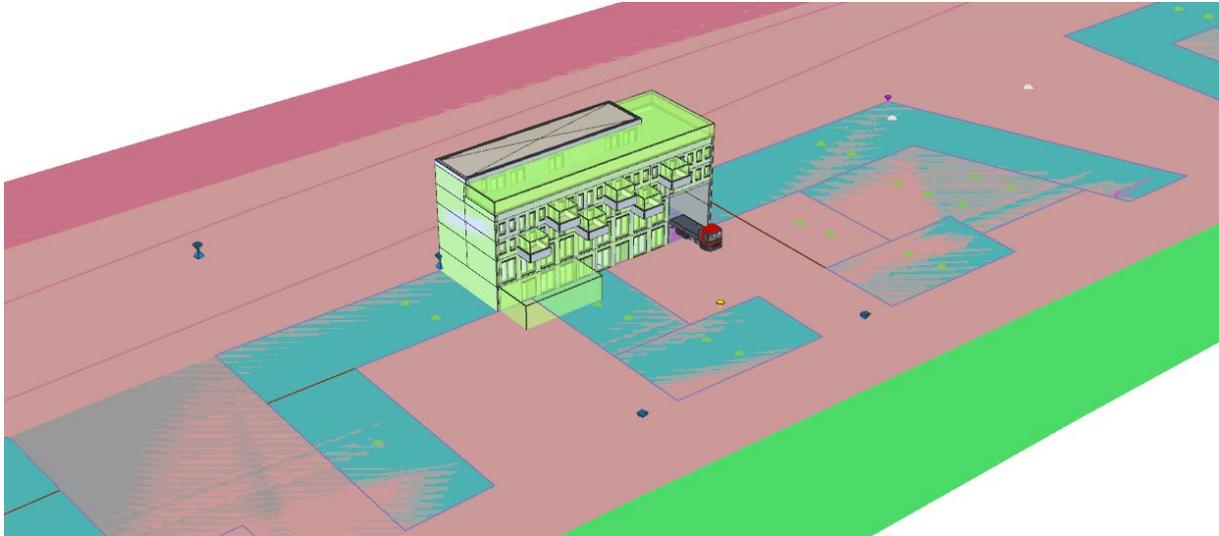


Abbildung 6: Gebäudemodell verortet auf dem XPlanung Bebauungsplan

2.6.1.3 XBau

Das XBau-Format⁷ dient der digitalen Erfassung, Übermittlung und Verarbeitung von digitalen Unterlagen im Planungs- und Genehmigungsprozess im Bauwesen, wie Bauanträgen für die Baugenehmigung. Es stellt dabei eine einheitliche Syntax und Struktur für die Übermittlung der Unterlagen als Nachrichten bereit, um so den Austausch von Daten zwischen verschiedenen Systemen und Anwendungen zu ermöglichen.

XBau umfasst verschiedene Datenbereiche, wie beispielsweise Bauteile, Nutzungen oder Flächen. Neben den bauaufsichtlichen Verfahren (Genehmigungsfreistellung, Baugenehmigung, Abweichungen, Vorbescheid, Baulasten, Prüfung bautechnischer Nachweise) sind ebenso Informationsübermittlungsprozesse (Anzeigen, Beteiligung, Benachrichtigungen) in XBau abgebildet.

XBau wird bereits für die digitale Baugenehmigung eingesetzt und kann auch im Rahmen einer BIM-basierten Baugenehmigung genutzt werden, um ein Bauwerksmodell zusätzlich mit einer Nachricht einzureichen⁸.

2.6.2 Relevante offene Standards für Prüfung und Attribuierung

Im Folgenden werden einige relevante offene Standards und Formate zur Prüfung und Attribuierung von Bauwerksmodellen aufgelistet.

2.6.2.1 Model View Definition (MVD)

Die Model View Definition (MVD) ist eine von buildingSMART international entwickelte Lösung [23], die zur Prüfung und Filterung von IFC-basierten Modellen dient. Eine MVD besteht aus zwei

⁷ Schema des Formats XBau einsehbar unter: <https://xleitstelle.de/xbau/releases-xbau>, (zuletzt geprüft 30.05.2023)

⁸ Forschungsprojekt BIM basierter Bauantrag: <https://bim-bauantrag.blogs.ruhr-uni-bochum.de/projektergebnisse/>, (zuletzt geprüft 30.05.2023)

Hauptkomponenten: Konzeptvorlagen (ConceptTemplates) und Austauschforderungen (ExchangeRequirements).

Konzeptvorlagen definieren, welche Informationen in einem BIM-Modell enthalten sein sollten, und dienen als Auswahlkriterien für die Regeln, die auf das Modell angewendet werden. Austauschforderungen hingegen legen fest, wie Informationen ausgetauscht werden sollen, z.B. welche Informationen in den Planungsunterlagen (IFC-Modell) enthalten sein müssen und welche Randbedingungen diese zu erfüllen haben. MVDs sind so in der Lage, Modelle auf bestimmte Vorgaben zu prüfen und zu filtern, indem sie Abfragen auf den Modellen ausführen und Regeln anwenden, um sicherzustellen, dass die Modelle den Anforderungen entsprechen. Zusätzlich definieren die MVD spezifische Anweisungen für die Handhabung der identifizierten Daten in Softwarelösungen, z.B. für die Objekt-Referenzierung oder Filterung eines Fachmodells beim Import (siehe *Abbildung 7*). Dies erleichtert die Integration von IFC-Modellen in andere Softwarelösungen und stellt sicher, dass die Daten korrekt und einheitlich interpretiert werden. MVDs werden vorwiegend bei der Zertifizierung von BIM-basierten Anwendungen eingesetzt, um sicherzustellen, dass sie die Implementierung und Konformität mit den Standards und Anforderungen von buildingSMART erfüllen.

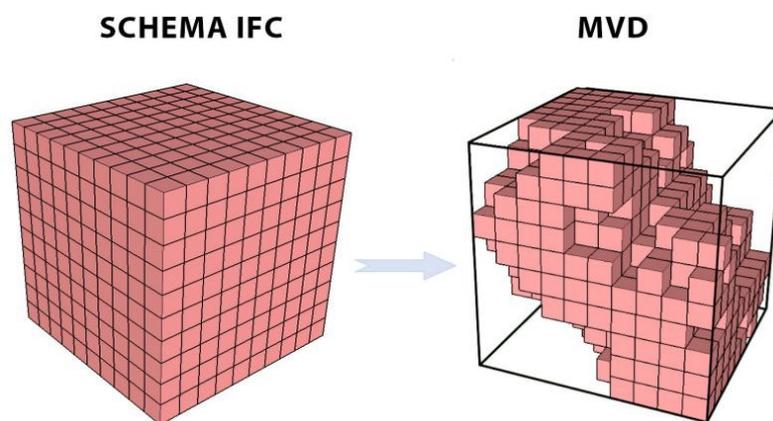


Abbildung 7: Schematisierung der MVD⁹

Traditionell wurden MVD entwickelt, um das breite Spektrum der Anforderungen an Klassen und Objekte im IFC-Schema zu adressieren, da viele Werkzeuge, die mit IFC arbeiten, oftmals nur Teile des Schemas umsetzen. Die Flexibilität, Offenheit und Zugänglichkeit des Schemas haben es als wichtiges Werkzeug zur regelbasierten Prüfung für IFC-Modelle herausgestellt. Insbesondere zur Prüfung von Informationslieferungen der Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) werden MVD häufig genutzt und stellen sich auch in diversen Forschungsprojekten [5] als entscheidendes Werkzeug heraus.

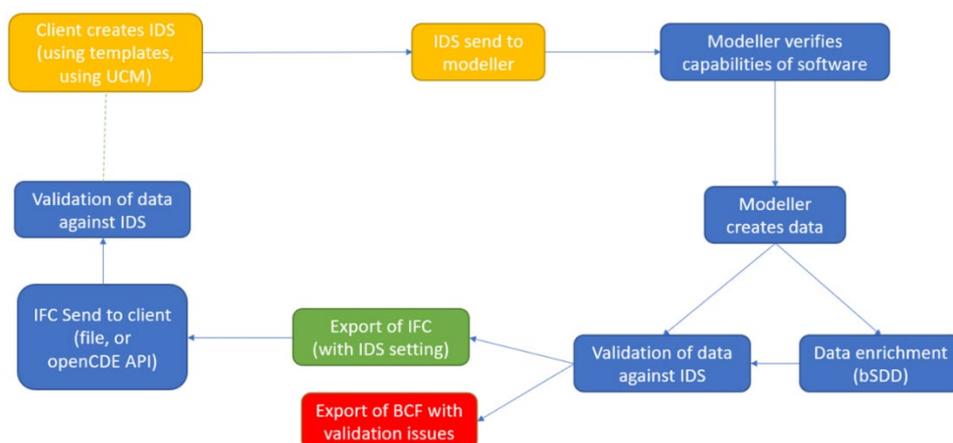
Das Schema wird als *XML Schema Definition* (XSD) entwickelt und publiziert, welches von den Softwareherstellern in deren Softwarelösungen integriert wird. Die Top-Level Hierarchie des Schemas teilt sich grob in eine Auflistung von Komponenten des Typs *ConceptTemplate* und *ModelView* auf. Erstere definiert den Modellzugriff, auf deren Basis Informationen nach definiertem Schema entnommen werden sollen. Zweites enthält konkrete Regeln und Anforderungen an den Austausch von Informationen. Im Kern eines *ModelView* stehen hier die Komponenten *ExchangeRequirement* und *Concept*, welche die anzuwendenden Regeln definieren. Begleitet wird das Schema von Informationen über die Anwendbarkeit durch die Komponente *Applicability*, die dazu dient, die Zugriffsbeschränkung zu definieren und somit den Fokus nur auf eine relevante Untermenge von

⁹ Original-Quelle der Abbildung ist Mark Baldwin, *The BIM Manager*, 2019; online verfügbar unter: <https://biblus.accasoftware.com/de/model-view-definition-und-bim-datenaustausch/>

Objekten zu legen. Ein *Concept* enthält hierbei eine Auflistung einzelner konkreter Regeln als *TemplateRule*, die zu komplexen *TemplateRules* zusammengefasst werden können. Diese Regeln prüfen einzelne semantische Inhalte der Objekte. Je nachdem wie das Schema der *ConceptTemplate* definiert wurde, können diese Information die Inhalte der Eigenschaftssätze am Modellobjekt (PropertySets) sein, was eine formale Prüfung von Anforderungen erlaubt.

2.6.2.2 Information Delivery Specification (IDS)

Die *Information Delivery Specifications* (IDS) werden aktuell von buildingSMART international entwickelt [24] und sind eng mit der Entwicklung der MVD verbunden. Das Konzept der regelbasierten Prüfung formaler Anforderungen wurde dem MVD-Standard erst nach seiner Entwicklung durch praktische Anwendung der Modellfilterung zugetragen. MVD ist darauf jedoch nicht beschränkt und operiert auf Basis des IFC-Schemas und seiner inhärenten Modellstruktur. Um den Aspekt der formalen Prüfung besser und eindeutiger adressieren zu können, wird mit IDS ein auf die Prüfung von Modelleigenschaften und Informationslieferungen spezialisiertes Format entwickelt, welches sich durch eine schlanke Datenstruktur des Schemas und zusätzliche Einstellungsmöglichkeiten der Prüfdokumente auszeichnet. Demnach ist es möglich, Anforderungen auch an Einheiten oder Mustern (eng. Pattern, wie Reguläre Ausdrücke) im Wertebereich zu prüfen. Der konkrete Anwendungsfall von IDS sieht es vor, das Format als Werkzeug zur Validierung im Prozess des Informationsaustausches zwischen Projektpartnern (Kunden, Modellierern, Softwarebetreibern) zu verankern (Abbildung 8).



©2020 buildingSMART International, Ltd., All Rights Reserved



Abbildung 8: Basis Konzeptgrafik zum Anwendungsbereich der IDS¹⁰

Die IDS ermöglichen es, die buildingSMART Data Dictionary (bSDD) in den Prüfprozess mit einzubeziehen, indem es Verweise durch *Uniform Resource Identifier* (URI) zulässt und ihre Informationen als relevante Vorlage betrachtet. Eine direkte Anbindung an die bSDD steht noch aus, ist aber nach dem Entwicklungsplan vorgesehen. In der ersten Phase der Entwicklung wurden ausschließlich Anwendungsfälle identifiziert, um die Randbedingungen des Schemas herauszustellen. In der aktuellen zweiten Phase der Entwicklung (seit Januar 2022) wird ein XSD entsprechend der zuvor herausgestellten Anwendungsfälle und Erkenntnisse der Industrie und Anwendern entworfen, welches parallel von Softwareherstellern implementiert und getestet wird. Das bisher entwickelte Schema ermöglicht es bereits, Eigenschaften von unterschiedlichen Typen zu prüfen (SingleValue, Enumeration, Liste, etc.). Darüber hinaus bindet das Schema die Prüfung von Einheiten (eng.

¹⁰ Abbildung aus der Hauptseite der Information Delivery Specification (IDS): <https://technical.buildingsmart.org/projects/information-delivery-specification-ids/>, (zuletzt geprüft 30.05.2023)

Measures) direkt mit ein und vereinfacht die Angabe der Anwendbarkeit (eng. Applicability) wodurch die beschriebenen Anforderungen in den Prüfdokumenten menschenlesbar formuliert werden.

2.6.2.3 OpenBIMRL

OpenBIMRL ist ein aus der Forschung hervorgegangenes Format zur Prüfung von formalen und fachlichen Anforderungen an Bauwerksmodelle. Das OpenBIMRL-Format¹¹ ist im Rahmen diverser Projekte zu Digitalisierung an der Ruhr-Universität Bochum entstanden und veröffentlicht [25]. Im Rahmen der Projekte wurde das Format eingesetzt, um Anforderungen der Richtlinien als Prüfung zu dokumentieren und exemplarisch zu prüfen. Das OpenBIMRL Format hat den Anspruch, die formale und fachliche Prüfung zu vereinen, indem es ermöglicht, beliebige Funktionen zu verketteten und Informationen abzurufen, welche komplexe Abfolgen und Algorithmen verarbeiten. Dabei können auch geometrische Informationen extrahiert und entsprechend verarbeitet werden. Das Schema beschreibt hierbei keine konkreten Funktionen, sondern repräsentiert eine Vorlage nach welcher eine Funktion definiert werden kann. Demnach ist es erforderlich, dass die Implementierungen von OpenBIMRL und dazugehörige Regel-Engines die Bibliotheken von umgesetzten und verfügbaren Funktionen dokumentieren und teilen.

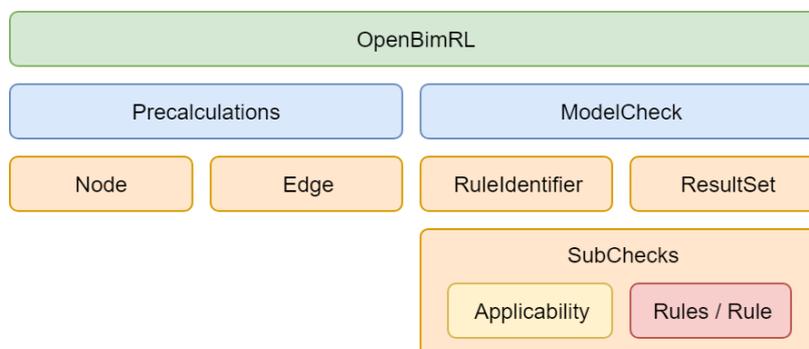


Abbildung 9: Veranschaulichung der Komponenten, aus denen OpenBIMRL besteht¹²

Ein Prüfdokument nach OpenBIMRL zeichnet sich durch die Teilung von Vorberechnungen (Precalculation) und dem Prüfvorgang (ModelCheck) aus. Die Vorberechnung von OpenBIMRL setzt dabei auf einen Graphen-basierten Aufbau, bestehend aus Knoten und Kanten, die es ermöglichen fachliche Vorgaben kontrolliert abzurufen. Der Prüfvorgang hingegen ist in mehrere Bereiche unterteilt, welche sukzessiv aufeinander aufbauen (siehe *Abbildung 9*).

Ein OpenBIMRL Prüfdokument setzt dabei eine konkrete Arbeitsabfolge der Komponenten voraus, die in die Prozesse der *Vorberechnung* und den *Prüfvorgang* zu gliedern sind (siehe *Abbildung 10*). In der Vorberechnung wird der Graph ausgeführt und die Zwischenergebnisse pro Knoten/Funktion bereitgestellt. Für den Prüfvorgang notwendige Ergebnisse werden über Referenzobjekte (RuleIdentifier) aus dem Graphen extrahiert und verfügbar gehalten. Diese Teilergebnisse unterliegen anschließend der Regelprüfung (SubChecks), wodurch konkrete Angaben aus Normen und Richtlinien inhaltlich geprüft werden. Ergebnisse aus dem Prüfvorgang werden dann kontrolliert, als erwartete Ergebnismengen zwischengehalten (ResultSet), um Sichten auf das BIM-Modell zu erzeugen und so die Prüfungsergebnisse nachzuvollziehen.

¹¹ Öffentliche GitHub-Repository des Formats OpenBIMRL: <https://github.com/RUB-Informatik-im-Bauwesen/OpenBimRL>, (zuletzt geprüft 24.05.2023)

¹² Abbildung entnommen aus Online-Quelle: <https://github.com/RUB-Informatik-im-Bauwesen/OpenBimRL>, (zuletzt geprüft 30.05.2023)

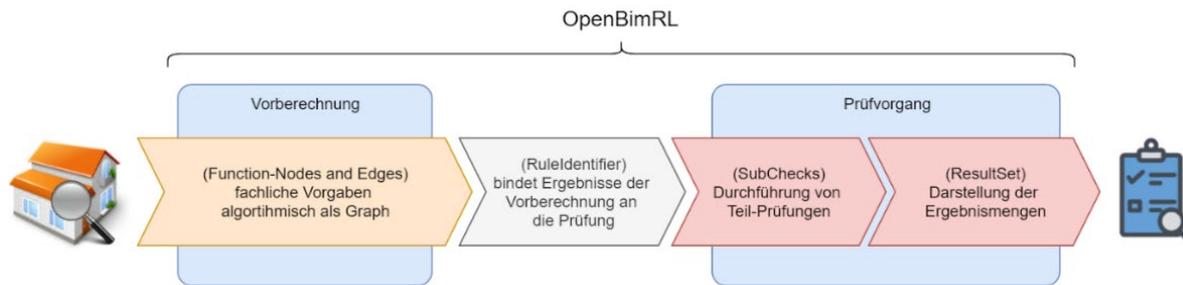
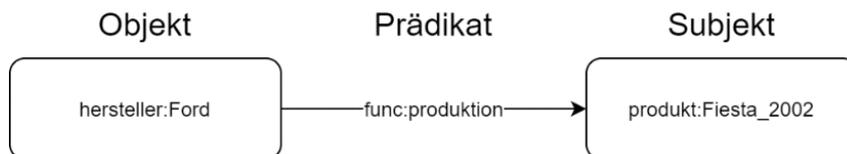


Abbildung 10: Abfolge des Prüfvorgangs mit OpenBIMRL

2.6.2.4 Semantic Web Technologien (SPARQL, SHACL, RDF)

Im Bereich des *Semantic Web* gibt es eine Reihe von Technologien zur regelbasierten Prüfung unterschiedlicher Informationen mit breitem Anwendungsbereich für das Bauwesen. Bei der *SPARQL Protocol And RDF Query Language* [26] handelt es sich um eine Graphen-basierte Abfragesprache zur Filterung, Bearbeitung und Prüfung von Inhalten, welche im *Resource Description Framework (RDF)* [27] beschrieben sind. Die Abfragesprache wurde vom *World Wide Web Consortium (W3C)* entwickelt und standardisiert. Ebenso wie RDF, zählt SPARQL zu einem der wichtigsten Instrumente des Semantic Web, was dem Vorhaben folgt, Informationen (unabhängig ob sie im Web existieren oder nicht) zu Kontextualisierung und darüber hinaus zu verknüpfen. Dazu ist die im RDF verwendete Tripel-Notation die Syntax zur Formalisierung von Informationen. Ein Tripel setzt sich zusammen aus Objekt, Prädikat und Subjekt (siehe *Abbildung 11*).



Namespaces:
 hersteller: <http://hersteller.demo.org/firmen/>
 produkt: <http://hersteller.demo.org/produkte/>
 func: <http://hersteller.demo.org/relationen/>

Abbildung 11: Einfaches Tripel-Beispiel wie es in RDF vorkommt

SPARQL erinnert von der Syntax her stark an SQL, indem beide Sprachen dem grundlegend selben Aufbau folgen und dieselben Operatoren verwenden. So können beispielsweise mit „*SELECT ... WHERE { ... }*“ Daten aus einem RDF-Graphen ermittelt werden, die entsprechend der beschriebenen Relation gefiltert werden. Im Gegensatz zu SQL oder anderen Vertretern von Abfragesprachen, setzt man bei SPARQL und RDF insbesondere auf eine URI-basierte Beschreibung elementarer Ressourcen. Knoten in RDF können allerdings auch *Literale* beinhalten, welche im Rahmen von RDF durch besondere Namespace-Notationen zusätzlich typisiert werden können. SPARQL besitzt einen hohen Grad der Erweiterbarkeit. Das bedeutet, dass neben semantischen auch funktionale Erweiterungen vorgenommen werden können und darauf aufbauend publiziert werden. Zwei bekannte Erweiterungen sind GeoSPARQL¹³ und BIMSPARQL¹⁴ [28].

Für die Prüfung von Konformität und Validierung von RDF-Graphen werden vorwiegend Prüfdokumente durch die *Shape Constraint Language* [29] definiert. In SHACL werden Konditionen /Bedingungen an den RDF-Datensatz als sogenannter *shape graph* formalisiert und gegen den

¹³ GeoSPARQL – A Geographic Query Language for RDF Data, online unter: <https://www.ogc.org/standard/geosparql/>, (zuletzt geprüft 30.05.2023)

¹⁴ BimSPARQL, offizielle Projekt, online unter: <https://github.com/BenzclyZhang/BimSPARQL>, (zuletzt geprüft 30.05.2023)

Datensatz als *data graph* validiert. Als Ergebnis erhält man einen Validierungsbericht (eng. Validationreport), welcher die Übereinstimmung von *shape graph* auf den *data graph* beschreibt. Die Syntax von SHACL baut auf dem Sprachkonstrukt von SPARQL auf.

Es ist übliche Praxis, bestehende Standards in die RDF-Schreibweise zu überführen. Dazu werden mit dem *Resource Description Framework Schema* (RDFS) und ihrer semantischen Erweiterung der *Web Ontologie Language* [30] entsprechende Ontologien formuliert, die als Schema für den Aufbau und Übersetzung fungieren. So kann beispielsweise ein Ifc-Modell durch Anwendung der ifcOWL Ontologie¹⁵ in eine RDF konforme Struktur überführt werden. Die ifcOWL Ontologie findet bereits Einsatz in diversen Forschungsprojekten rund ums Thema Linked-Data. Aufgrund der allgemein zugänglichen und flexibel gestalteten Struktur von RDF-Datensätzen und darauf aufbauenden Schemata, werden solche Formate zunehmend angepasst und ergänzt, je nachdem welcher Anwendungszweck im Vordergrund der Fragestellung steht.

¹⁵ ifcOWL – Ontologie für IFC basierte Datenmodelle, online unter: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-formats/ifcowl/>, (zuletzt geprüft 30.05.2023)

3 Projektergebnisse

Aufbauend auf den Vorgängen und Grundsätzen der vorangestellten Anforderungsanalyse, werden im Folgenden die konkreten Ergebnisse vorgestellt. Die Kerninhalte der Ergebnisse sind das Produkt einer Prozess- und Wertschöpfungskette, die dazu konzipiert wurde, die Musterbauordnung schrittweise zu digitalisieren (Abbildung 12). Dieser Prozess umfasst drei wesentliche Schritte, die als Prozess aufeinander aufbauen.

Zunächst wird durch eine detaillierte Analyse von Begriffen durchgeführt, unterstützt durch die strukturierte Erstellung von Glossaren, welche entsprechend Begriffe und ihre Definitionen in Abhängigkeit zueinander setzen. Dies erlaubt es, die elementaren Vorgaben aus dem Richtlinien text zu identifizieren und zu extrahieren. Die Überführung der daraus folgenden Erkenntnisse helfen bei der Erstellung einer Modellierungsrichtlinie (MRL), welche passend zu der Musterbauordnung formuliert wird.

Im nächsten Schritt erfolgt die Evaluierung der MRL durch ihre Anwendung an einem Bauwerksmodell. Das Bauwerksmodell dient hier als Demonstrator/Mustermmodell und muss sich den ständig ändernden Anforderungen bei der Weiterentwicklung der MRL entsprechend anpassen. Die Inhalte der MBO sind in der MRL dabei bereits so aufgeschlüsselt, dass diese in maschinell auswertbaren Formaten in die Autorenwerkzeuge übertragen werden können. Die Attribuierung erfolgt demnach durch den direkten Austausch von Vorlagen und Richtwerten aus der MRL.

Zum Schluss wird das BIM-Modell nach den Vorgaben und Regeln der MBO und MRL sowohl formal als auch fachlich geprüft. Hierbei wird das Bauwerksmodell und die erforderten Attribuierungen der MRL ausgewertet, um Erkenntnisse über die Qualität zum Verhältnis der Anforderungen der MBO zu gewinnen.

Jeder dieser Schritte und jede Iteration dieser ermöglichte es, Aspekte der MBO hinsichtlich einer technischen Umsetzung und Digitalisierung zu bewerten. Auf dieser Basis wurden konkrete Herausforderungen und Handlungsempfehlungen herausgearbeitet, welche als Hilfestellung zukünftiger Anpassungen der MBO gelesen werden können.

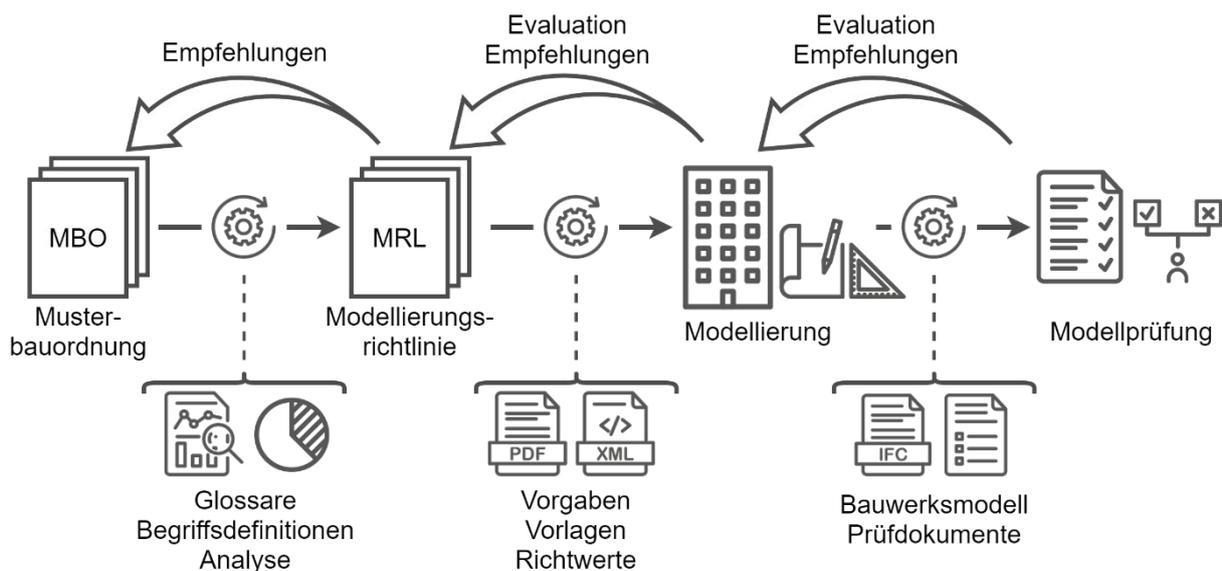


Abbildung 12: Konzeptgrafik für die Durchführung einer Digitalisierung von Richtlinien, hier anhand der MBO

Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Prozesse näher beschrieben. Die Ergebnisse, Herausforderungen und konkreten Handlungsempfehlungen werden dabei schrittweise erläutert.

3.1 Zusammenstellung der Modellierungsrichtlinie

Im Zentrum des gesamten Projekts steht eine ausgearbeitete Modellierungsrichtlinie (MRL), die im Zusammenhang mit maschinell auswertbaren Unterlagen eine digitalisierte Musterbauordnung bildet (Abbildung 13). Die MRL umfasst insgesamt 69 Seiten und liegt dem Bericht bei unter *Anhang A*.



Abbildung 13: Die Modellierungsrichtlinie (MRL) als Katalog mit Vorgaben aus der MBO

Die MRL baut insbesondere auf den Glossaren aus der Anforderungsanalyse auf, jedoch strukturiert und aufbereitet unter der expliziten Berücksichtigung von ermittelten Prüfvorgängen der MBO-Anforderungen (Abbildung 14). Die MRL umfasst inhaltlich:

- Generelle Anforderungen an die Modellierung
- Allgemeine Angaben zum Bauvorhaben
- Verortung und Vermessung
- Allgemeine Bauteilanforderungen
- Nutzungsbedingte Anforderungen
- Brandschutztechnische Anforderungen

Grundsätzlich gilt, die „Generelle Anforderungen an die Modellierung“ bieten eine Einführung in die Thematik der Modellierungsrichtlinie, um das Verständnis der Lesenden für ihren Inhalt zu schärfen. In dem Abschnitt stehen die thematischen Einordnungen der MRL und Erläuterungen zu nachfolgenden Begrifflichkeiten im Vordergrund. Es wird dabei das nötige Hintergrundwissen für die Modellierung im Rahmen von Building Information Modeling erörtert. Zudem erfolgt eine erste Darstellung betrachteter Planungsunterlagen und deren Detaillierung. Eine solche individualisierte und thematische Einleitung ist notwendig, um beispielsweise das vorliegende Dokument den Leistungsphasen (Entwurf, Genehmigung, Ausführung, usw.) oder einem Fachmodell (Bauwerksmodell einer fachlichen Ausprägung, z.B. Architektur, Gebäudetechnik, usw.) zuordnen zu können. Je nach umgesetzter Richtlinie kann der notwendige LOIN (Level of Information Need, Abstraktion des LOD: Level of Development) [31] variieren und Abweichungen im LOG (Level of Geometry, geom. Ausarbeitungsgrad) und LOI (Level of Information, Informationstiefe) aufzeigen. So sollten auch

zusätzlich betrachtete Dokumente und referenzierte Fachliteratur mit aufgeführt und benannt werden, um ein möglichst vollständiges Abbild der geforderten Anforderungen nachfolgender Vorgaben zu vermitteln.

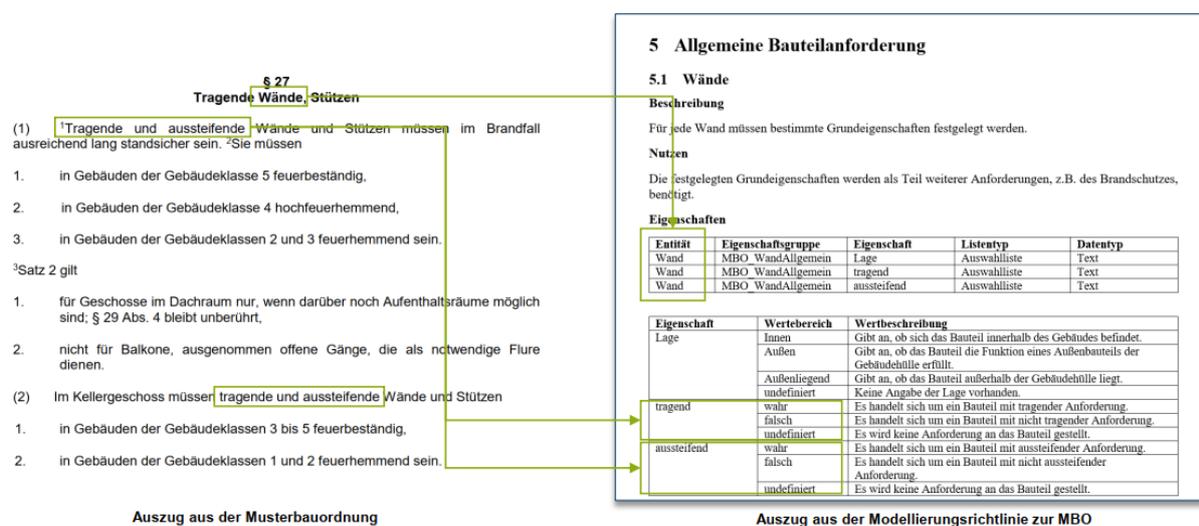


Abbildung 14: Begrifflichkeiten und Anforderungen in der MBO (links) und ihr Vorkommen in der MRL (rechts)

Für die MRL zur MBO wurden die enthaltenen Vorgaben auf die Genehmigungsplanung limitiert, die die größte gemeinsame Klassifizierung einzelner MBO-Anforderungen darstellt (siehe Abschnitt 2.2.4). Details zu der Modellierung von LOG und LOI können der MRL-Einleitung entnommen werden. Da die MRL bereits als eine technische Beschreibung der MBO-Vorgaben gilt, liegt es nahe, dass diese Vorgaben auch in maschinenlesbaren Formaten der MRL beigelegt werden können. Hierfür wurden mehrere Exporte durchgeführt.

Als generischer und IFC-naher Ansatz wurden alle vorgeschriebenen Eigenschaftsgruppen als *Property Set Definitions*¹⁶ (PSD) herausgeschrieben. Das PSD-Schema ist ein XML-basiertes Format und wird auch innerhalb der IFC-Spezifikation verwendet, um die Basis-Eigenschaften des Schemas zu formalisieren. Insgesamt 37 PSD-basierte Vorlage-Dateien wurden im Rahmen des Projekts angelegt. Diese Dateien können programmatisch verarbeitet werden. Eine PSD kann mit spezialisierten XML-Werkzeugen ausgelesen werden. Jedoch verfügen gängige Autorenwerkzeuge über keine direkten Import-Funktionen für PSD-Vorlagen.

Damit eine Integration in gängige Autorenwerkzeuge ermöglicht wird, sind alle Vorlagen parallel in der Plattform BIM*Q^{®17} aufbereitet und fortlaufend gepflegt worden. Über die Plattform ist ein Export für verschiedenen Werkzeuge möglich. Es wurden zusätzlich Vorlagen-Formate für die gängigen BIM-Autorenwerkzeuge wie Allplan[®], Archicad[®], REVIT[®], Vectorworks[®] und Excel-Tabellen exportiert. Den Exports liegen Steckbriefe für Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) als PDF-Berichte bei (Abbildung 15), welche als erste Unterlagen auch im Rahmen von Ausschreibungen genutzt werden können.

¹⁶ Schema der PropertySet-Definition (PSD), online unter: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>, (zuletzt geprüft 30.05.2023)

¹⁷ BIM*Q – BIM plus Qualität; Intelligentes Informationsmanagement von BIM-Projekten von AEC3, <https://www.bimq.de/>

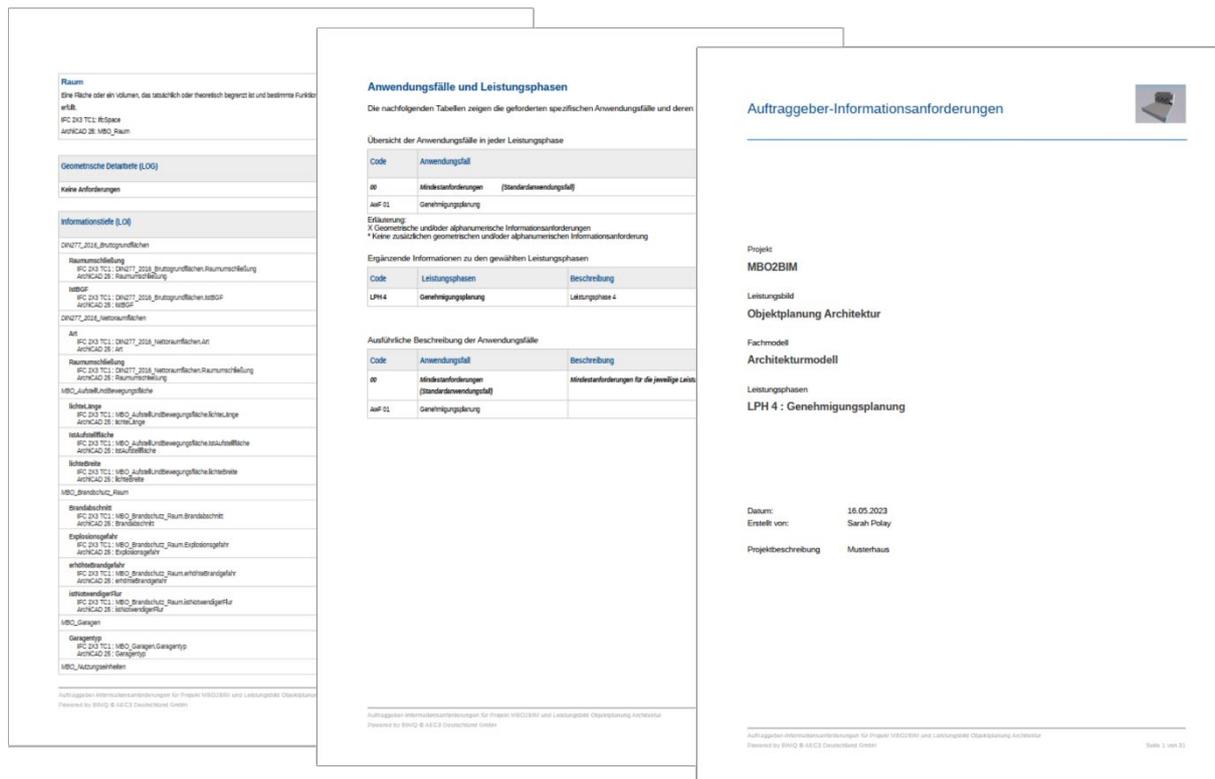


Abbildung 15: Auszug einer erstellten Auftraggeber-Informationsanforderung für die MBO bei der Genehmigungsplanung

Da die MRL sich direkt auf die Anforderung der MBO bezieht, kann eine Anpassung/Erweiterung der MRL mit den zukünftigen Versionen der MBO durchgeführt werden. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass Aspekte der MBO-Anforderungen für eine technische Beschreibung in der MRL angepasst werden mussten, um dem verfügbaren Handlungsspielraum einen Determinismus zuschreiben zu können, der für eine regelbasierte Modellprüfung notwendig ist. Zu diesen Anpassungen zählen vor allem die Punkte:

- Der Umgang mit den Öffnungselementen innerhalb eines IFC-Modells, die nach der Modellinterpretation in vielen Werkzeugen nicht mehr zur Verfügung stehen.
- Die Berücksichtigung von Raumbegrenzungen und deren Kontaktflächen zu Bauteilen, was in Abhängigkeit zum LOG einzelner Bauteile fehleranfällig sein kann.
- Berücksichtigung von Basis-Eigenschaften und Mengen, die im internationalen Verständnis (des IFC-Schemas) und allgemeingültig formuliert sind, jedoch von regionalen Vorgaben abweichen können.
- Abstraktion der Brandschutz-Eigenschaften zur Darstellung strikt auf Bauteilebene und nicht auf Baustoffebene. Dies ist ein notwendiger Schritt, um unter der Betrachtung von Genehmigungsplanung den Brandschutz abbilden und prüfen zu können, ohne dabei die Detaillierung der Ausführungsplanung vorzuschreiben.

Jeder dieser Aspekte wird im *Anhang A* (Modellierungsrichtlinie) und im *Anhang B* (Handlungsempfehlungen) genauer umschrieben.

3.2 Umsetzung eines Modelldemonstrators

Zur Umsetzung einer funktionierenden MRL wurde im Rahmen des Projektes ein fiktives digitales Gebäude der Gebäudeklasse 5 auf einem Grundstück in Hamburg entworfen. Hier galt es möglichst viele verschiedene Paragraphen der Musterbauordnung abzudecken, um diese prüfen und testen zu können. Die Autorensoftware Archicad® diente der Umsetzung. Der Export für den Austausch und die weitere Prüfung wurde im IFC-Format durchgeführt. Der erste Modellentwurf wurde auf Basis eines Bebauungsplans (B-Plan) auf einem Grundstück verortet und stückweise angepasst (Abbildung 16). Die Evaluation gegen die erstellte Modellierungsrichtlinie wurde im Nachhinein vorgenommen, sodass am Ende des Prozesses ein prüfbares und angepasstes Mustermodell entstand (siehe Abbildung 17).

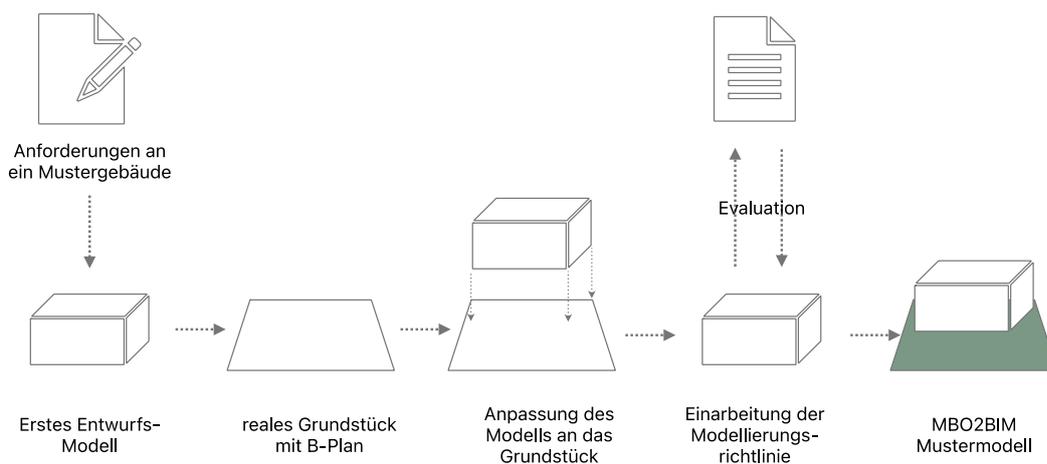


Abbildung 16: Konzept der Entwicklung des Mustermodells

Da es nicht um ein Realprojekt handelte, wurde der Entstehungsprozess des Modelldemonstrators durch den Verlauf des Forschungsprojektes vorgegeben und beinhaltete Iterationen, die in einem Planungsverlauf nicht auftreten. Der hier beschriebene Modellierungsprozess entspricht daher nicht der gängigen Praxis, sondern ist der Wertschöpfung und dem Erkenntnisgewinn der digitalen Vorgaben aus der MBO untergeordnet.



Abbildung 17: Historie mit fortlaufendem Entwurf, vom ersten Entwurfsmodell (links), zum aktuellen BIM-Modell (Mitte) und als Koordinationsmodell mit der Freiraumplanung¹⁸ (rechts)

¹⁸ Ilona Brückner und Marieke Schönfeld: BIM-Pilotprojekt der Stadt Hamburg zu MBO2BIM – Fachmodell Freiraum. <https://www.hs-osnabrueck.de/dr-ilona-brueckner/#c13377782> (24.03.2023)

Das im Projekt entstandene Bauwerksmodell ist ein mehrgeschossiger Wohn- und Geschäftskomplex mit Tiefgarage und wird auf einem realen Grundstück im Hamburger Stadtteil „Hafencity“ geplant (Abbildung 18). Durch Vorgaben des gesetzten B-Plans ergab sich die grobe Kubatur, die Geschossigkeit und eine geplante Durchfahrt zum Hinterhof. Das Gebäude zieht sich über die komplette Breite des Grundstückes und endet jeweils mit Gebäudeabschlusswänden zu den Nachbarbauten. Zu jedem dargestellten Geschoss existiert eine 2D-Planungsansicht als Export, welche dem *Anhang D* beiliegt.

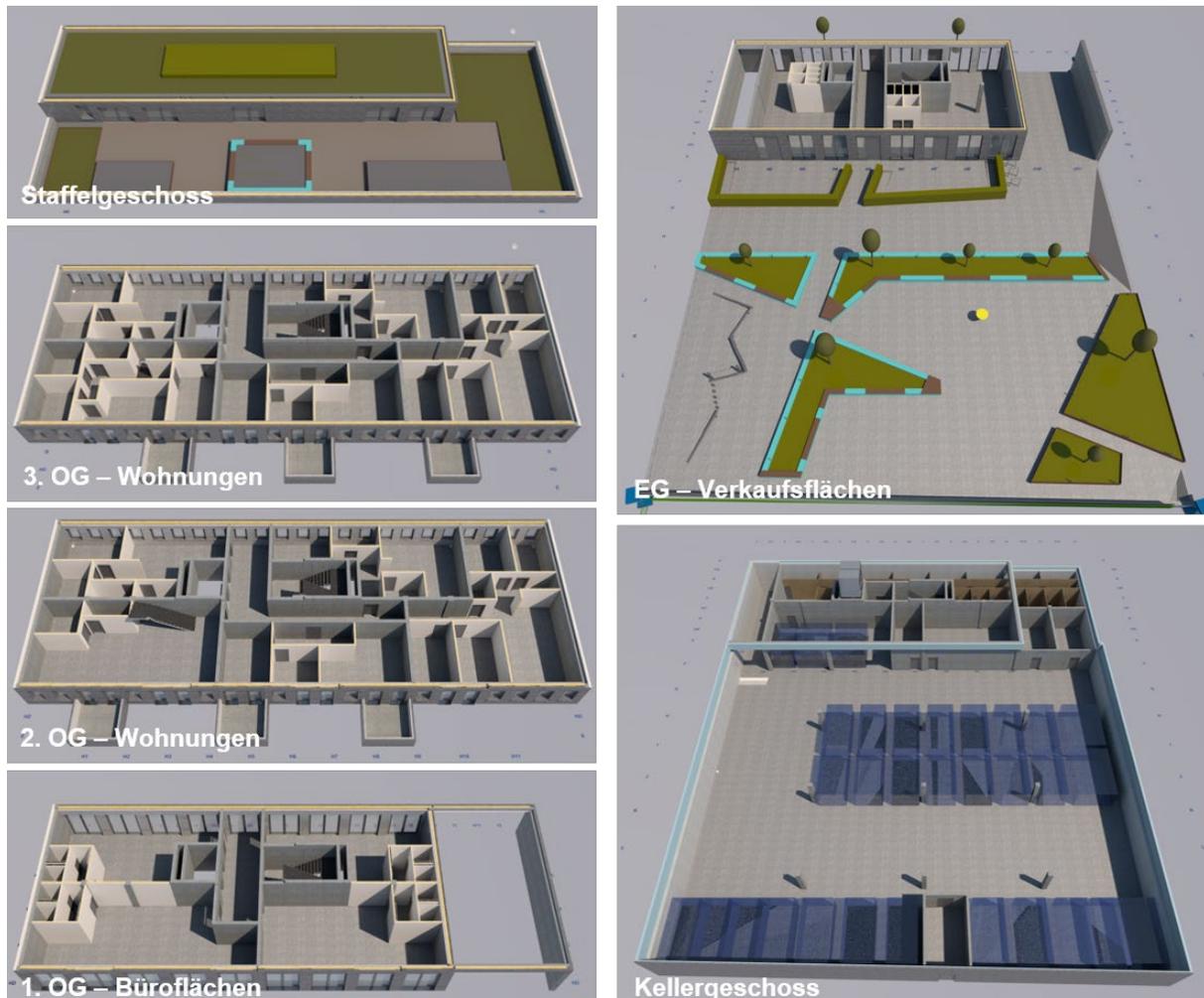


Abbildung 18: Übersicht zu den einzelnen Geschossen

Das Wohn- und Geschäftsgebäude mit Veranstaltungsflächen auf der Dachterrasse umfasst vier Vollgeschosse sowie ein weiteres Staffelgeschoss. Daraus ergibt sich eine Gebäudehöhe von ca. 18 m und einer Bruttogrundflächen von ca. 500 m².

Durch die genaueren Angaben der lokalen Behörde war es möglich, das fiktive Gebäude auf ein digitales Geländemodell zu georeferenzieren. Mit positionsgetreuen Null- und Kontrollpunktkörpern der Georeferenzierung wurde das BIM-Modell im IFC-Format an die Freiraumplaner übergeben [32], die auf dieser Grundlage ein weiteres Fachmodell für die Freiraumplanung (FRL) erarbeitet haben (Abbildung 17, rechts).

Die Grundlage des Mustergebäudes war das VDI-Musterhaus mit Tiefgarage, Staffelgeschoss und Gewerbeflächen, welches aber in seinem geometrischen Ausarbeitungsgrad (LOG) nicht einem Liefergegenstand am Ende der Entwurfsplanung (HOAI LPh 3) entsprach und deshalb von Grund auf

neu entwickelt wurde. Das Bauwerksmodell wurde architektonisch so ausgestaltet, dass es den Anforderungen möglichst vieler Paragraphen der MBO genügt. Es übertrifft in seinem geometrischen Ausarbeitungsgrad den in der VDI-Richtlinie 2552 Blatt 4 Anhang B vorgegebenen Level of Development LOD 210 (hier LOG). Höhere LODs / LOGs der späteren Leistungsphasen zeichnen sich nur noch höhere planerische Präzision aus, aber nicht durch höheren Detailreichtum.

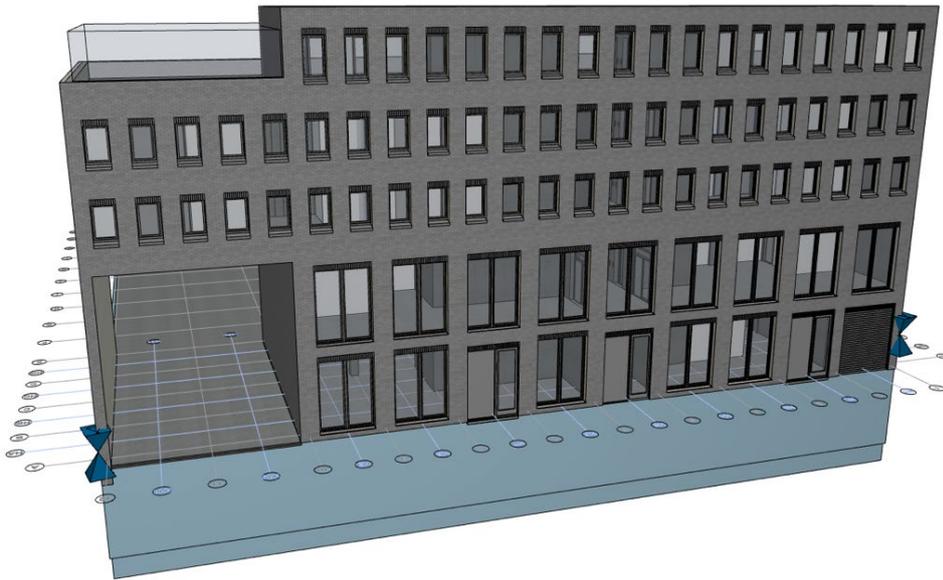


Abbildung 19: Vorderansicht von Straßenseite des finalen Mustergebäude

Im späteren Verlauf wurde das Gebäude auf ein real existierendes Flurstück der HafenCity eingepasst. Dazu wurden entsprechende ALKIS Grundlagen von der Stadt Hamburg vom *Landesbetrieb für Geoinformation und Vermessung (LGV)* zur Verfügung gestellt. Das BIM-Modell wurde abermals planerisch an das Grundstück angepasst, um einen möglichst hohen Praxisbezug unter den Rahmenbedingungen durch den dort bestehenden B-Plan abzubilden. Durch die sehr geringe vorgegebene Tiefe des Gebäudes, war die Realisierung einer Tiefgarage nur unter dem Gebäude nicht möglich. Die Tiefgarage wurde daher vergrößert und befindet sich nun auf der gesamten Fläche des Grundstückes. Zusätzlich wurde die Garagenzufahrt von der Rückseite des Gebäudes (Abbildung 19) auf die vordere Seite verlegt (straßenseitig).

Um die verschiedenen Nutzungsarten abzudecken, wurden die Einheiten Gewerbe, Wohnen und Veranstaltung realitätsnah ausgestaltet. Zeitnah zu den Sprints, mit denen die Paragraphen der MBO sukzessive in Eigenschaftensätzen der MRL formuliert wurden, wurde das Bauwerksmodell in dem Autorensystem nachbemustert. D.h. Objekte wie Räume, Wände, Decken, Fenster und Türen wurden nicht mehr geometrisch verändert, sondern Attribute und Datentypen kamen hinzu und den einzelnen Objekten mussten die Eigenschaftswerte zu gewiesen werden. In einer realen Planungssituation ist dieser iterative Aufwand nicht mehr nötig, da die Attribuierung von Anfang an feststeht und Werte während der Modellierung oder nur Änderungen vergeben werden.

Nachträglich wurde im Rahmen des Sprints „Brandschutz“ beschlossen, eine Nutzungseinheit über zwei Geschosse zu führen; auch hier, um einem größtmöglichen Spektrum an Kombinationsmöglichkeiten und Eventualitäten Rechnung zu tragen.

Parallel hat die GSP in einer der gängigen BIM-Koordination-Software (DESITE BIM) einen Prototyp zur geometrisch-semanticen Prüfung einiger MBO-Paragrafen entwickelt. Dabei wurden bereits erste Fehler in der eigenen Attribuierung und Modellierung gefunden, die zuvor im Autorensystem Archicad® nicht sichtbar waren. So gehörte das Gebäude wegen einer Höhendifferenz von 60 cm und zu vieler Nutzungseinheiten nicht mehr zur Gebäudeklasse 4, sondern zu der Gebäudeklasse 5.

Ein besonderes Augenmerk galt der Gebäudehöhe und der damit verbundenen „Ermittlung der Gelände Höhe im Mittel“ (Abbildung 20). Im Ergebnis muss der Planer an geeigneter Stelle sichtbar einen Kontrollkörper anlegen, der die „Gelände Höhe im Mittel“ repräsentiert und als Bezugspunkt zur Höhenermittlung der Gebäudeklasse (GK) gilt. Durch die Georeferenzierung kann diese wiederum mit dem amtlichen Digitalen Gelände-Modell (DGM) verglichen werden, was aber nicht mehr im Rahmen des Forschungsvorhabens abgebildet werden kann.

verschieden Nutzungsarten	Wohnen, Gewerbe, Versammlung, Büro
Geschossigkeit	4 Vollgeschosse und 1 Staffelgeschoss
Gebäudehöhe	Höhe 18,05 m
BGF	538,99 m ²
Gebäudeklasse	5
Einhaltung des Bebauungsplans	Bebauungsplan Hafencity 11

Abbildung 20: Wichtige ermittelte Kennwerte des Gebäudes

Das Digitale Geländemodell (DGM) des Landesbetriebs für Geoinformation und Vermessung (LGV) der Freien und Hansestadt Hamburg wurde aus einem existierenden Projekt zur Verfügung gestellt und nicht neu erzeugt. Durch die Georeferenzierung konnte das DGM nachträglich in das Bauwerksmodell transformiert werden. Ein kombinierter Maßstabsfaktor kam aufgrund der vergleichsweise geringen Gebäudegröße nicht zum Einsatz, da die Abweichungen zu den Koordinaten der Projektion dem Referenzsystem (UTM 32) unter den Bautoleranzen liegen.

Zu einem späteren Zeitpunkt wurde mit der Entwicklung eines Fachmodells der Freiraumplanung passend zu dem Gebäude und dem Flurstück durch die Hochschule Osnabrück entschieden, dass das reine DGM-Fachmodell abgelöst wird und entsprechende Außenanlagen sowie Flächen mit besonderen Eigenschaften als Räume abbildet werden. Mit derselben Methodik wie das DGM des LGV wurde das Fachmodell Freiraumplanung unter Berücksichtigung der Georeferenzierung mit Kontroll- und Nullpunktkörpern in das Koordinatensystem des Bauwerksmodells transformiert und kann somit ebenfalls die Bauantragsprüfung einbezogen werden.

Alle Eigenschaftensätze und Attribute der MRL wurden iterativ in das BIM-Modell des Demonstrators eingebracht, um zur Evaluation derselbigen und der Prüfregeln zu dienen. Wie eingangs beschrieben, war der Weg zu dem Demonstrator-Modell atypisch für eine reale Planung in den Leistungsphasen 3

und 4. Es zeigt jedoch auch, dass abgesehen von der zeitaufwendigen und iterativen Attribuierung, eine nachträgliche Kombination und Georeferenzierung möglich und wertvoll sein kann.

3.3 Regelbasierte Modellprüfung zur Feststellung der Normen-Konformität

Wie bereits in der Anforderungsanalyse beschrieben (Abschnitt 2.5) geht die formale Prüfung der fachlichen Prüfung voraus. Es muss zunächst Normen- und Richtlinien-Konformität des Bauwerksmodells festgestellt werden, bevor diese für eine fachliche Prüfung freigegeben werden kann. Ein Bauwerksmodell wird als konform angesehen, wenn die beschriebenen Eigenschaften der MRL vollständig und sprachlich exakt im BIM-Modell wiederzufinden sind. Zur Umsetzung einer formalen Prüfung kann auf bestehende Schemata und Konzepte zurückgegriffen werden. Zum einen MVD und zum anderen IDS (siehe Abschnitt 2.6.2).

3.3.1 Bewertung der Vorgraben bezüglich Normen-Konformität

Bei der Erstellung der MRL wurden die Informationen der MBO bereits in eine technische Schreibweise überführt. Diese Informationen werden hauptsächlich als Eigenschaften mit expliziter Benennung vorgeschrieben, welche bis hin zu den Werte-Typen ausgedrückt werden. Von einem MBO konformen BIM-Modell wird erwartet, dass die Begriffe der dazugehörigen MRL ohne sprachliche Änderungen oder Abweichungen in der Definition im BIM-Modell vorhanden sind. Die Prüffälle werden nach den Eigenschaftsgruppen unterschieden, sodass jede Prüfung eine spezifische Gruppe von IFC-Entitäten filtert und individuell validiert. Im Wesentlichen bedeutet es, dass zu jeder Vorlagedatei (PSD) eine passende Prüfung (MVD oder IDS) existiert und daraus abgeleitet werden kann. Genau dies ist im Rahmen des Projekts für jede Eigenschaftsgruppe der MRL durchgeführt worden. Insgesamt 37 formale Prüfungen sind demnach erstellt worden, welche mit den verfügbaren Werkzeugen eingelesen und gegen das BIM-Modell validiert werden können (Abbildung 21).

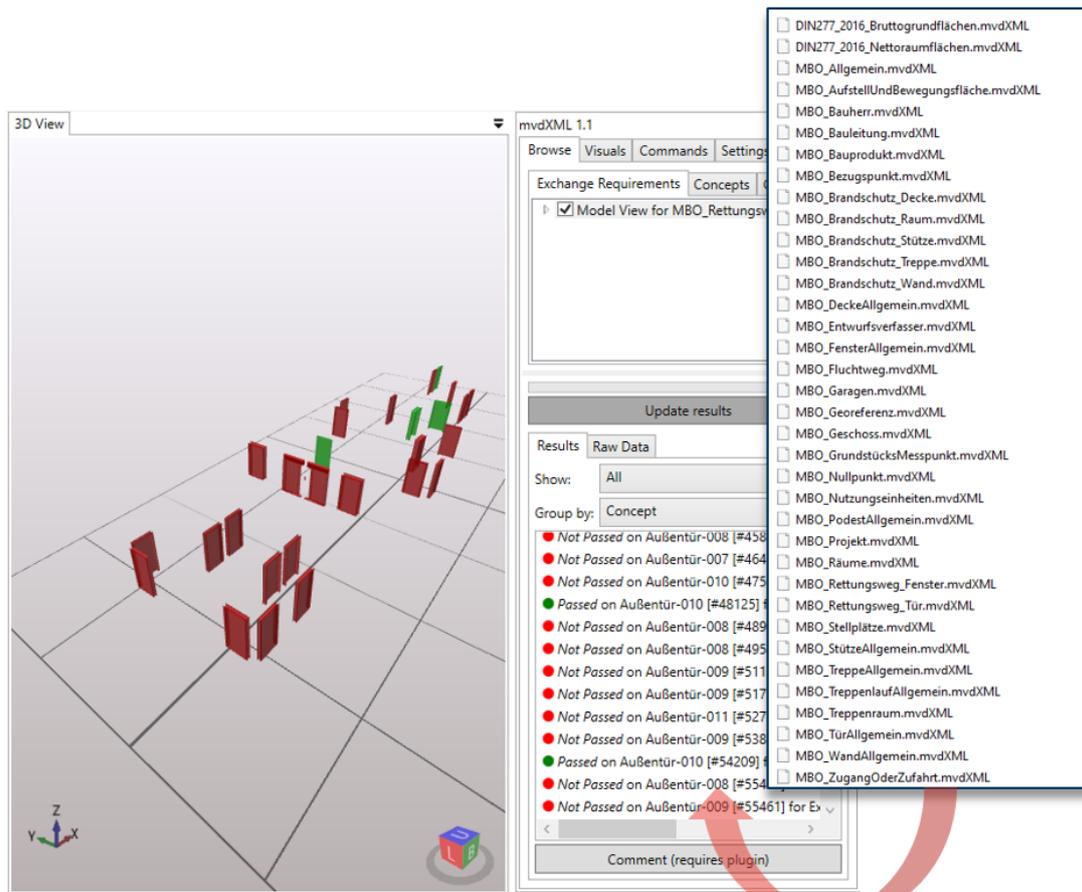


Abbildung 21: Prüfung der MBO-Anforderungen an den Rettungsweg für Türen durch MVD in Werkzeugen wie dem Xbim Explorer

3.4 Regelbasierte Modellprüfung zur Feststellung der Modell-Qualität

Die erstellten Iterationen des Bauwerksmodells/Modelldemonstrators sind fortlaufend für die Entwicklung von Regeln zur Kontrolle der Modellkonformität und -qualität im Hinblick der Anforderungen der MBO genutzt worden. Zum einen wurde für die formale Prüfung dabei auf etablierte offene Standards und Formate gesetzt, wie die *Model View Definition* (MVD) und der *Information Delivery Specification* (IDS). Diese so festgelegten Prüfdokumente sind passend zur MRL gepflegt worden und erlaubten es, kontinuierlich die Konformität zur MRL-Attribuierung zu überprüfen. Zum anderen wurde für die fachliche Prüfung auf das neu entwickelte und offene Format OpenBIMRL gesetzt. Durch OpenBIMRL konnten transparente Prüfabläufe in einer Graphen-basierten Schreibweise formuliert werden, welche auch die Verrechnung und Prüfung von Modellgeometrie erlaubt. Hier steht die Prüfung spezifischer Modellqualitäten im Vordergrund, welche zum Ziel hat, die Handlungsspielräume der MBO-Anforderungen sinnvoll aufzulösen und durch eine Parametrik, im Gegensatz zu gängigen proprietären Anwendungen, für Anwender zugänglicher und transparenter zu gestalten. Im Folgenden werden umgesetzte Prüfabläufe näher beschrieben und die Herausforderungen im Zusammenhang mit der MBO herausgestellt.

3.4.1 Bewertung der Vorgaben bezüglich der Gebäudeklasse

Wie bei der Anforderungsanalyse aus Abschnitt 2.2.1 bis 2.2.3 bereits hervorgeht, ist die Bestimmung der Gebäudeklasse einer der wesentlichen Voraussetzungen für die Vorgaben der Musterbauordnung und Grundlage für eine ganze Reihe abhängiger Prüffälle.

Beispielsweise verweisen die brandschutztechnischen Baubestimmungen der Wände und die Klassifizierung von Trennwänden direkt auf die Gebäudeklasse, um je nach vorliegendem Fall strengere Vorgaben an die Feuerwiderstandsklassen und das Brandverhalten der Bauteile zu bestimmen.

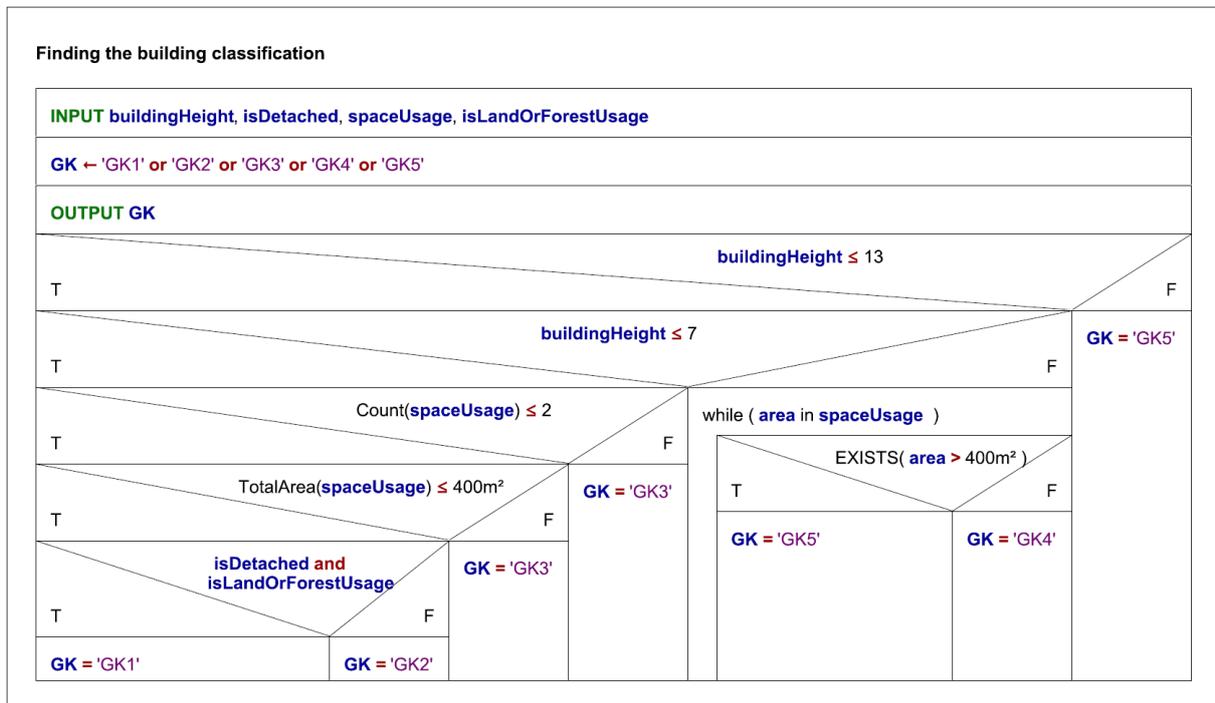


Abbildung 22: Nassi-Shneiderman Diagramm zum Prüfablauf der Gebäudeklasse

Der Ablauf der Bestimmung der Gebäudeklasse nach MBO §2 ist in einem Nassi-Shneiderman-Diagramm technisch formalisiert worden (Abbildung 22). Je nach Fallunterscheidungen und den vorliegenden Eingangswerten verzweigen die Prüfabläufe und resultieren mit den bestimmten Gebäudeklassen (GK1 – GK5). Es müssen also zunächst eine ganze Reihe von Eingangswerten bestimmt werden, welche selbst der Gebäudeklasse vorausgehen und als Information dem Modell entnommen werden müssen:

- *buildingHeight* - Die Gebäudehöhe, welche hier von der mittleren Geländehöhe bis zur Fußboden-Oberkante (FOK) des obersten Geschosses mit Aufenthaltsraum bemessen wird.
- *spaceUsage* - Die Summe und Einzelwerte der Raumflächen gruppiert nach Nutzungseinheiten.
- *isDetached* - Eine Information, ob das Gebäude freistehend ist, was sich in Abhängigkeit zu der Nachbarbebauung ausschließen lässt.
- *isLandOrForestUsage* - Eine Information, ob das Gebäude für Land und Forstwirtschaftliche Nutzung vorgesehen wird.

3.4.1.1 Prüfung der Gebäudehöhe in Abhängigkeit zur Geländehöhe

Die Gebäudehöhe nach MBO-Vorschrift orientiert sich an zwei wesentlichen Informationen, welche als Basis der Höhenmessung dienen. Zum einen wird das Mittel der Geländeoberfläche des Bauwerks als unterstes Maß erfordert. Zu anderen wird die Fußbodenoberkante (FOK) des obersten Geschosses mit Aufenthaltsraum als oberes Maß erfordert. Wie festgestellt wird, handelt es sich bei den Anforderungen um eine geometrische Bedingung, welche das Gelände in Abhängigkeit zu dem Fußboden des obersten Geschosses setzt. Individuell betrachtet, erfordert die Prüfung zunächst die Identifizierung des Geländemittels und die Identifizierung des höchstgelegenen Aufenthaltsraums, sowie ihre Zuordnung zum Geschoss. Diese Feststellung macht aus einer scheinbar simplen

Information (Gebäudehöhe) eine komplexe Anforderung mit spezifischen Voraussetzungen an die Modellierung und Prüfung.

Die Höhenlage des Gelände im Mittel (Geländemittel) wird üblicherweise als Mittel nach dem Mantelflächenverfahren (siehe [15], Seite 20) zwischen den Höhendifferenzen der Kontaktfläche zwischen Gebäude und Gelände bestimmt. Die meisten Gebäude sind jedoch nicht auf einem unebenen Gelände aufgesetzt, welcher die Berechnung des Geländemittels erfordert. Zur Vereinfachung im Rahmen der MBO wurde das berechnete Geländemittel explizit modelliert und in ein Konus Körper übersetzt, dessen Spitze die mittlere Geländehöhe markiert.

Die Ermittlung der Fußbodenoberkante wird schrittweise durch eine Untersuchung der Relationen von Raum zu Geschoss und Geschoss zu Bauteil durchgeführt. Zunächst muss der höchstgelegene Aufenthaltsraum im Gebäude identifiziert werden. Dies kann durch einen Abgleich der Geometrie-Koordinaten gelöst werden. Auch wenn hier logischerweise mehrere Räume als Teilmenge gefiltert werden können, so reicht für die Ermittlung des FOK ein gefundener Aufenthaltsraum aus. Üblicherweise stehen die Bauteile eines IFC-Modells (zu denen auch die Räume zählen) in direkter Relation zu dem Geschoss, in dem sich der Raum befindet. Über diese Relationen (IfcRelAggregates und IfcRelContainedInSpatialStructure) ist es möglich, das zugehörige Fußbodenbauteil (IfcSlab) des Geschosses zu filtern. Anhand der Fußboden-Bauteil-Geometrie ist die Höhenlage der Oberkante zu bemessen (siehe [15], Seite 20).

3.4.1.2 Prüfung der Raumflächen von Nutzungseinheiten

Die Anforderung an die Nutzungseinheiten (NE) ist modellierungstechnisch durch die Angabe von Raum-Objekten (IfcSpace) gelöst. Für die Prüfung der NE werden Raum-Objekte gefiltert (nach attributierter NE) und deren Flächen miteinander verrechnet. Eine NE selbst ist dabei ein Raum, welcher mehrere Teilräume kapselt und gruppiert. Das NE-Raumobjekt gibt dabei die Raumbegrenzung an, sodass durch geometrische Überschneidungen mit den Bauteilen, wie Wand (IfcWall) und Stütze (IfcColumn), eine Identifizierung anliegender Bauteile pro NE möglich ist. Raumobjekte, welche innerhalb derselben NE gruppiert sind, beschreiben dabei den Nettoraumfläche, wohingegen die NE selbst als Bruttogrundfläche definiert ist. Die BGF-Eigenschaften werden unter anderem für die Detektion von Trennwänden genutzt (siehe Abschnitt 3.4.3) und für die Gebäudeklasse als Identifikation der Gesamtfläche im Gebäude.

3.4.1.3 Ergebnisse der fachlichen Regelprüfung der Gebäudeklasse

Die Prüfung der Gebäudeklasse (GK) setzt voraus, dass eine GK manuell vorattribuiert im Bauwerksmodell vorliegt. Das bedeutet, das Gebäude kennt bereits eine GK und fordert über die Prüfung, die Richtigkeit der Attribuierung festzustellen. Die Vorattribuierung dient vor allem dem Abgleich gegen die ermittelten GK der Prüfung, um bewerten zu können, ob die Erwartung der Modellierung erfüllt werden konnte oder ob es Abweichungen gegenüber den Vorgaben gibt. Je nach GK1 – GK5 werden zudem unterschiedliche Randbedingungen für die Eingabewerte aus Abschnitt 3.4.1.1 und 3.4.1.2 geprüft. Jede GK stellt daher individuell einen eigenen Prüfablauf dar, welcher in Abhängigkeit zur Vorattribuierung selektiv ausgeführt wird.

Ist beispielsweise das Gebäude mit GK5 vorattribuiert, wird die Prüfregele für die Gebäudeklasse 5 ausgeführt, um die Richtigkeit der Attribuierung festzustellen. In der prototypischen Umsetzung wird ein Protokoll des gesamten Prüfablaufs ausgegeben (Abbildung 23). Eine schrittweise Überprüfung der Teilergebnisse ermöglicht es das Ergebnis in seinem Vorgang nachzuvollziehen.

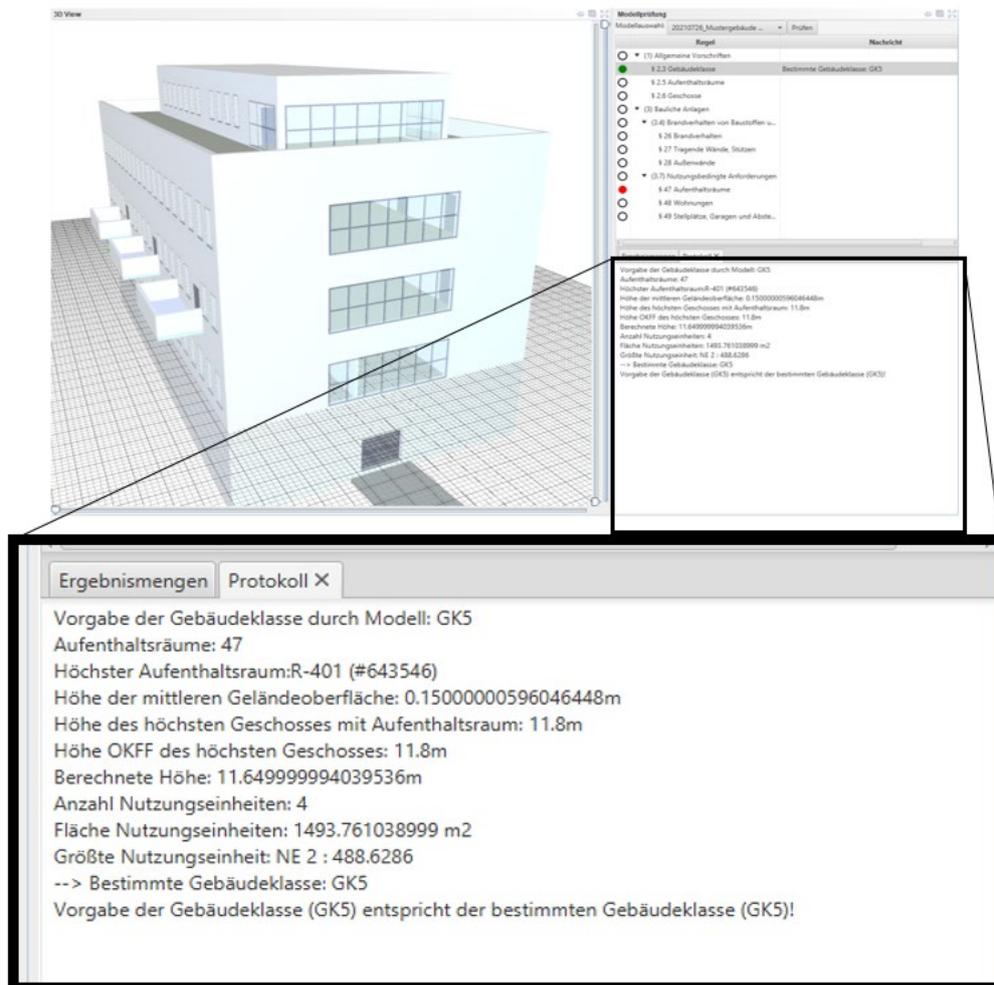


Abbildung 23: Protokoll der fachlichen Prüfung für die Bestimmung der Gebäudeklasse

3.4.2 Bewertung der Vorgaben bezüglich des Brandschutzes

Die brandschutztechnischen Vorgaben innerhalb der MBO machen ca. 50% aller Bauteil-Anforderungen aus. Wenn man die zusätzlichen Anforderungen an Raum-Objekte (Nutzungseinheiten) und die Verortung mit in Betracht zieht, sind es ca. 75%. Bei den brandschutztechnischen Vorgaben handelt es sich im Wesentlichen um Anforderungen an das Brandverhalten von Bauteilen und Baustoffen, der Feuerwiderstandsfähigkeit und dem Verhalten von Bauteilen bei Rauchentwicklung (MBO §26 - §38).

Die Prüfung des Brandschutzes wird auf zwei Aspekte der Bauteile angewandt:

1. Prüfung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen (Wände, Stützen und Decken), welche in die Kategorien *feuerhemmend*, *hochfeuerhemmend* und *feuerbeständig* zu gliedern sind.
2. Prüfung des Brandverhalten von Baustoffen, welche in die Kategorien *nichtbrennbar*, *schwerentflammbar* und *normalentflammbar* Baustoffe zu gliedern sind.

3.4.2.1 Prüfung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen

Um die Zuordnung bezüglich der Feuerwiderstandsfähigkeit nach MBO-Vorgaben durchführen zu können, wurde eine Attribuierung in Tragfähigkeit (TR) und den Raumabschluss (RA) für jedes Bauteil separat angegeben. Diese Trennung ist erforderlich, da teilweise unterschiedliche Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit für TR und RA innerhalb der MBO gestellt werden, so beispielsweise in

MBO §28 Absatz 2. Für die genaue Zuordnung wird hier explizit die DIN 4102-2 [8] mit in die Kalkulation aufgenommen (siehe Abbildung 24).

Darüber hinaus sind je nach Bauteil individuelle Eigenschaften mit aufgenommen worden, um die Berücksichtigung einer zusätzlichen mechanischen Beanspruchung zum Ausdruck zu bringen, welche insbesondere bei Brandwänden erforderlich sind und sich demnach abheben von anderen Wandbauteilen.

Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen nach DIN 4102-2 und ihrer Zuordnung zu den bauaufsichtlichen Anforderungen (Auszug aus DIN 4102-2, Tabelle 2)						
Zeile	Bauaufsichtliche Anforderung nach MBO (Abweichungen in einzelnen LBOs)	Feuerwiderstands klasse nach DIN 4102-2 Tabelle 1	Baustoffklasse nach DIN 4102-1 für		Benennung der Feuerwiderstandsfähigkeit	Kurzbezeichnung
			wesentliche Teile	übrige Bestandteile		
1	feuerhemmend	F 30	B	B	Feuerwiderstandsklasse F30	F30B
2			A	B	Feuerwiderstandsklasse F30 und in den wesentlichen Teilen aus "nichtbrennbaren" Baustoffen	F30 - AB
3			A	A	Feuerwiderstandsklasse F30 und aus „nichtbrennbaren“ Baustoffen	F30 - A
4	nicht hochfeuerhemmend[1]	F 60	B	B	Feuerwiderstandsklasse F 60	F 60 - B
M-HFHolzR[2] Pkt. 3.2	hochfeuerhemmend		B [K ₂ 60]	B	Feuerwiderstandsklasse F 60, tragende und aussteifende Teile aus brennbaren Baustoffen mit einer allseitigen brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen (Brandschutzbekleidung), Dämmstoffe aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 60 - B K260
5			A	B	Feuerwiderstandsklasse F 60 und in den wesentlichen Teilen aus "nichtbrennbaren" Baustoffen	F 60 - AB
6			A	A	Feuerwiderstandsklasse F 60 und aus „nichtbrennbaren“ Baustoffen	F 60 - A
7	nicht feuerbeständig[1]	F 90	B	B	Feuerwiderstandsklasse F 90	F 90 - B
8	feuerbeständig		A	B	Feuerwiderstandsklasse F 90 und in den wesentlichen Teilen aus "nichtbrennbaren" Baustoffen	F 90 - AB
9			A	A	Feuerwiderstandsklasse F 90 und aus „nichtbrennbaren“ Baustoffen	F 90 - A

[1] Ausnahmen in einzelnen Landesbauordnungen
[2] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise – M-HFHolzR (Fassung Juli 2004)

Abbildung 24: Auszug aus der DIN 4102-2 mit einer Auflistung der Feuerwiderstandsklassen für Bauteile¹⁹

3.4.2.2 Prüfung des Brandverhalten von Baustoffen

Eine wichtige Erkenntnis bei der Digitalisierung und Aufbereitung der Brandschutz-Anforderungen für die Modellierungsrichtlinie ist die Notwendigkeit, eine klare Abgrenzung zu schaffen zwischen den Anforderungen an das Brandverhalten auf Bauteilebene gegenüber denen der Baustoffebene. Da im Rahmen des Projekts die Zielsetzung auf den Anforderungen im Rahmen der Genehmigungsphase (HOAI LPh4) und der damit verbundenen Planung gelegt wurde, übersteigt ein Abbild des Modells auf Baustoffebene die Voraussetzungen der Baugenehmigung. Die Ausarbeitung der Baustoffe und der damit verbundenen Bauteil-Detailierung obliegt der Ausführungsphase (HOAI LPh5). Die MRL beschreibt die Attribuierung daher ausschließlich in generalisierter Form auf Ebene der Bauteile, siehe *Anhang A* für mehr Informationen.

Die Generalisierung des Brandverhaltens der Baustoffe sieht es vor, das Brandverhalten auf Bauteilebene in die Gruppen der *wesentlichen Teile* und die Gruppe der *restlichen Teile* zu unterteilen. Dadurch ist das Brandverhalten dennoch prüfbar, auch wenn die Baustoffe nicht direkt modelliert sind.

¹⁹ Abbildung entspricht der DIN 4102-2 Tabelle 2; Originale Bildquelle entnommen dem Baunetz Wissen Portal: <https://www.baunetzwissen.de/brandschutz/fachwissen/baustoffe-bauteile/anforderungen-an-bauteile-3138963>

- *Brandverhalten wesentliche Teile* – definiert, welche Klassifizierung die maßgeblichen Baustoffe des Bauteils in Summe hauptsächlich aufweisen. Wesentliche Teile sind (a) tragende und aussteifende Teile oder (b) bei raumabschließenden Bauteilen eine in der Bauteilebene durchgehenden Schicht.
- *Brandverhalten restliche Teile* – definiert, welche Klassifizierung die übrigen Baustoffe des Bauteils in Summe aufweisen. Restliche Teile sind alle Teile, die nicht als wesentliche Teile eingestuft sind.

3.4.2.3 Ergebnisse der fachlichen Prüfung des Brandschutzes

Die Prüfung für die Feuerwiderstandsfähigkeit ist vollständig formalisiert in Abbildung 25 dargestellt und zeigt die Entscheidungsfindung als Zustandsdiagramm auf, mit Informationsabfragen aus dem BIM-Modell in jeder Verzweigung. Für die Ermittlung der Feuerwiderstandsfähigkeit sind drei wesentliche Informationen pro Bauteil relevant:

1. Bauteil *Standfestigkeit* – Eine Angabe im BIM-Modell, ob es sich um ein tragendes oder aussteifendes Bauteil handelt.
2. Bauteil *Lage* – Es ist zu ermitteln in welchem räumlichen Kontext das zu prüfende Bauteil sich befindet (im Kellergeschoss, oberirdisch, im Dachraum, auf dem Balkon, usw.). Die Lage ist über eine geometrische Prüfung nachweisbar, über Identifizierung von Schnittkörpern und Nachbarschaften.
3. *Gebäudeklasse* – Eine Klassifizierung des Gebäudes, nummeriert von 1 bis 5. Diese Klassifizierung dient als finale Fallunterscheidung der Identifizierung der Feuerwiderstandsfähigkeit modellierter Bauteile.

Jedes Bauteil, hier explizit Wände und Stützen, wird über den Prüfablauf individuell verprobt. Die Bauteile sind mit der Klassifizierung nach Feuerwiderstandsfähigkeits-TR und Feuerwiderstandsfähigkeits-RA vorattribuiert. In Regelsprachen wie OpenBIMRL, können über eine Filterung nach Eigenschaften, alle relevanten Bauteil-Informationen vorverarbeitet werden, bevor diese durch die Regelprüfung individuell evaluiert werden (Abbildung 26).

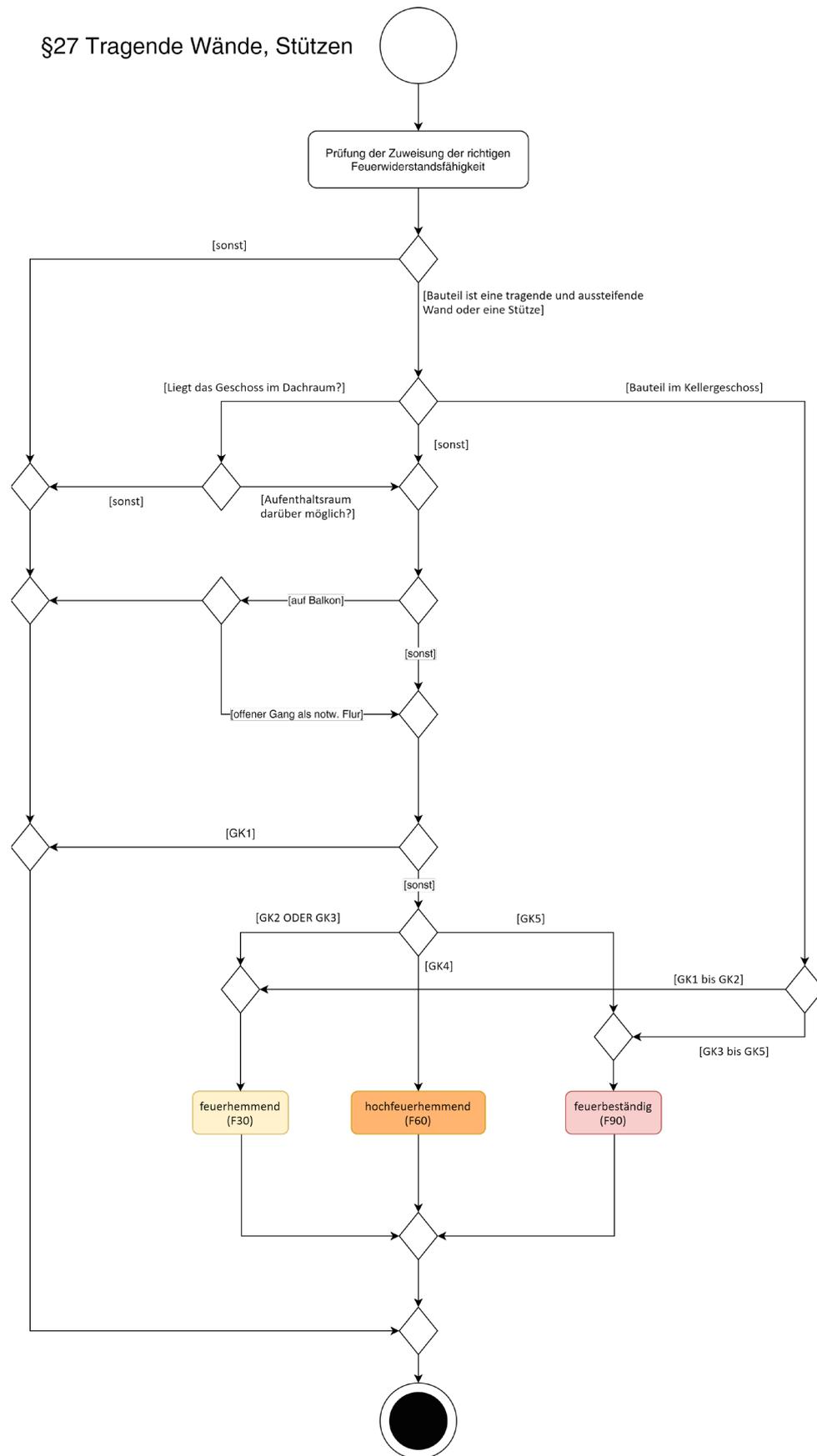


Abbildung 25: Formalisierter Prüfablauf für die Untersuchung der zugewiesenen Feuerwiderstandseigenschaften

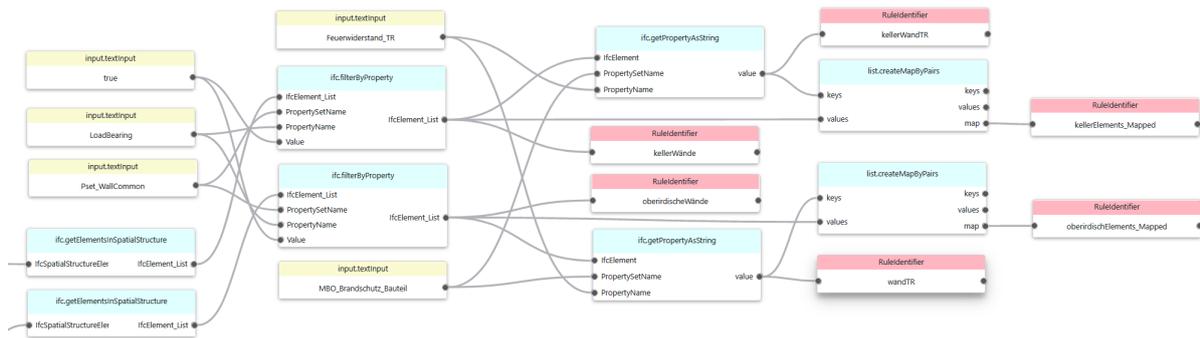


Abbildung 26 Ausschnitt der Vorberechnung für die Prüfung von Feuerwiderstandsfähigkeit einzelner Bauteile

Die implementierte OpenBIMRL-Prüfung erzeugt Ergebnismengen, anhand derer die Prüfergebnisse nachvollzogen werden können. Das Mustermodell ist beispielsweise nach Gebäudeklasse 5 (GK5) attribuiert und erfordert deshalb, dass alle Wand- und Stütz-Bauteile mindestens als feuerbeständig klassifiziert sind. Wie in Abbildung 27 zu erkennen ist, sind Wand-Bauteile mit der „feuerhemmend“-Klassifizierung gefunden worden, die nicht der Vorgabe nach GK5 entsprechen und so zu einem gefundenen Modellierungsfehler führt.

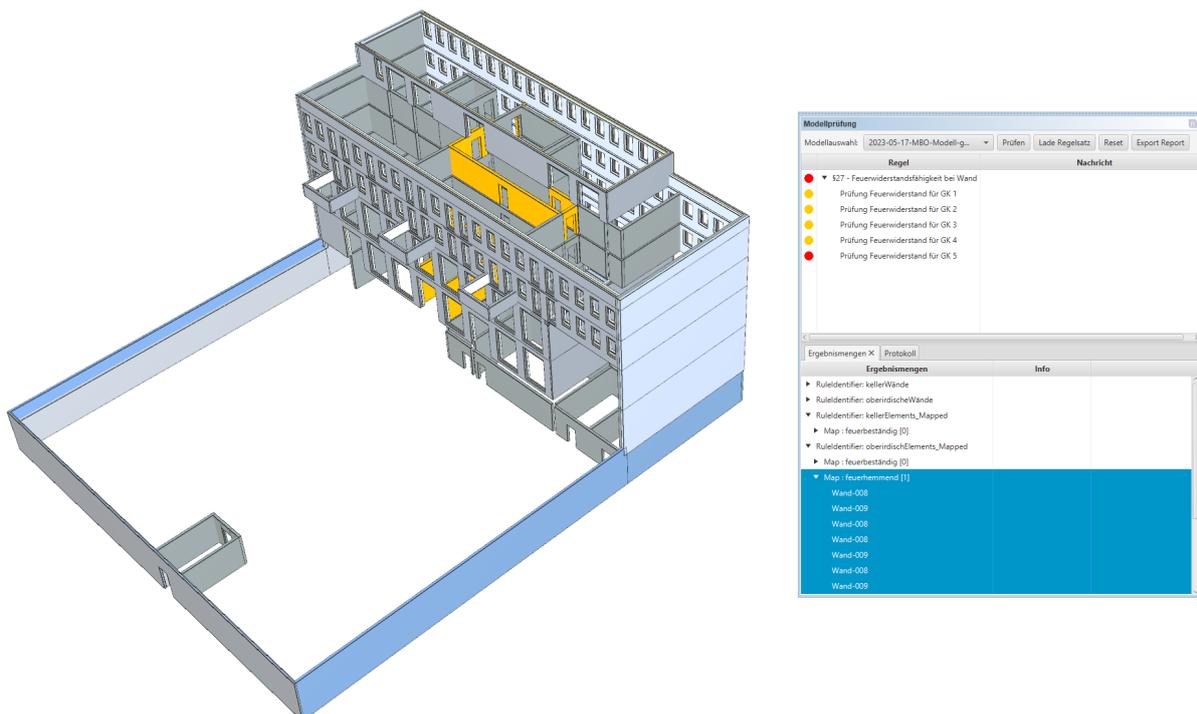


Abbildung 27: Prüfung des Feuerwiderstandsfähigkeit für GK5 mit detektierten Fehlern der Attribuierung

Das Brandverhalten der Bauteile (bzw. Baustoffe) wird vorwiegend als Eingabeparameter bei der Prüfung von Brandwänden (MBO §30 Absatz 7), Treppen (MBO §34) oder Dächern (MBO §32) gebraucht und fließt dort in die Prüfung mit ein. Die Brandverhalten-Attribuierung wird am Modell manuell vorgenommen und hier nicht geprüft. Denn, im Vergleich zur Feuerwiderstandsfähigkeit, ist hier keine Prüfung direkt möglich, da es sich um vorverarbeitete Informationen auf Bauteilebene und auf Basis von Baustoffen handelt, welche im Rahmen des Projekts nicht mit abgebildet werden (wegen der Betrachtung auf die Genehmigungsphase).

3.4.3 Bewertung der Vorgaben bezüglich Trennwände

Bei einer Analyse der Voraussetzungen für die Prüfung und Ermittlung einer Trennwand (MBO §29) wurde deutlich, dass gewisse Teilanforderungen eine intuitive Interpretation der Vorgabe voraussetzen, welche nicht trivial auf eine maschinenlesbare Formulierung zu überführen sind. Die Prüfung der Trennwände nach §29 Absatz 2 der MBO besagt:

„(2) Trennwände sind erforderlich

1. zwischen Nutzungseinheiten sowie zwischen Nutzungseinheiten und anders genutzten Räumen, ausgenommen notwendigen Fluren,
2. zum Abschluss von Räumen mit Explosions- oder erhöhter Brandgefahr,
3. zwischen Aufenthaltsräumen und anders genutzten Räumen im Kellergeschoss.“

Ein Teil der Prüfung erfordert also die Identifizierung der Nutzungseinheiten anhand von Raumobjekten, sowie von Operatoren zur Identifizierung der Nachbarschaft zwischen Geometrien von Räumen und Wand-Objekten, um die Beziehung „zwischen Nutzungseinheiten“ und „zwischen Aufenthaltsräumen“ aufzulösen. Ebenfalls ist zu klären wie der Zustand „Abschluss von Räumen“ am BIM-Modell nachweislich attribuiert oder ermittelt werden soll. Allein für diesen dargestellten Ausschnitt der MBO ergeben sich also gleich mehrere Herausforderungen. Für eine maschinelle Prüfung wird ein konkreter Prüfablauf gesucht, welcher diese Vorgabe überprüfen kann.

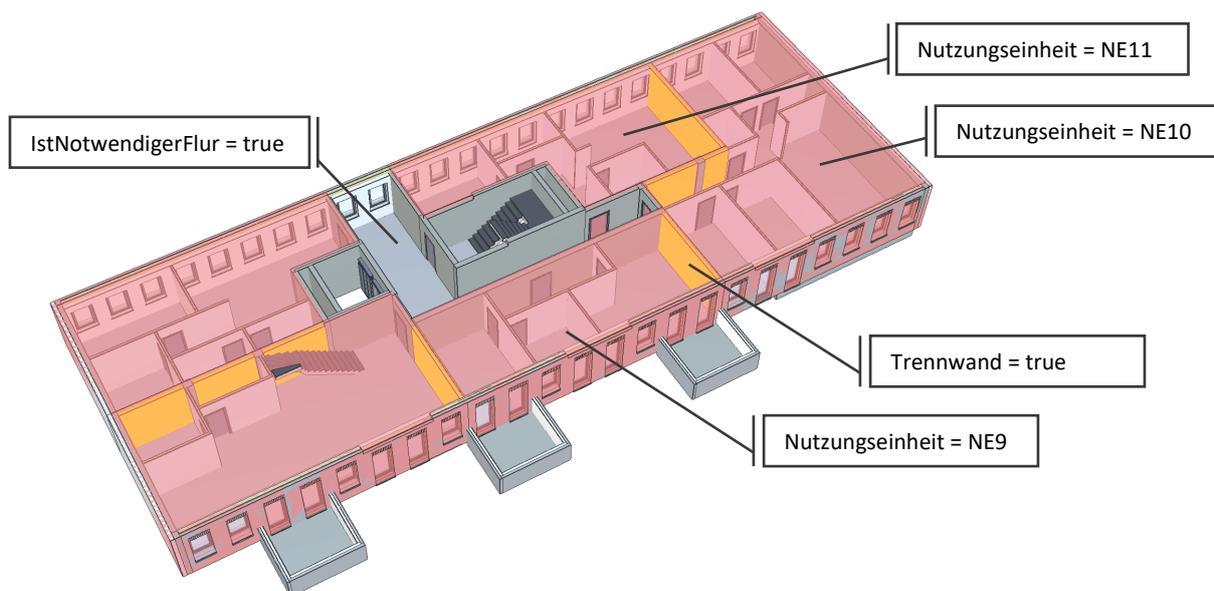


Abbildung 28: Darstellung der Trennwände zwischen Nutzungseinheiten im 2.OG

Der Prüfablauf erfordert eine Klassifizierung der Nutzungseinheiten und Aufenthaltsräume als Raumobjekte. Ein umschließendes Raumobjekt entspricht der Bruttogrundfläche (BGF) als geometrische Raumbegrenzung. Die Innenwände werden als potenzielle Trennwände klassifiziert, wenn diese sich oberirdisch befinden, nicht zur äußeren Gebäudehülle gehören und Nutzungseinheiten voneinander trennen (siehe Abbildung 28). Das Raumobjekt zum Notwendigen Flur wird hierbei nicht in Betracht gezogen, bzw. sind von der Vorgabe nach MBO §29 Absatz 2 Satz 1 explizit ausgenommen. Wie in Abbildung 28 zu erkennen ist, sind Wände, die exakt beim Übergang von einer Nutzungseinheit in die nächste modelliert sind, als Trennwand gekennzeichnet (gelb markierte Wände). Zur Überprüfung der Beziehung „zwischen Nutzungseinheiten“ und „zwischen Aufenthaltsräumen“ werden demnach geometrische Operatoren angewandt, welche den

geometrischen Verschnitt zwischen Objekten bestimmen und deren Anzahl pro Objekt zählen. Diese Anzahl kann als ein numerischer Indikator verstanden werden, welcher in einen Abgleich von manuell attribuierten und durch die Prüfredel detektierten Trennwänden genutzt werden kann, um eine Evaluation des BIM-Modells durchzuführen.

Als Regel kann demnach formalisiert werden:

Wenn eine Innenwand einen Verschnitt mit den Raum-Objekten aufweist, welcher genau oder häufiger als zwei Mal gezählt wurde, dann befindet sich die Wand auf der Schwelle zu den Raum-Objekten und ist damit ein potenzieller Kandidat für eine Trennwand.

Ein Abgleich zwischen den Wand-Elementen x aus der Mengen der, von der Prüfredel detektierten Trennwände (T_{det}) und der attribuierten Trennwände (T_{att}) ermöglicht es dann, Aussagen über das Modell zu treffen.

1. Wenn gilt, dass $\forall x \in T_{att}: x \in T_{det} \Leftrightarrow T_{att} \subseteq T_{det}$
dann sind die Attribuierten Trennwände x wahrscheinlich richtig.
2. Wenn gilt, dass $\exists x \in T_{att}: x \notin T_{det} \Rightarrow T_{att} \not\subseteq T_{det}$
dann sind die Wände x definitiv falsch attribuiert als Trennwand.
3. Wenn gilt, dass $\exists x \in T_{det}: x \notin T_{att} \Rightarrow T_{det} \not\subseteq T_{att}$
dann sind die Wände x wahrscheinlich fehlerhaft oder zu ungenau modelliert.

Im Idealfall ist die Menge der detektierten Trennwände äquivalent mit der Menge der attribuierten Trennwände. Diese Regel ermöglicht es, potenziell fehlerhafte Attribuierungen von Trennwänden zu erkennen. Allerdings wird die Vollständigkeit der Überprüfung nicht garantiert, da die Prüfung stark abhängig von der Genauigkeit des Modells ist. Weichen die Mengen voneinander ab, dann kann dies unterschiedliche Ursachen haben und ist individuell zu untersuchen. Einige solcher Fälle werden im Folgenden genauer betrachtet.

3.4.3.1 Prüfung von Überschneidungen bei Wand-Elementen

In manchen Fällen werden einzelne Wände als potenzielle Trennwand fälschlicherweise mitdetektiert, da ihre Geometrie von einem Raum-Objekt ins nächste Raum-Objekt überschneidet. Die Untersuchung der Nachbarschaft zur Auflösung der Bedingung „zwischen Nutzungseinheiten“ ordnet die Wände der Menge der detektierten Wände mehrfach zu, da die Wand mehrere Überschneidungen aufweist.

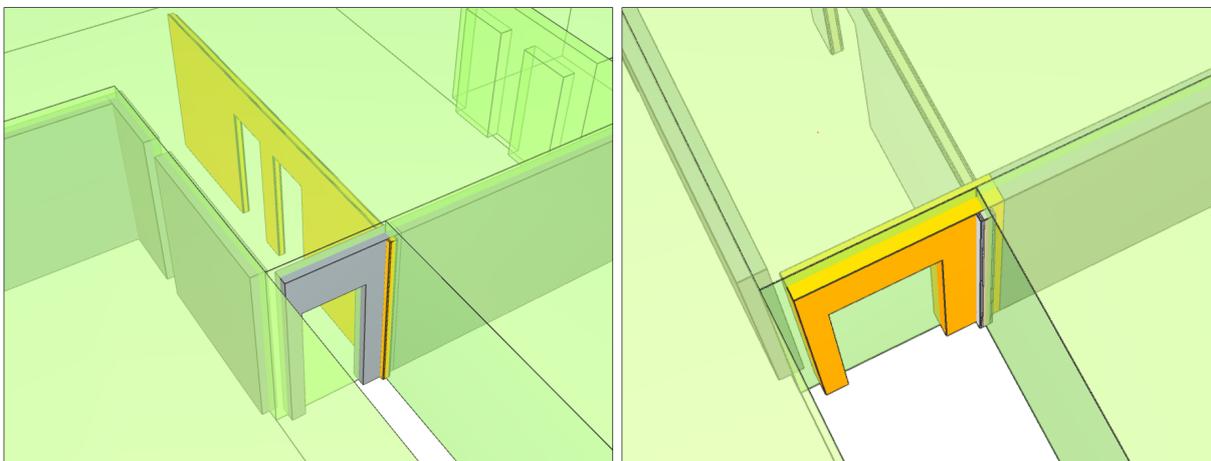


Abbildung 29: Darstellung von überschneidenden Wand-Objekten

Der Grund hierfür sind die Modellgenauigkeit und die Art und Weise wie die Wand partitioniert wurde. Hierbei handelt es sich um ein Modellierungsfehler, der durch eine Kollisionsprüfung zu erkennen und zu korrigieren ist. Die Anschlüsse/Anbindungen der Wände sind an der Ecke in einem Punkt einheitlich zu überlagern, wodurch sich der Fehler korrigieren lässt.

3.4.3.2 Prüfung von fehlenden Partitionierungen bei Wandobjekten

In manchen Fällen sind Wände durchgehend modelliert und weisen einen Verschnitt mit benachbarten Raumobjekten auf. Fehlende Partitionierungen führen dazu, dass diese Wände nur als Ganzes detektiert werden können. In manchen Fällen werden ihnen jedoch unterschiedliche Brandschutzanforderungen zugesprochen (siehe Brandschutzkonzept Ausschnitt in Abbildung 30). Die Prüfung vom Verschnitt zweier Objekte berücksichtigt deren geometrische Form, sodass Teilelemente in Lücken von Räumen fälschlicherweise nicht mit detektiert werden. Es gilt allerdings zu klären, was diese Information für die Prüfung von Nachbarschaften bedeutet. Die Berücksichtigung von Orientierung der Wand- und Raum-Objekte ist nicht trivial und erhöht die Komplexität der Prüfung deutlich.

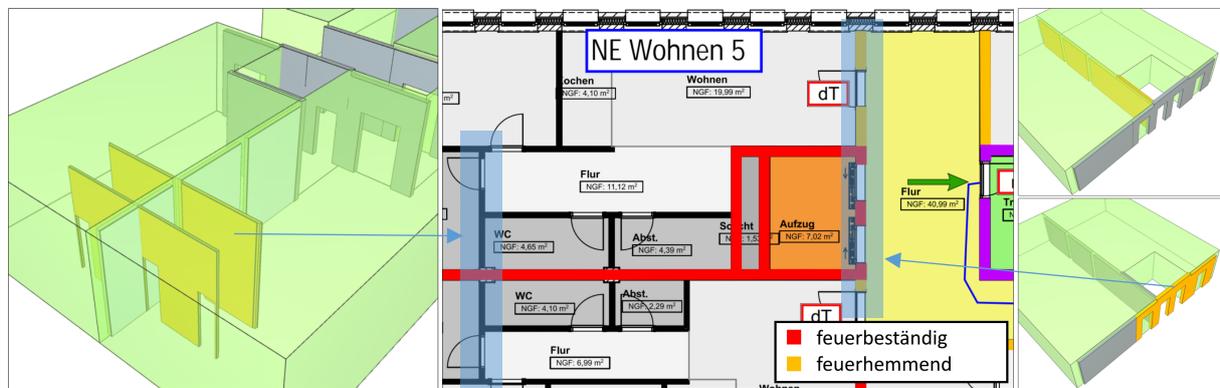


Abbildung 30: Darstellung einer fehlenden Partitionierung bei Trennwänden

Hier wurde eine Anpassung der Modellierung vorgenommen. Die Wände sind zu partitionieren, da hier unterschiedliche Attribute an Teilstücken der Wände zu modellieren sind. Aus den langen Wand-Objekten werden so mehrere kleinere Wand-Objekte mit eigener Identität und Attribuierung. In dem dargestellten Fall (Abbildung 30 links) würde die Wand die Statik durchbrechen (die tragende Trennwand wird geteilt), was keinen Sinn ergibt und nicht der Realität entspricht. Zur Verdeutlichung kann die Prüfregel auch umgekehrt formuliert werden:

Wenn eine Wand keine Trennwand ist, dann darf diese Wand nur in einer Nutzungseinheit vorkommen.

3.4.4 Bewertung der Vorgaben bezüglich Rettungswegen

Die Vorgaben bezüglich Rettungswegen sind im Rahmen der Musterbauordnung (MBO) in Abschnitt fünf enthalten, wobei die Anforderungen aus §33 den Kern der Vorgabe beschreiben. Inhaltlich geben die Paragraphen vor, wie der erste und zweite Rettungsweg zu bestimmen sind. Dazu werden Abhängigkeiten zu Ausgängen und Räumen innerhalb einer Etage für den Rettungsweg gefordert, vor allem über Türen zu notwendigen Treppenträumen oder anleiterbaren Fenstern ins Freie.

Bei der Analyse des Paragraphen wurde vor allem deutlich, dass der Begriff eines Rettungsweges Interpretationsspielraum zulässt. In manchen Normen und Richtlinien wird anstelle eines Rettungsweges von einem Fluchtweg geschrieben. Deshalb wurde im Rahmen dieses Projekts eine Ausdifferenzierung dieser Begriffe vorgenommen, um den Begriff der Rettungswegen im Kontext der MBO zu schärfen und für eine regelbasierte Modellprüfung greifbarer zu formalisieren.

- Als **Rettungsweg** wird das Bauteil betrachtet, welches für die Entfluchtung aus dem Bauwerk oder als Zugang zu einem gesicherten Raum dient. Als gesicherter Raum wird vor allem der nach Brandschutz-Vorschrift attribuierte Treppenraum verstanden, wie notwendiger Treppenraum oder Sicherheitstreppe.
- Als **Fluchtweg** wird der gezeichnete/modellierte Pfad für die Bemessung eines Rettungsweges verstanden. Dieser Pfad wird ausgehend von dem Rettungsweg-Bauteil bis zur der am weitesten entfernten Ecke einer Nutzungseinheit mit mindestens einem Aufenthaltsraum angegeben.

Die Bestimmung der Rettungswege und Fluchtwege wurde etagenweise vorgenommen. Das bedeutet, dass die Fluchtwege beim Erreichen der Rettungswege-Bauteile enden. Durch Expertengespräche mit Behörden und Fachplanern für Brandschutzanforderungen wurde klargestellt, dass das entscheidende Kriterium für die Prüfung der Rettungswege die gemessene Länge der Rettungswege ist. Die Betrachtung einer expliziten Personenbreite wurde dabei nur als Option thematisiert, welche einen variablen Einfluss auf die berechnete Länge haben kann, aber in der Prüfung oft ignoriert wird.

Für die Umsetzung einer MBO konformen fachlichen Prüfregel sind eine Reihe von Voraussetzungen für eine geometrische Prüfung zu erfüllen. Da faktisch die Möglichkeiten zur Modellierung von Flucht- und Rettungswege in den Autorensystemen recht spärlich ausfallen, werden für Rettungswege unterschiedliche Vorgehensweisen umgesetzt und getestet. Im Fokus dieser Ausdifferenzierung ist die Nutzung des offenen Standards IFC zur Angabe und Prüfung der Flucht- und Rettungsweglänge.

3.4.4.1 Prüfung anhand eines modellierten Pfades

Die Option, den Pfad direkt im Modell zu hinterlegen und dadurch wie ein Bauteil prüfbar zu machen, wird als Vorzugsvariante empfohlen, auch wenn hierbei derzeit technische Einschränkungen in Autorenwerkzeugen existieren. Denn unabhängig vom genutzten Werkzeug gibt es mit dem offenen Standard IFC einen passenden Informationsträger zur Modellierung eines Flucht- und Rettungswege.

Wie aus der Modellierungsrichtlinie im *Anhang A* zu entnehmen ist, wird ein Proxy/Annotation Objekt als Bauteil vorgesehen, welches es ermöglicht die Fluchtwege als ein Pfad (Polylinie oder Kurve) zu modellieren und die Bemaßung im Modell auszulesen. Die Länge des Fluchtweges entspricht dabei der gemessenen Länge des Pfades. Die Pfad-Geometrien wurden exemplarisch als *IfcPolyline*-Entitäten modelliert und über eine *IfcShapeRepresentation* als Anmerkung (*IfcAnnotation*) mit einer 3D-Kurve (*Curve3D*) ausgezeichnet (siehe Abbildung 31). Diese Liniendarstellungen ist dann dem Proxy-Bauteil zugeordnet und können über die daran enthaltenen Eigenschaftssätze der MRL identifiziert und geprüft werden.

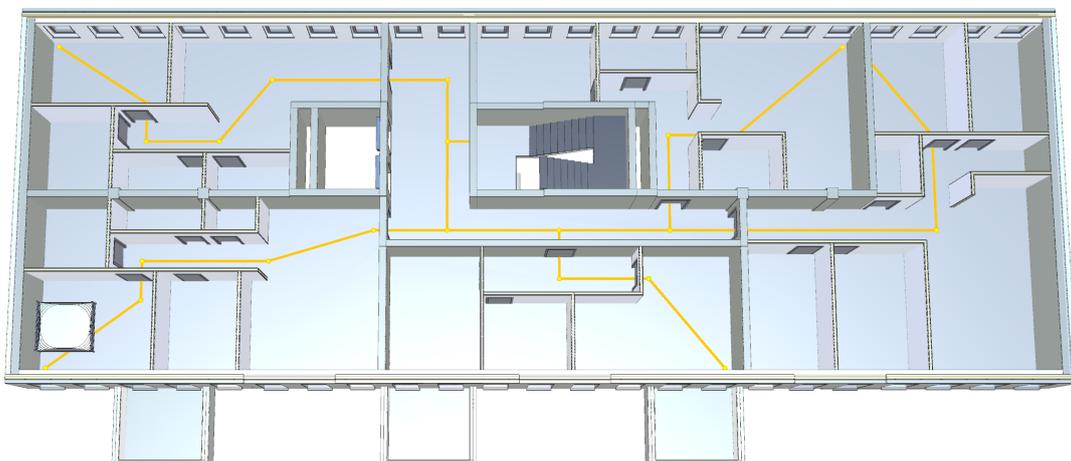


Abbildung 31: Modellierter Fluchtweg als Annotation im IFC-Modell

Über die Bauteil-Eigenschaften können diese Proxy-Elemente identifiziert und ausgelesen werden. So ist eine fachliche Prüfung der Vorgabe einer Fluchtweglänge möglich, indem auf Basis der vorhandenen Repräsentation eines Fluchtweges, die prüfungsrelevanten Informationen aus dem BIM-Modell extrahiert werden (Abbildung 32). Als Optimierung, kann die kalkulierte Fluchtweglänge zusätzlich über eine Referenz zu einer Bezugsstelle an dem Bauteil zur Entfluchtung (Türen und Fenster) verknüpft werden, sodass geometrisch überprüft werden kann, ob dieser von dem vorgesehenen und modellierten Pfad erreicht wurde.

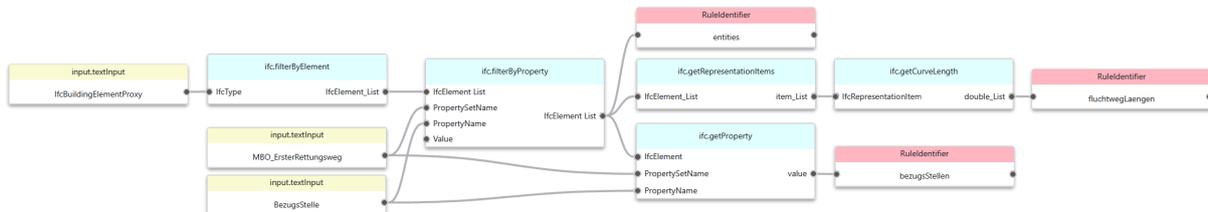


Abbildung 32: Generischer Prüfablauf zur Extraktion der Fluchtweglängen in OpenBIMRL

3.4.4.2 Prüfung anhand einer etagenweiten Abdeckung

Als alternativer Ansatz wird angenommen, dass die Ausgänge (Türen zum Treppenraum und Fenster zum Anleitern) zwar bekannt, die Fluchtwegen jedoch nicht eingezeichnet sind. In diesem Fall gibt es auch keine Proxy-Entitäten, welche den annotierten Pfad auszeichnen könnten. Ausgehend von dem Ziel, also dem spezifischen Ausgang, kann dennoch eine flächendeckende fachliche Prüfung umgesetzt werden, die die möglichen Fluchtwegen und deren Länge überprüft.

Hierfür wird ein ungerichteter Graph mit Knoten und Kanten über die Etage gelegt, welcher einem regulären und möglichst abdeckenden Muster folgt (Netz). Von Personen nicht passierbare Bauteile, wie Wände und Stützen, werden durch so ein Netz berücksichtigt, indem überschneidende Knoten und Kanten geometrisch ermittelt und reduziert werden. Bei der Umsetzung dieser fachlichen Regel wurde festgestellt, dass sich eine raumweise Betrachtung und Zerlegung des Netzwerks in Teilnetze (Subgraphen) als vorteilhaft herausstellen. Denn so können Verbindungen zwischen den Teilnetzen explizit und kontrolliert erstellt werden, wie beim Raumübergang zwischen Türen. Ausgehend von dem Ausgang und entlang der Kanten im Netz können so flächendeckend die minimalen Distanzen kalkuliert werden (siehe Abbildung 33).

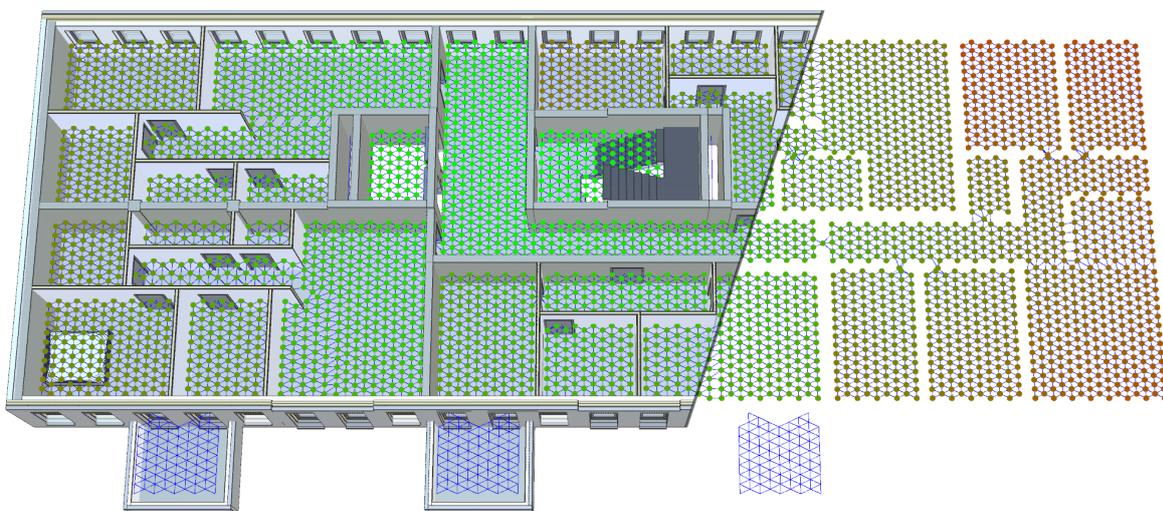


Abbildung 33: Berechnung eines Geschoss-abdeckenden Graphen (grün = nahe Ausgang, rot = zunehmende Entfernung)

3.4.4.3 Prüfung anhand eines generierten kürzesten Pfades

Optimalerweise werden Fluchtwege nicht flächendeckend, sondern punktuell pro „am weitesten entfernten Eckpunkt je Nutzungseinheit mit mindestens einem Aufenthaltsraum“ geprüft. Diese Eckpunkte können explizit als Proxy modelliert und attribuiert werden. Falls diese jedoch unbekannt sind, ist es möglich, diese Eckpunkte aus der etagenweiten Abdeckung zu ermitteln (die Tiefroten Knotenpunkte in Abbildung 33). Im dargestellten Mustermodell sind insgesamt fünf Nutzungseinheiten für die 2. Etage verzeichnet, für die also je ein erster Flucht- und Rettungsweg existieren müssen.

Die Fluchtwege werden automatisiert auf Basis des Netzes bestimmt, indem ein Suchalgorithmus für den kürzesten Pfad von Start- bis Zielpunkt angewandt wird (Abbildung 34 und Abbildung 35). Für gerichtete Graphen/Netze wird üblicherweise der bekannte und etablierte Dijkstra-Algorithmus angewandt. Für ungerichtete Graphen/Netze kommt jedoch dessen Erweiterung zum Tragen, der A*-Algorithmus (auch A-Stern oder A*-Suche). Dabei werden die Kantenlängen als Kosten für die Suche angenommen. Angewandt auf dem Netz der etagenweiten Abdeckung und unter Hinzunahme der Start- und Endpunkte erhält man somit automatisch bestimmte Fluchtwege von beliebiger und parametrisierbarer Genauigkeit. Die Genauigkeit ist abhängig von Muster und Dichte des Netzes.

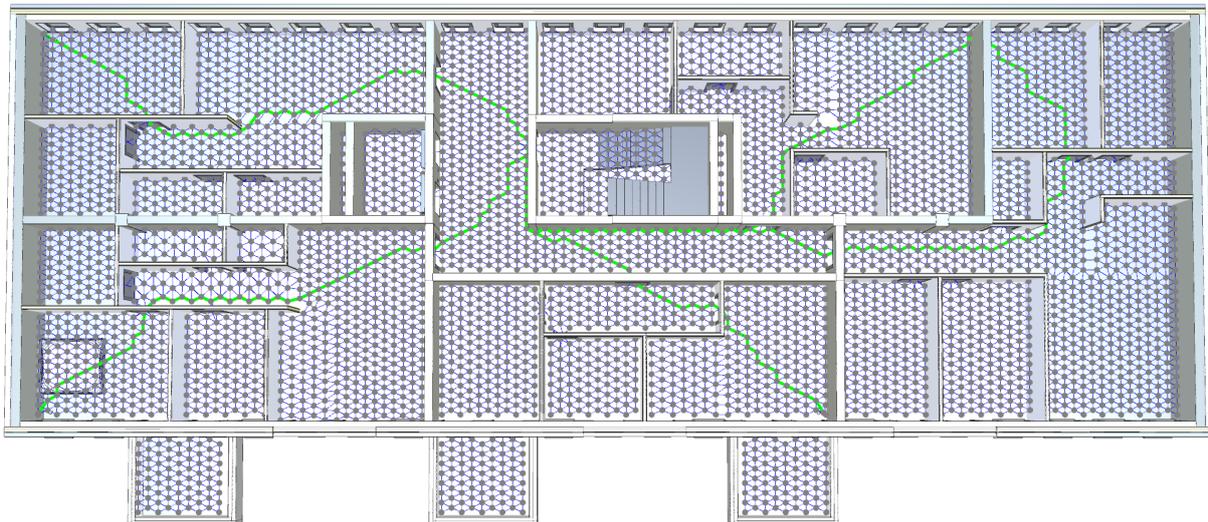


Abbildung 34: Ermittelte Fluchtwege durch Graphen-Suche kürzester Pfade mit geringer Genauigkeit



Abbildung 35: Ermittelte Fluchtwege durch Graphen-Suche kürzester Pfade mit hoher Genauigkeit (nur Pfade)

3.4.4.4 Ergebnisse der fachlichen Regelprüfung der Rettungswege

Durch die vorgestellten Konzepte zur Prüfung von Flucht- und Rettungswegen wird eine Prüfung der Vorgaben nach MBO §33 ermöglicht. Die Abhängigkeiten zu den Räumen, wie notwendige Flure und Treppenträume, kann anhand der ermittelten Fluchtwege, ihrer Länge und ihrer Eigenschaften nachweislich überprüft werden.

Die Prüfung setzt jedoch einiges an zusätzlichen Annahmen und Berechnungsvorschriften voraus, welche nicht Bestandteil der MBO sind und zur Prüfung als notwendig betrachtet werden. Zu diesen Annahmen gehörten:

- Berücksichtigung einer Personen-Breite
- Ignorierung der Inneneinrichtung
- Graphen-basierte Rechenvorschrift
- Festlegung des Startpunktes
- Grenzwerte für die maximal erlaubte Länge
- Explizite Vorschrift zur Auszeichnung von Ausgängen
(anleiterbare Fenster und Türen zum Treppenraum nicht hinreichend definiert)

3.5 Kommentar zu den Herausforderungen und Handlungsempfehlungen

Das Herausarbeiten der Vorgaben und Regeln hat sich als Herausforderung in Bezug auf eine einheitliche Formalisierung der Regelsprache und Modellierungsrichtlinie herausgestellt. Als Grund können gleich mehrere Aspekte genannt werden, die im Verlauf des Projekts zum Vorschein getreten sind:

1. Doppeldeutigkeit der Verbalisierung und Denotation im Sprachgebrauch innerhalb der MBO und hinzugezogener relevanter Richtlinien.
(bspw. Fluchtwege und Rettungswege, Dachgeschoss und Dachraum)
2. Formale Simplifizierung und Verknappung der Definition teils komplexer Operationen, welche in Regelsprachen nicht trivial zu formulieren sind.
(bspw. Auflösen der Beziehung „Trennwand zwischen Nutzungseinheiten“ aus §27)
3. Feststellung der Granularität benötigter Information und ihre Ableitung aus Teilanforderungen verknüpfter Paragraphen, also Unklarheiten beim Transfer von Informationen.
(bspw. gemessene geometrische Höhe ist nicht gleich der Höhe bis FOK des obersten Geschosses)
4. Vorhandener Interpretationsspielraum, welcher aufgelöst werden muss zur Einordnung aller Vorgaben in formale und fachliche Regeln sowie semantische und geometrische Anforderungen.
(bspw. Modellierung zusätzlicher Proxy-Elemente, für Angabe von Informationen wie Baugrenzen und Geländehöhe im Mittel, oder Modellierung eines digitalen Geländemodells)

Konkrete Herausforderungen wurden im Rahmen von Workshops kommuniziert und gemeinsam mit Fachexperten evaluiert. So konnten Anpassungen zu den meisten Anforderungen, Konkretisierungen oder allgemeingültige Definitionen gefunden und angewandt werden. Die Lösungen wurden dabei immer unter der Voraussetzung betrachtet, dass diese zu den Vorgaben der MBO kompatibel sein müssen. Aus den Lösungsansätzen lassen sich Handlungsempfehlungen ableiten, welche im Rahmen aktueller und zukünftiger Entwicklungen genutzt werden können, um Optimierungen in den aufgezählten Ursachen für die Herausforderungen durchzuführen. Diese Handlungsempfehlungen sind in einem separaten Dokument zusammengetragen und liegen dem Bericht unter *Anhang B* bei.

Die Musterbauordnung erfordert eine Betrachtung zusätzlicher Normen, Richtlinien und Praxisbeispiele für eine vollumfängliche Digitalisierung (siehe Abschnitt 2.3 und Abbildung 36). Die MBO kann hier als ein Einstiegsdokument oder Wegbereiter für die technische Umsetzung eines Bauwerkmodells/-plans gesehen werden. Vor allem die vorhandenen Interpretationsspielräume der MBO-Vorgaben führen zu der Notwendigkeit einer weiteren Betrachtung relevanter und anknüpfender Normen und Richtlinien. Für eine technische Umsetzung eines Bauwerkmodells ist es erforderlich, diese Freiheitsgrade durch klare deterministische Aussagen auszudrücken. Es geht hierbei nicht darum, diese Interpretationsspielräume zu entfernen, sondern vielmehr darum, diese genauer auszudifferenzieren und Alternativen aufzuzeigen, sei es durch Beispielwerte oder Rechenvorschriften.



Abbildung 36: Die Musterbauordnung als „Fassade“ hinter welcher sich weitere Normen und Richtlinien verbergen

Offene Handlungsspielräume und ungenaue Vorgaben lassen sich nicht ohne Weiteres in Regeln übersetzen. Durch bloßes Einsetzen von bekannten Normen und Richtlinien lassen sich so nur Empfehlungen nach MBO-Vorschrift ausdrücken also einer potenziellen Anwendung einer Vorschrift, welche jedoch nur einen Aspekt der Vorgabe aufzeigt oder gewisse Annahmen treffen muss. Nach aktueller Auffassung lässt sich das Verhältnis zwischen den konkreten Vorgaben und den vagen Empfehlungen auf einer Skala der MBO-Anforderungen in einem geschätzten Verhältnis von ca. 3 zu 1 darstellen (Abbildung 37). Im Rahmen dieses Projektes wurden alle Anforderungen, welche die explizite Berücksichtigung anderer Normen und Richtlinien benötigen, nur unter einer sorgfältigen Auswahl der Relevanz für aufeinander aufbauende Anforderungen mit in die Betrachtung gezogen (bspw. DIN277-1 Bruttogrundflächen und Nettoraumflächen).

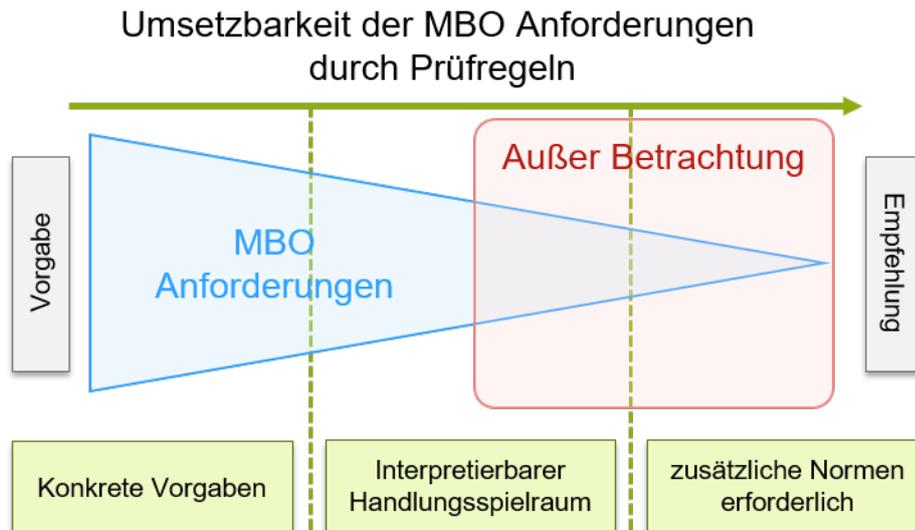


Abbildung 37: Skala der Umsetzbarkeit von Anforderungen der Musterbauordnung durch Prüfregeln

3.6 Prototypische Entwicklung der Prüfvorgänge

Teil des Projekts ist eine prototypische Umsetzung der Prüfregeln und Prüfregelkonzepte zur Evaluation der Modellierung und eine Fallstudie für die Umsetzbarkeit der Anforderungen der Musterbauordnung. Die vorgestellten und implementierten Werkzeuge sind demnach als erste Beispiele zu betrachten und nicht als fertige Produkte einzustufen. Folgende prototypische Umsetzungen wurden im Rahmen des Projekts durchgeführt und getestet:

- Konventionelle Prüfung durch manuelle Programmierung (DESITE BIM[®], ehemals DESITE md)
- Automatisierte Ableitung von Vorlagen-Dateien zu offenen Prüfregel-Formaten (MVD, IDS)
- Entwicklung einer MBO spezifischen Bibliothek zur fachlichen Prüfung in OpenBIMRL
- Anwendung der Prüfung in einem prototypischen Viewer

3.6.1 Konventionelle Prüfung durch manuelle Programmierung

Ein formalisierter Prüfablauf kann durch Programmiersprachen ausgedrückt werden, egal ob Skriptsprachen oder objektorientierte Sprachen. Als einzige Voraussetzung wird betrachtet, dass die Programmiersprache ein formales System zum Abbild von Symbolen und Regeln umfasst. Dies trifft vor allem auf Programmiersprachen zu, welche in der Lage sind, formale Grammatiken zu beschreiben und umzusetzen, demnach also in der Lage sind, Konzepte und Verfahren aus Logik, Mathematik und Linguistik zur Aussagenlogik zu verbinden.

Der BIM-Viewer und das Management-Werkzeug DESITE BIM[®] von thinkproject²⁰ verfügen über eine JavaScript basierte Schnittstelle zur Programmierung, direkt aufbauend auf den Informationen eingeleiteter IFC-Modelle. So können Eigenschaften programmatisch ausgelesen und über Fallunterscheidungen gefiltert werden. Zudem verfügt DESITE BIM[®] über einen eingebetteten Plugin-View, welcher es erlaubt, vollständige Web-Anwendungen mit dem Programm zu verbinden.

Zu Beginn des Projekts wurden die ersten formalen Regeln in DESITE BIM[®] umgesetzt, um erst einmal den Umfang und Aufwand einer regelbasierten Prüfung nach Vorgaben der MBO einschätzen zu können und deren Machbarkeit zu evaluieren. So wurde erkannt, dass die manuelle Programmierung eine erhebliche Hürde für Anwender darstellt, sei es durch fehlenden Funktionsumfang für die kreative Umsetzung spezifischer Anforderungen (geometrische Operatoren) oder durch die Tatsache, sich mit

²⁰ DESITE BIM von thinkproject: <https://thinkproject.com/de/produkte/desite-bim/> (zuletzt geprüft 24.05.2023)

einer vollwertigen Programmiersprache auseinandersetzen zu müssen. Konzeptionell konnte die ersten formalen Regeln mit DESITE BIM® umgesetzt werden (Abbildung 38). Jedoch sind die implementierten Regeln als Programm-Code an die Syntax und API von DESITE BIM® gebunden. Diese liegen in der Regel einem Projekt bei und werden zusammen als „Gesamtpaket“ ausgetauscht. Eine Übertragung der Regeln sowie ein Schutz vor Änderungen von einem Projekt stellen sich dabei als Herausforderungen heraus. Daher wurde das Vorgehen im Rahmen des Projekts frühzeitig verworfen und zu Gunsten einer Regelprüfung, aufbauend auf offenen und standardisierten Formaten, geändert.

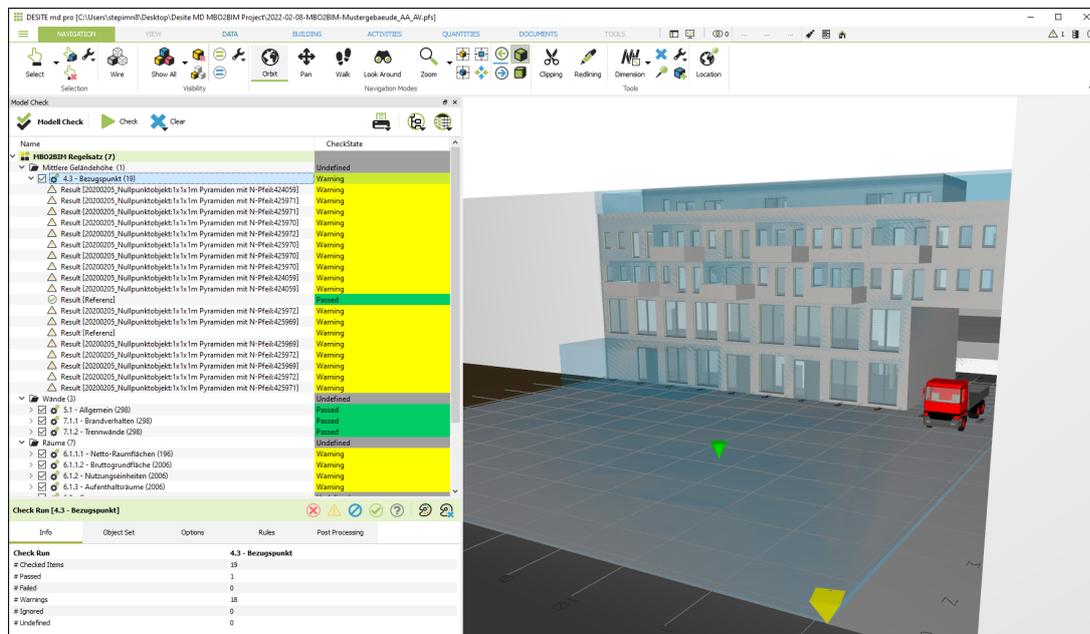


Abbildung 38: Erste formale Prüfung umgesetzt mit der Programmierschnittstelle in DESITE BIM

3.6.2 Automatisierte Ableitung von Vorlagen-Dateien zu offenen Prüfregel-Formaten

Für die formale Prüfung wurden die offenen Formate MVD (siehe Abschnitt 2.6.2.1) und IDS (siehe Abschnitt 2.6.2.2) in Betracht gezogen. Beide Formate sind transparent einsehbar in ihrer Regel-Definition, unabhängig von Anwendungen spezifischer Softwarehersteller und verarbeiten IFC-Modelle flexibel durch die Berücksichtigung spezifischer Sichten/Facetten zur Umsetzung der formalisierten Prüfabläufe.

Die Prüfung erfolgt auf Basis der Anforderungen der Modellierungsrichtlinie und damit indirekt auch auf den Vorgaben der Musterbauordnung. Wie exakt eine solche Prüfung die Details der Musterbauordnung abdeckt, entspricht dem Detaillierungsgrad der Richtlinie und dem Ermessen der Anwendenden. Parallel zum Vorgang der Erstellung der Modellierungsrichtlinie werden deren formale Anforderungen direkt als Vorlage-Dateien (in PSD und Excel) archiviert. Diese Vorlage-Dateien können mit Werkzeugen wie BIM*Q (siehe Abschnitt 3.1) und dem forschungsinternen Prototypen des IFCTemplateManager²¹ erstellt und teilautomatisiert in MVD oder IDS exportiert werden.

Die formale Regelprüfung wird vollständig durch diese Formate abgedeckt und kann mit am Markt verfügbarer Software ausgewertet werden. Wichtig ist, dass die Prüfregeln als belastbare Dokumente auch modellübergreifend genutzt werden können und so die Prüfung von einem spezifischen Projekt entkoppelt wird.

²¹ Öffentliche GitHub-Repository des IFCTemplateManagers: <https://github.com/RUB-Informatik-im-Bauwesen/IFC-Template-Manager>, (zuletzt geprüft 24.05.2023)

3.6.3 Entwicklung einer Bibliothek zur fachlichen Prüfung in OpenBimRL

Für die fachliche Prüfung reichen die Konzepte von MVD und IDS nicht aus. Die Vorgaben der Musterbauordnung sind in Realität keine einfach abzurufende Einzelinformation pro Bauteil, sondern eng miteinander verknüpft und bilden bedingte Abhängigkeiten zwischen Teil-Anforderungen und Ergebnissen von Regeln. Diese Kopplung von Vorgaben kann nicht hinreichend über gängige Formate in klaren Regeln abgebildet werden.

Technologien aus dem Bereich des *Semantik Web* (SPARQL oder SHACL) sind hier valide Kandidaten zur Implementierung fachlicher Regeln. Jedoch erfordern *Semantik Web Technologien* eine Vorverarbeitung von IFC-Modellen zur Überführung in RDF-Graphen. Informationen aus dem BIM-Modell werden also nicht nativ verarbeitet. Vor allem, was die Geometrie eines Bauteils anbetrifft, so ist diese zwingenderweise durch *Well-Known Text* (WKT) Repräsentationen formalisiert, um die komplexe und objektivierte Verzweigung von IFC-Repräsentationen Graphen-konform aufzulösen.

Deshalb wird im Rahmen diverser Forschungsprojekte am Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen der Ruhr-Universität Bochum ein eigenes, offenes Format für die fachlich regelbasierte Modellprüfung entwickelt und evaluiert. Das Format OpenBIMRL²² definiert eine fachliche Regel als eine Graphen-basierte Vorberechnung, dessen Ergebnisse in einer klassischen regelbasierten Fallunterscheidung evaluiert werden. Das OpenBIMRL-Projekt umfasst neben dem Schema ein unterstützendes Erstellungswerkzeug (CreatorTool, Abbildung 39)²³ und eine Entwicklungsbibliothek zum Ausführen (Engine)²⁴ erstellter Regeln gegen ein Modell. Im Rahmen des MBO2BIM Projekts wurde auf dem OpenBIMRL-Projekt aufgebaut und eigene Knoten-Funktionen eingepflegt.

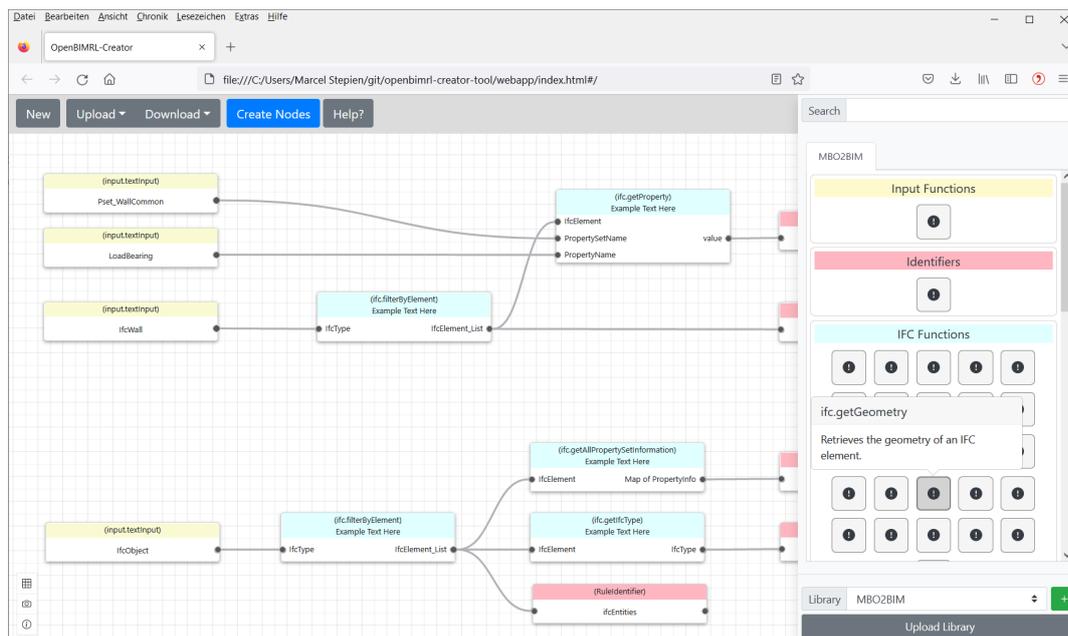


Abbildung 39: Das OpenBIMRL-CreatorTool zum benutzerfreundlichen Erstellen einzelner fachlicher Regeln

Für das OpenBIMRL-CreatorTool ist eine eigene Bibliothek mit vorgesehenen Knoten-Funktionen angelegt worden. Diese Bibliothek enthält die Definition von notwendigen Knoten zur Verarbeitung

²² Öffentliche GitHub-Repository des Formats OpenBIMRL: <https://github.com/RUB-Informatik-im-Bauwesen/OpenBimRL>, (zuletzt geprüft 24.05.2023)

²³ Öffentliche GitHub-Repository des OpenBIMRL-CreatorTool: <https://github.com/RUB-Informatik-im-Bauwesen/OpenBimRL-CreatorTool>, (zuletzt geprüft 24.05.2023)

²⁴ Öffentliche GitHub-Repository der OpenBIMRL-Engine: <https://github.com/RUB-Informatik-im-Bauwesen/OpenBimRL-Engine>, (zuletzt geprüft 24.05.2023)

von Geometrien, zur Filterung von Eigenschaften am IFC-Modell oder zur Anzeige von Linien (bei Rettungswegen). Parallel dazu wurden die geforderten Knoten-Funktionen in der OpenBIMRL-Engine implementiert, um eine Ausführung zu ermöglichen. Da hier ein offenes Format im Mittelpunkt der Verarbeitung steht, kann die Regel-Datei auch unabhängig von jeglichen implementierten Werkzeugen visualisiert, archiviert und kommuniziert werden. Eine Liste von zusätzlich implementierten OpenBIMRL Knoten-Funktionen ist der Tabelle 3 zu entnehmen. Wichtig ist, dass diese Tabelle nicht alle Knoten-Funktionen umfasst; die Vorimplementierung zu Mathematischen-Operatoren, Listen-Verarbeitung und Knoten-Varianten werden hier als gegeben betrachtet.

Nr.	Knoten-Funktion	Beschreibung
1	ifc.getCurveLength	Berechnet die Länge einer Kurven-Geometrie (wie IfcPolyLine).
2	ifc.createPolyline	Erstellt eine IfcPolyLine auf Basis einer Punktliste.
3	ifc.filterByGUID	Gibt ein IFC-Element auf Basis einer Global ID zurück.
4	ifc.filterByElements	Filtert ein IFC-Modell und gibt IFC-Elemente auf Basis eines Typen zurück.
5	ifc.filterByProperty	Filtert ein IFC-Modell und gibt IFC-Elemente nach spezifischer Signatur der der Eigenschaften zurück.
6	ifc.filterByQuantity	Filtert ein IFC-Modell und gibt IFC-Elemente nach spezifischer Signatur der Mengen zurück.
7	ifc.getIfcType	Gibt den Typ eines IFC-Elements als Text wieder.
8	ifc.getStorey	Sucht das Geschoss-Element zu einem spezifischen IFC-Element.
9	ifc.getElementsInSpatialStructure	Sucht alle IFC-Elemente enthalten in einem räumlichen Kontext.
10	ifc.getProperty	Gibt den Eigenschaftswert nach spezifischer Signatur eines IFC-Elements wieder.
11	ifc.getQuantity	Gibt den Mengenwert nach spezifischer Signatur eines IFC-Elements wieder.
12	ifc.getHeight	Ermittelt die Höhe der Geometrie eines IFC-Elements.
13	ifc.getGeometry	Sucht die Geometrie eines IFC-Elements und gibt diese zurück.
14	ifc.getGlobalID	Gibt die Globale ID eines IFC-Elements wieder.
15	geometry.checkIntersection	Bestimmt die Kollision zwischen einer Menge von Geometrien.
16	geometry.decomposeGeometry	Zerlegt eine Geometrie in seine Bestandteile.
17	geometry.createPointGraph	Erstellt ein Raster an Punkten auf einer Ebene mit spezifischen Abständen.
18	geometry.createPointGraphEdges	Erstellt ein Kanten-basiertes Netzwerk zwischen Punkten in spezifischen Abständen.
19	geometry.calculateAStarSearch	Führt einen A*-Algorithmus auf ein Knoten-Kanten-Netzwerk aus, als Suche nach dem kürzesten Pfad von Start zum Ziel.
20	geometry.checkLinecasts	Bestimmt die Kollision zwischen Linien und komplexen Geometrien.
21	geometry.show	Zeigt eine erstellte Geometrie als Visualisierung in einem Viewer.
22	filter.filterByMask	Filtert eine Liste von Objekten nach vorgegebener Maskierung von true oder false.
23	filter.filterIntvert	Invertiert einen Filter, durch Flippen der true und false Werte.

Tabelle 3: Knoten-Funktionen, die im Rahmen von MBO2BIM zusätzlich implementiert wurden

Die Knoten-Funktionen werden im *Anhang C* angewandt. Details zur Funktionsweise sind der Implementierung selbst zu entnehmen, welche hier nur abstrakt erläutert und generalisiert gelistet werden können.

3.6.4 Anwendung der Prüfung in einen prototypischen Viewer

Die OpenBIMRL-Engine wurde über eine Erweiterung des Prototyps aus dem Forschungsprojekt zum BIM-basierten Bauantrag²⁵ eingearbeitet (Abbildung 40), um eine Visualisierung und Aufbereitung der Prüfergebnisse zu ermöglichen. Die Erweiterung besteht aus zwei zusätzlichen Views.

Zum einem, dem *Modellprüfungs-View*, welcher das Laden der Regeln ermöglicht und die Inhalte der Modellprüfung strukturiert listet. Dieser zeigt Ergebnisse der Prüfung farblich über ein Ampel-System an:

- rot = fehlgeschlagen
- grün = erfolgreich
- gelb = ignoriert
- weiß = nicht ausgeführt

Zum anderen, dem *Detail-View*, der über Anwender-Interaktionen mit der Auflistung aus der *Modellprüfungs-View* sowohl die Ergebnismengen als auch das Prüfprotokoll auslesen kann. Die Ergebnismengen listen dabei alle Teil-Ergebnisse aus der Vorberechnung, die als Gruppe aus IFC-Elementen bestehen, auf und erlauben es, diese direkt am Modell über Element-Auswahl und Farbmarkierung zu veranschaulichen. Das Prüfprotokoll listet die entscheidenden Berechnungsschritte und Teilergebnisse in textueller Form auf.

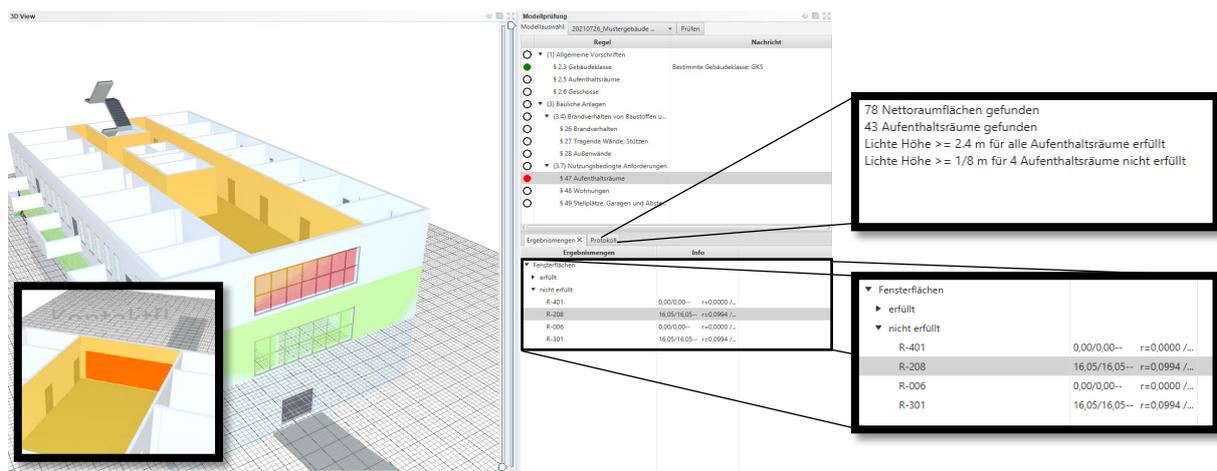


Abbildung 40: Kalkulation der Kontaktflächen als Beispiel für die geometrische Prüfung

Dieser Prototyp diente im Rahmen des Projekts als Prüfwerkzeug für umgesetzte fachliche Regeln im OpenBIMRL-Format. Der Prototyp zeigt auf, dass eine Umsetzung fachlicher Regeln auf Basis offener und standardisierter Formate erfolgen kann. Da es sich aber nur um einen Forschungs-Prototyp handelt, wird hier keine Gewähr auf Vollständigkeit geleistet. Tatsächlich kann angenommen, dass für eine vollständige und ausführliche Umsetzung aller fachlichen MBO-Vorgaben eine deutlich intensivere Implementierung von Knoten-Funktionen und eine tiefe Untersuchung von Minimalvoraussetzungen der Knoten-Funktionen erforderlich ist.

²⁵ Forschungsprojekt BIM-basierter Bauantrag: <https://bim-bauantrag.blogs.ruhr-uni-bochum.de/>, (zuletzt geprüft 24.05.2023)

3.7 Umfang der durchgeführten MBO Digitalisierung

Letztendlich wurden zwei wesentliche Produkte auf Basis der Vorgaben der Musterbauordnung (MBO) erstellt. Zum einen die Modellierungsrichtlinie (MRL) und zum anderen die Vorlagen der Prüfregele.

3.7.1 Finaler Stand der Umsetzung von Vorgaben der MBO zu den Anforderungen der MRL

Für die Modellierungsrichtlinie (MRL) wurden in etwa zwei Drittel des MBO Dokuments verarbeitet und in Maschinen-auswertbarer Form niedergeschrieben (Abbildung 41, links). Vor allem die Paragraphen 1 – 56 enthalten dabei bauteilspezifische Vorgaben, welche als Eigenschaften einem Modell angefügt werden können. In etwa ein Drittel der Regelungen in der MBO sind für die Digitalisierung im Sinne einer BIM-basierten Modellierung nicht zu verwenden. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um die Paragraphen 57 – 87, denn diese enthalten regulative, administrative und Prozess-bedingte Vorgaben, welche nicht auf Bauteilebene in einem Modell abbildbar sind.

Von den Vorgaben der MBO, die sich auf Bauteilanforderungen bis Paragraph 56 beziehen, enthält ein Bruchteil von etwa zwölf Prozent keine expliziten Anforderungen für die MRL und weitere zwölf Prozent der Vorgaben müssen aufgrund weiterreichender Betrachtung zusätzlicher Dokumente zurückgestellt werden (Abbildung 41, rechts).

Bei den zwölf Prozent der Vorgaben, die keine expliziten Anforderungen für die MRL enthalten, handelt es sich im Kern um Anforderungen die entweder indirekt über abhängige Beziehungen bereits abgebildet wurden oder den Eigenschaften zugeordnet werden können (bspw. die Zuordnung und Unterscheidung von Nutzungseinheiten über eine gemeinsame Eigenschaft).

Bei den zwölf Prozent der Vorgaben die zurückgestellt wurden, handelt es sich überwiegend um Anforderungen an den Brandschutz in der Ausführungsplanung (auf Baustoff-Ebene) und Anforderungen an den das Kellergeschoss (erfordert hier die Untersuchung der MGarVO). Darüber hinaus gibt es ein ganzes Sortiment an zusätzlichen Unterlagen und deren Vorgaben, welche zur Vervollständigung der MBO herangezogen werden müssten (siehe Abschnitt 2.3).

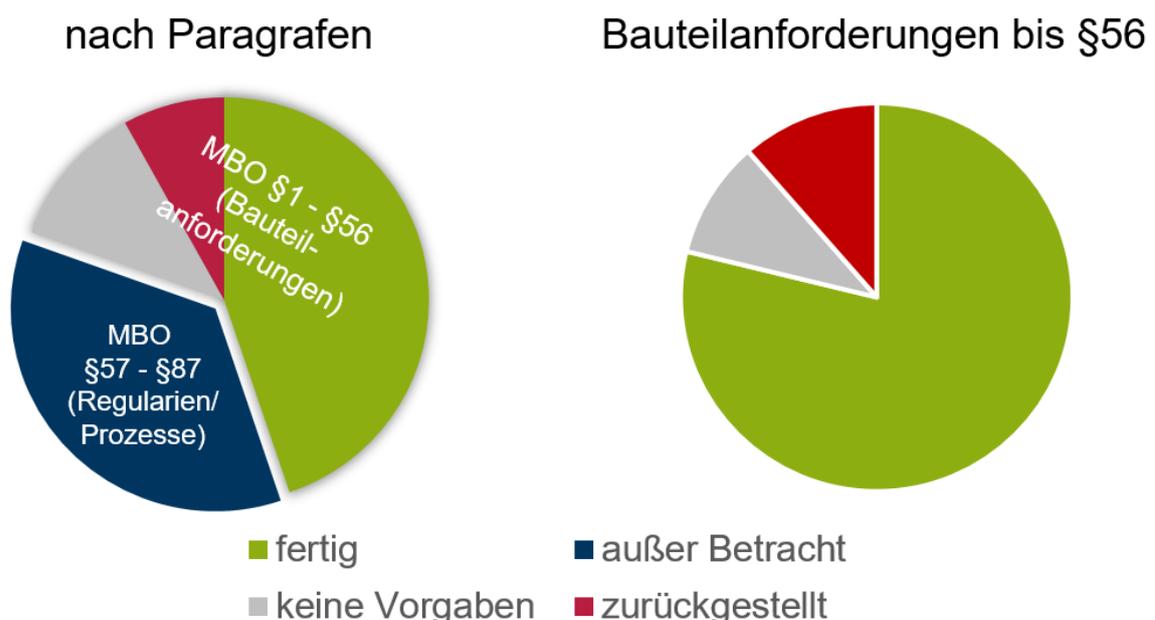


Abbildung 41: Übersetzung der Vorgaben der Musterbauordnung in die Anforderungen der Modellierungsrichtlinie

3.7.2 Finaler Stand der Umsetzung von Anforderungen der MRL zu den Prüfregeln

Die Anforderungen aus der MRL werden durch implementierte, formale und fachliche Prüfregeln begleitet. Eine Detailierung der Umsetzung ist den Abschnitten 3.3 und 3.4 zu entnehmen. Insgesamt wurden 37 formale und 11 fachliche Prüfregeln erstellt und am Mustermodell getestet (Abbildung 42).

Die formalen Prüfregeln stellen die Konformität des Mustermodells zu den Anforderungen der MRL sicher und damit indirekt auch zu den Vorgaben der MBO. Die fachlichen Prüfregeln sind darauf ausgelegt, die vorhandenen Informationen zu kombinieren und deren Qualität festzustellen.

Das Verhältnis von 37 zu 11 ist auf die deutlich höhere Komplexität der fachlichen Prüfung zurückzuführen. Wohingegen formale Prüfregeln systematisch generiert und Schema exportiert werden können, ist für die Erstellung von fachlichen Prüfregeln Kreativität und manuelle Modellierung von Planenden notwendig. Dieser Umstand geht mit einem deutlich höheren Aufwand bei der Erstellung einer fachlichen Prüfregeln einher.

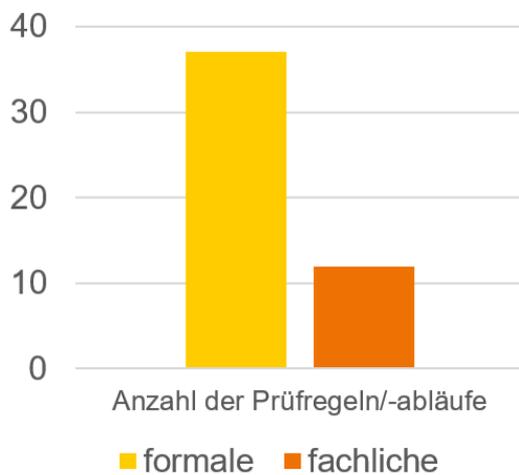


Abbildung 42: Umfang der implementierten Prüfregeln/-abläufe

4 Zusammenfassung und Ausblick

4.1 Übertragung der Vorgänge auf die Landesbauordnungen

In Deutschland gibt es 16 verschiedene Landesbauordnungen, die jeweils eigene Vorgaben machen: Vorschriften für Geländehöhen oder Brandschutz sind also teilweise unterschiedlich. Die Musterbauordnung (MBO) dient als Orientierungsrahmen für die Bauordnungsgesetzgebung der Länder. Der Zweck der Musterbauordnung ist es, einheitliche Standards im Bauordnungsrecht in Deutschland zu gewährleisten und als Vorlage für die Landesbauordnungen zu dienen. Die Musterbauordnung ist jedoch kein Gesetz, sondern eine Standard- und eine Mindestbauordnung, die den Ländern als Grundlage für ihre Landesbauordnungen zur Verfügung steht.

Das Erfordernis zur Harmonisierung der Landesbauordnungen wurde erkannt und damit wird eine Vereinfachung und Standardisierung im Bauordnungsrecht angestrebt, was Planungs- und Realisierungsprozesse für Entwurfsverfasser, Bauherren und Investoren erleichtern soll. Eine Harmonisierung der Landesbauordnungen würde insgesamt zu einer Anpassung an die Musterbauordnung führen, weshalb im Projekt die Fokussierung auf die MBO erfolgte. Je ausgeprägter der Grad der Harmonisierung zwischen den Landesbauordnungen und der MBO ist, umso geringer ist der Anpassungsbedarf und der damit verbundene Aufwand an Zeit, Know-how und Geld.

Zur Implementierung des BIM-basierten Bauantrages müssten landesrechtliche Abweichungen zur MBO in jedem Einzelfall, d.h. bis zu 16 Mal, in jeweils landesspezifische Modellierungsrichtlinien und Prüfregeln umgesetzt werden.

4.2 Notwendigkeit einer zentralen Pflegestelle

Eine Modellierungsrichtlinie und Prüfregeln als digitale Ausprägung der Musterbauordnung bedürfen einer kontinuierlichen Fortschreibung und, in Abhängigkeit von der Musterbauordnung selbst, einer entsprechenden Aktualisierung. Synchron zu neuen Fassungen der MBO werden neue Releases von Modellierungsrichtlinien und Prüfregeln erforderlich. Bei der Pflege von Standards werden Releases auf Basis von Beschlussvorlagen veröffentlicht, die durch eine entsprechende Pflegestelle in Zusammenarbeit mit anderen beteiligten Stellen erarbeitet werden.

Auf der Ebene der MBO ist in jedem Falle eine Pflegestelle erforderlich, soll die Nachhaltigkeit der digitalisierten MBO und ihre Funktionsfähigkeit gewährleistet werden, um die Aktualität und den Wert der Digitalisierung zu erhalten. Das Ziel der Harmonisierung vorwegnehmend, kann so auf die Einrichtung von weiteren 16 Pflegestellen verzichtet werden. Der Betrieb der Leitstelle XPlanung / XBau als zentrale Geschäfts- und Koordinierungsstelle für die kontinuierliche Pflege und Weiterentwicklung der Standards XPlanung und XBau zeigt, dass der Betrieb an einer Stelle möglich ist. Vor diesem Hintergrund wäre zu prüfen, ob die Pflege der Modellierungsrichtlinie und der Prüfregeln ebenfalls durch die XLeitstelle übernommen werden können. Im Hinblick auf die enge, inhaltliche Verbindung zum dem Standard XBau, erscheint der Ansatz einer zentralen Pflegestelle bei der XLeitstelle als zweckmäßig.

4.3 Integration der Projektergebnisse in BIM Deutschland

Mit dem BIM-Portal, das aktuell (05/2023) im Aufbau ist, stellt BIM Deutschland nach Aussage auf der eigenen Homepage „eine zentrale Plattform zur Verfügung, die alle Akteure bei der einheitlichen Abwicklung öffentlicher Bauvorhaben unterstützt und die Produktivität der Baubranche verbessert.“

Das BIM-Portal ist ein Online-Portal des Bundes, beauftragt vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr. Das Bauordnungsrecht ist hingegen Landesrecht und mit den Landesbauordnungen das

wichtigste Instrument des Bauordnungsrechts, welche die baurechtlichen Vorschriften innerhalb des jeweiligen Landes regelt. Die MBO gilt als Orientierungsrahmen für die Gesetzgebungskompetenz der Länder. Schon diese unterschiedliche Ausgangssituation macht deutlich, dass eine Integration der Projektergebnisse in das Portal BIM Deutschland für die Länder keine Verbindlichkeit entfalten kann. Die ggf. erforderlichen Anpassungen an die landesrechtlichen Regelungen sind dabei ebenfalls noch nicht berücksichtigt. Auf formaler Ebene ist auch die Frage zu stellen, welche Organisation Modellierungsrichtlinien und Prüfregele veröffentlichte sollte, um zum jetzigen Zeitpunkt nicht den Anschein einer nicht vorhandenen Verbindlichkeit zu erzeugen.

4.4 *buildingSMART Vorstandardisierung für VDI und ISO*

Die buildingSMART Deutschland e.V. (bSD) ist Teil der internationalen Organisation buildingSMART International (bS) und versteht sich als eine der tragenden, unabhängigen Organisationen zur Vorstandardisierung von digitalen Inhalten und Strukturen für die Bauindustrie. Ihre Arbeit erfolgt über Projektgruppen, Fachgruppen und internationale Projekträume. Die Ergebnisse der Projektgruppen und Fachgruppen können, sobald sie einen hinreichenden Qualitätsstandard erreicht haben, in VDI-Richtlinien der Blattreihe 2552 überführt werden. Die Ergebnisse der Fachgruppen werden als BIM-Anwendungsfälle im bS „*Use Case Management*“ publiziert. Über entsprechende Anträge entscheiden dann Gremien des bSD und bS sowie des VDI, ob die in den Projekt- und Fachgruppen erarbeiteten Beiträge einen relevanten Beitrag zur Digitalisierung der Bauindustrie liefern und ob diese in die (Vor-)Standardisierung übernommen werden. Der buildingSMART International liefert mit dem IFC-Datenschema sowie weiteren Datenformaten (wie BCF, mvdXML, IDS) und Prozessbeschreibungen den Input für ISO-Standards.

4.4.1 *buildingSMART Projektgruppe DigiMBO*

Dem „*Antrag auf Genehmigung eines Vorstandardisierungsprojekts*“ wurde aus der Forschungsgruppe heraus an den bSD gestellt. Der buildingSMART Deutschland e.V. hat diesem zugestimmt. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts konnten auf dem bSD-Anwendertag am 09.05.2023 der Projektgruppe anlässlich ihres ersten Präsenztreffens ausführlich vorgestellt und diskutiert werden. Als zukünftige Arbeitsziele der Projektgruppe wurden dazu zwei Arbeitsgruppen vorgeschlagen:

- AG Nutzen
 - Welche Vorteile hat eine direkte Einreichung eines modellbasierten Bauantrags?
 - Welchen Nutzen haben die Kommunen von den Modellen?
 - Welchen Vorteil haben Bauherren und Architekten von einem digitalen Bauantrag mit einem Bauantragsgenehmigungsmodell?
 - Welchen Nutzen hat der Brandschutzplaner?
- AG Aufwand
 - Welcher Aufwand entsteht den Architekten durch einen modellbasierten Bauantrag?
 - Welcher Aufwand besteht in der Fortführung eines LPh 3 Entwurfsmodells der Architektur in einem Bauantragsgenehmigungsmodell?

Weiterhin wurden einige noch offene Punkte in der Prozesskette zu einem Bauwerksmodell für den Bauantrag identifiziert, die in dieser Projektgruppe erarbeitet werden sollten:

- Harmonisierung, Verzahnung und Abgleich der Brandschutzattribution des VIB / bS Fachgruppe Brandschutz / VDI 2552 Blatt 11.6. für die weiterführenden Leistungsphasen
- Integration der Standards XPlanung und XBau
- Workflow und Modellierungsvorschrift für die Georeferenzierung (bS Fachgruppe BIM-GIS)

Die Projektgruppe benötigt dazu die Mitwirkung von ehrenamtlichen Personen aus den praktischen Tätigkeitsbereichen. Diese zu adressieren und zu gewinnen wird eine der Hauptaufgaben der nahen Zukunft sein.

4.4.2 *buildingSMART Use Case Management DigiMBO*

Das bS Case Management (UCM) ist eine Plattform des bS international zum Austausch und zur Entwicklung von BIM-Anwendungsfällen und ihrer internationalen Standardisierung. Über einen Antrag können auch qualifizierte Organisationen außerhalb des bS dort ihre Ergebnisse publizieren. Während nationale und regionale Normen rechtlich bindend für die Bauprojekte an ihrem Standort sind, können hier Anwendungsfälle auf internationaler Ebene ausgetauscht und diskutiert werden. Das UCM ist ein „Repository“ für das BIM-Management und die Bauherren, um geeignete Anwendungsfälle für ihre Projekte zusammenzustellen und geben wertvolle Hinweise zur konkreten Umsetzung in Form von Information Delivery Manuals (IDM), d.h. mit den entsprechenden Prozessabläufen und Attribuierungsvoraussetzungen.

Die aus der Projektgruppe DigiMBO entstehenden Ergebnisse, gerade für die Planenden, können hier gewinnbringend einer großen Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden.

4.4.3 *Georeferenzierung, Modellierungsrichtlinie und Workflow*

Obwohl schon in der Praxis seit langer Zeit Geo-Daten als Grundlage in Bauwerksmodellen verwandt werden, gibt es hinsichtlich der Anwendung immer noch große Unsicherheiten im Umgang mit den Autorensoftwares. Das betrifft einerseits die Transformation der Geo-Daten von der Projektion aus einem GIS-Referenzkoordinatensystem (CRS) mit Höhenlage und -Status in die kartesischen Koordinatensysteme der BIM-Autorensysteme. Häufig hat man es dann mit drei Koordinatensystemen zu tun und die Zahlräume der CAD-Kerne der Softwares haben nicht die benötigte Größe zu ihrer Abbildung.

Neben diesen technischen Schwierigkeiten gibt es aber auch noch keine Beschreibung, wie ein standardisierter Workflow aussehen könnte, der dann georeferenzierte IFC-Modelle wieder zusammenführen könnte (bspw. zu einem Koordinationsmodell) oder IFC-Modelle wieder in Stadtmodelle oder Geographische Informationssysteme zurück transformiert.

Hier besteht sicher noch ein großes Betätigungsfeld für weitere, praxisnahe Handreichungen.

5 Danksagung

Das Projektteam bedankt sich bei den Kollegen und Partner aus Industrie, Forschung und den Behörden für die langjährige Unterstützung und das Interesse am Projekt der Digitalisierung der Musterbauordnung.

Wir danken *Ilona Brückner* und *Marieke Schönfeld* aus der *Hochschule Osnabrück* für die Zusammenarbeit und Koordination im Zusammenhang mit dem Mustermodell der Freiraumplanung.

Wir danken der *buildingSMART Projektgruppe Digitalisierung der Musterbauordnung* für das Feedback und den offenen Austausch im Rahmen des *buildingSMART Anwendertages 2023*.

Ein besonderer Dank richtet sich an die *Mitglieder der obersten Bauaufsichtsbehörden* der Länder Hamburg, Rheinland-Pfalz, Thüringen, Berlin, Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Baden-Württemberg und Brandenburg für den intensiven Austausch und die Evaluation des Projekts im Rahmen der Workshops.

Wir bedanken uns bei *Tim Obermeier* und *Peter Dahnke (hhpberlin - Ingenieure für Brandschutz GmbH)* für die ehrenamtliche Beratung zum Thema Brandschutz.

Wir danken *Michael Munske*, dem *Abteilungsleiter der obersten Bauaufsicht at Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen* aus Hamburg, für sein Engagement und Feedback im Rahmen des Projekts.

Wir möchten uns bei unserem Auftraggeber, dem Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), für die Finanzierung und damit Ermöglichung des Forschungsprojekts bedanken.

6 Literatur

- [1] *Musterbauordnung: MBO*. Mit Änderungszusatz der Bauministerkonferenz 2022, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bauministerkonferenz.de/>
- [2] R. Zeitner, M. Marchionini, G. Neumann und H. Irmscher, „DIN 277-1: Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen – Teil 1: Hochbau“ in *Flächenmanagement in der Immobilienwirtschaft*, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2019, S. 49–103, doi: 10.1007/978-3-662-58476-7_3.
- [3] S. Jaud, A. Kohlhaas und A. Borrmann, „Do BIM models intrinsically possess geodetic distortions or not“, *INGENIEURVERMESSUNG*, Jg. 20, 2020.
- [4] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. : H VgeoRaum, *Hinweise zur Verwendung des amtlichen geodätischen Raumbezugs ETRS89/UTM und DHHN2016/NHN im Straßen- und Brückenbau: H VgeoRaum : W 1*, 2020. Aufl. Köln: FGSV Verlag, 2020.
- [5] Jan Tulke, Michael Theiler, Markus König und André Vonthron, *BIM-basierter Bauantrag: Konzept für die nahtlose Integration von Building Information Modeling (BIM) in das behördliche Bauantragsverfahren*. [Online]. Verfügbar unter: <https://bim-bauantrag.blogs.ruhr-uni-bochum.de/> (Zugriff am: 15. März 2023.982Z).
- [6] Ilona Brückner und Matthias Remy, „Entwicklung einer Modellierungsrichtlinie für Objekte des Freiraums für den BIM-basierten Bauantrag am Beispiel der Au\''senanlagenplanung des Bauvorhabens ‚Elbtower‘ in Hamburg“. Working Paper. [Online]. Verfügbar unter: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:959-opus-25917>.
- [7] Bauministerkonferenz, „Muster-Richtlinien über Flächen für die Feuerwehr: (zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Oktober 2009)“, 2007. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bauministerkonferenz.de/StartseiteÖffentlicherBereichMustervorschriften/MustererlasseBauaufsicht/Bautechnik>.
- [8] *DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen*, DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau). [Online]. Verfügbar unter: <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/veroeffentlichungen/wdc-beuth:din21:5241696>
- [9] Arbeitskreis Brandschutzleitfaden, *Brandschutzleitfaden für Gebäude des Bundes: Arbeitshilfe für den Baulichen Brandschutz für die Planung, Ausführung und Unterhaltung von Gebäuden des Bundes*, 4. Aufl. Fachinformation Bundesbau. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.fib-bund.de/Inhalt/Leitfaden/Brandschutz/>
- [10] Bundesamt für Justiz, Hg., *Baugesetzbuch (BauGB)*, 4. Aufl., 1960. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/bbaug/>
- [11] Deutsche Institut für Bautechnik, *Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB)*, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dibt.de/de/aktuelles/meldungen/nachricht-detail/meldung/mvv-tb-20201-veroeffentlicht>
- [12] Freie und Hansestadt Hamburg, „Hamburgische Bauordnung (HBauO): (zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 20. Februar 2020)“, 14. Dez. 2005. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.landesrecht-hamburg.de/bsha/document/jlr-BauOHA2005V12IVZ>.

- [13] Ministerium des Innern des Landes Nordrhein-Westfalen, „Landesbauordnung NRW (BauO NRW): (Stand vom 20.5.2023)“, 2018. [Online]. Verfügbar unter: https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_text_anzeigen?v_id=74820170630142752068.
- [14] Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen - Amt für Bauordnung und Hochbau, Hg., *FAQ zu §2 HBauO - Begriffe*.
- [15] Dirk Richelmann, Udo Moewes, Friederike Proff, *Landesbauordnung NRW im Bild: Praktische Anwendung für den Architekten*, 6. Aufl. Erscheinungsort nicht ermittelbar: Rudolf Müller Mediengruppe, 2021. [Online]. Verfügbar unter: http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783481033682
- [16] *Muster-Garagenverordnung: MGarVO*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bauministerkonferenz.de/>
- [17] *DIN 18065: Gebäudetreppen – Begriffe, Messregeln, Hauptmaße*, Arbeitsausschuss NA 005-09-86 AA im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 2020.
- [18] *DIN 18040: Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen Teil 1 - 3*, DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), Mrz. 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.din.de/de/meta/suche/62730!search?query=18040>
- [19] *DIN 18095-1: Türen; Rauchschutztüren; Begriffe und Anforderungen*, DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau). [Online]. Verfügbar unter: <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/veroeffentlichungen/wdc-beuth:din21:1397160>
- [20] Verein Deutscher Ingenieure, „VDI 2552 Building Information Modeling (BIM)“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vdi.de/richtlinien/unsere-richtlinien-highlights/vdi-2552>
- [21] *ISO 16739-1:2018: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema*, International Organization for Standardization, Mrz. 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iso.org/standard/70303.html>
- [22] Leitstelle XPlanung - Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung, Hg., „Leitfaden XPlanung“, Apr. 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://xleitstelle.de/>.
- [23] buildingSMART International, *Model View Definition (MVD)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/>.
- [24] buildingSMART International, *Information Delivery Specification (IDS)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://technical.buildingsmart.org/projects/information-delivery-specification-ids/>.
- [25] Marcel Stepien, André Vonthron, Markus König, Hg., *OpenBIMRL – An open format for code compliance checking of complex functional requirements from a regulation to the BIM model*. (submitted), 2023.
- [26] World Wide Web Consortium, *Shapes Constraint Language (SHACL)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.w3.org/TR/shacl/>.
- [27] World Wide Web Consortium, *Resource Description Framework (RDF)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.w3.org/RDF/>.

- [28] C. Zhang, J. Beetz und B. de Vries, „BimSPARQL: Domain-specific functional SPARQL extensions for querying RDF building data“, *Semantic Web*, Jg. 9, Nr. 6, S. 829–855, 2018.
- [29] World Wide Web Consortium, *SPARQL Protocol and RDF Query Language (SPARQL)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-protocol/>.
- [30] World Wide Web Consortium, *Web Ontology Language (OWL)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.w3.org/OWL/>.
- [31] *DIN EN 17412-1: Bauwerksinformationsmodellierung - Informationsbedarfstiefe - Teil 1: Konzepte und Grundsätze*, 17412, Technischen Komitee CEN/TC 442 „Building Information Modelling (BIM)“, Jun. 2021.
- [32] M. S. Ilona Brückner, „BIM-Pilotprojekt der Stadt Hamburg zu MBO2BIM - Fachmodell Freiraum“, 24. März 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.hs-osnabrueck.de/dr-ilona-brueckner/#c13377782>.

Anhang A Modellierungsrichtlinie (MRL)

(extern beiliegend)

Anhang B Handlungsempfehlungen

(extern beiliegend)

Anhang C PrüfregeIn und Vorlagen

(extern beiliegend, hier nur exemplarisch anhand nur einer Prüfung)

Prüfregelname: Prüfung für Gebäudeklasse 4 und 5

Dokument: MBO §2 – Gebäudeklasse.xml

Vorberechnungsgraph:

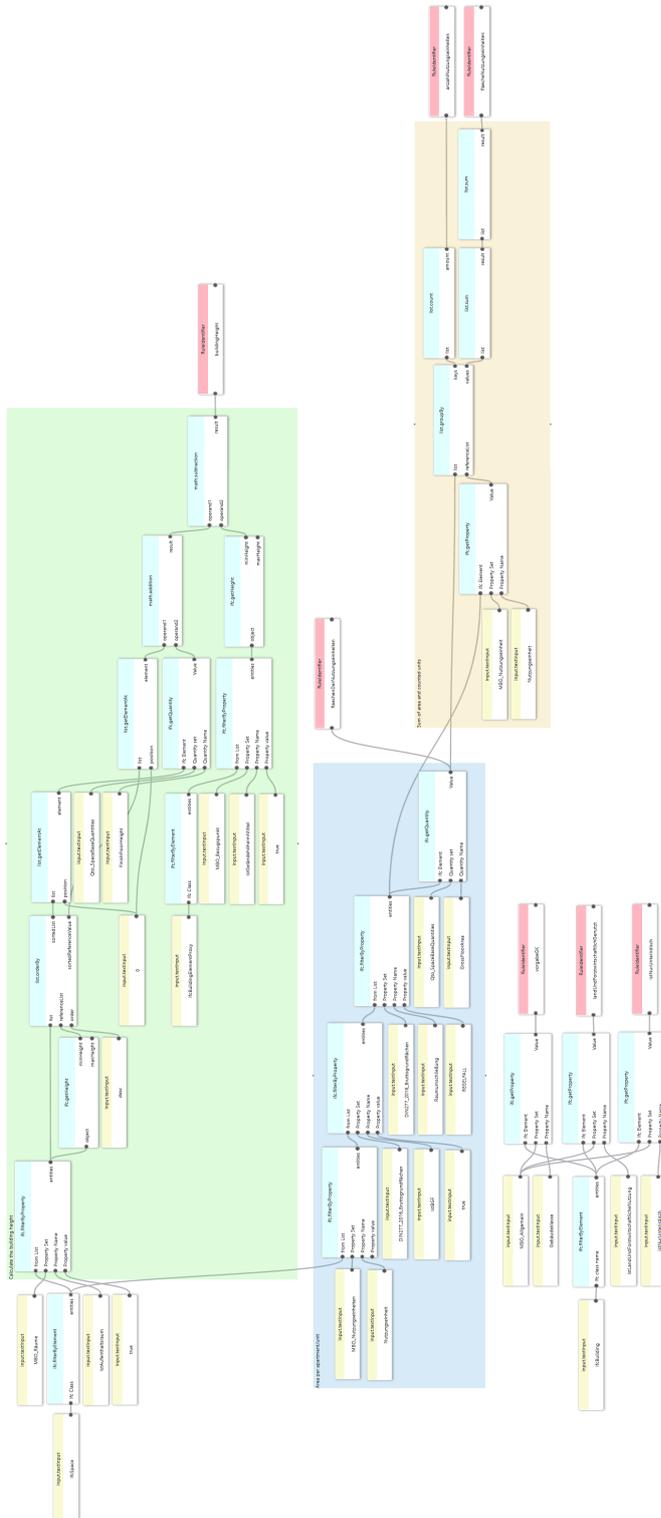


Abbildung 43: Vorberechnungsgraph der OpenBIMRL Regel für die Bestimmung der Gebäudeklasse

Prüfablauf:

Name Prüfung für Gebäudeklasse 4

Applicability

Label 2425becb-1254-4ccd-86b9-d2f1d4ce165b

Operator and

Label 54bef829-71a8-47d8-8453-5ad2be2c46b8

Quantifier all Operator equals

Operand1 vorgabeGK

Operand2 4

Rules and RuleSets

Label fb4d36db-fcc2-4d5f-918d-da79081cd2ce

Operator and

Label 4f12c5d0-8085-4b99-816b-96ea204f29ae

Quantifier all Operator equals

Operand1 landUndForstwirtschaftlichGenutzt

Operand2 false

Label d85c9ea1-2767-4345-8a41-662adbe5c682

Quantifier all Operator greaterthan

Operand1 hoehe

Operand2 7

Label a309306b-2f09-44d2-bb1e-021c5a6e544b

Quantifier all Operator lessorequals

Operand1 hoehe

Operand2 13

Label 53f07fff-c475-42fe-8ac0-ebf49b7e94ac

Quantifier notexists Operator greaterthan

Operand1 flaechenDerNutzungseinheiten

Operand2 400

Abbildung 44: OpenBIMRL Prüfablauf für die Ermittlung der Gebäudeklasse 4

Name Prüfung für Gebäudeklasse 5 ↑ ×

Applicability

Label 0eb76cc3-6162-4922-8717-731be0af3259 ↑ ×

Operator and

Label e6ebb386-cf11-48ff-8f1e-022a6a46d536 ×

Quantifier all Operator equals

Operand1 vorgabeGK

Operand2 5

Rules and RuleSets

Label 627ce13d-216d-48b1-8609-edb7802fff15 ↑ ×

Operator and

Label 1293b080-d02f-4081-8c07-f3a4fe6d3a67 ↑ ×

Operator or

Label ba6f02ff-44ef-4c30-af6d-c567c73443a0 ×

Quantifier all Operator greaterthan

Operand1 hoehe

Operand2 13

Label 4579f1bb-4e90-45d2-a413-9b4843ad798b ×

Quantifier all Operator greaterthan

Operand1 flaechenDerNutzungseinheiten

Operand2 400

Label 84718592-1030-4679-ad44-7876e34af983 ×

Quantifier all Operator equals

Operand1 IstNurUnterirdisch

Operand2 true

Label b0b901b4-c0e7-4a0a-a007-a1b8dbcb17958 ×

Quantifier all Operator equals

Operand1 landUndForstwirtschaftlichGenutzt

Operand2 false

Abbildung 45: OpenBIMRL Prüfablauf für die Ermittlung der Gebäudeklasse 5

Anhang D Entwurfsansichten des finalen Mustermodells

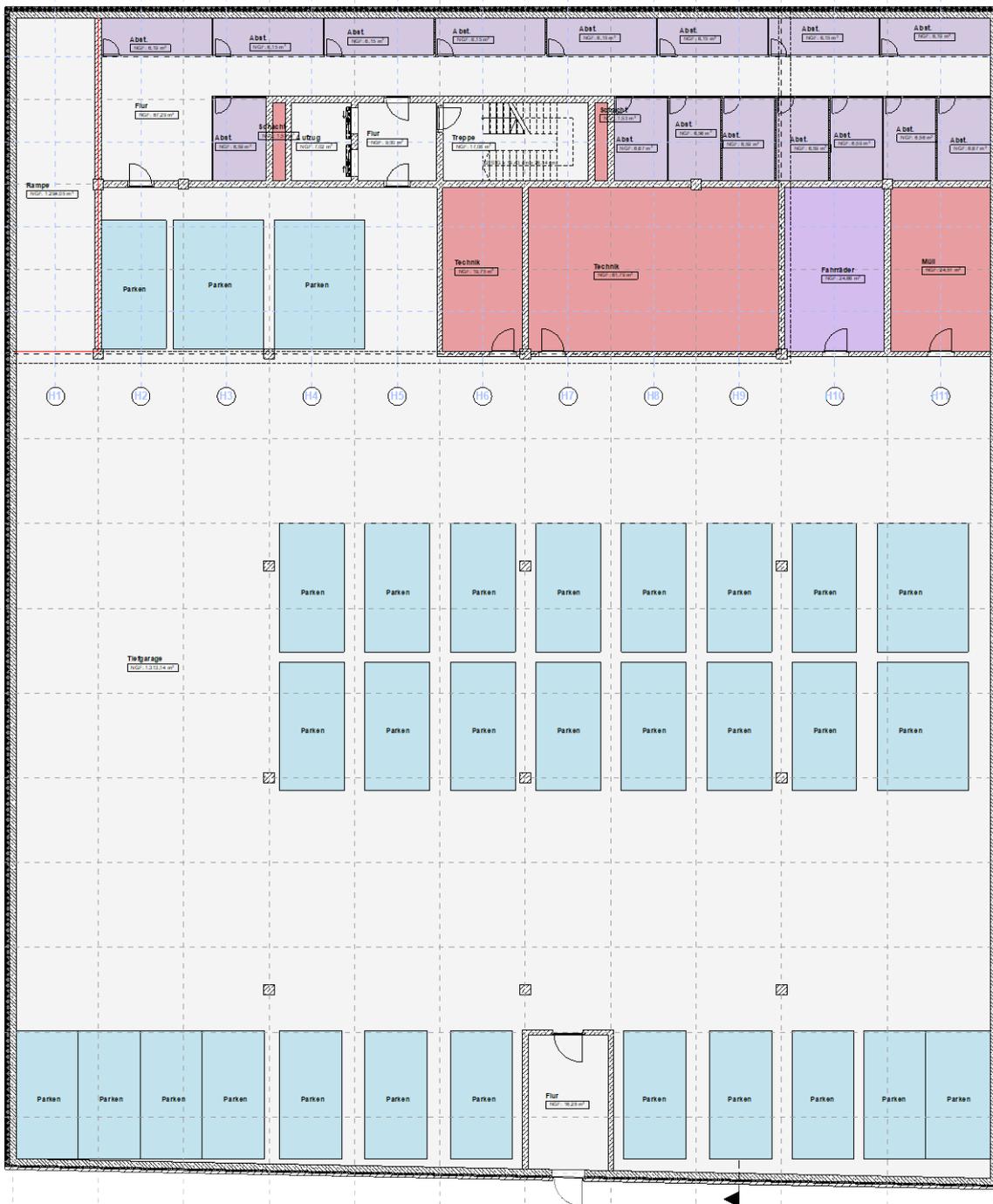


Abbildung 46: Mustermodell, Tiefgarage und Kellerräume

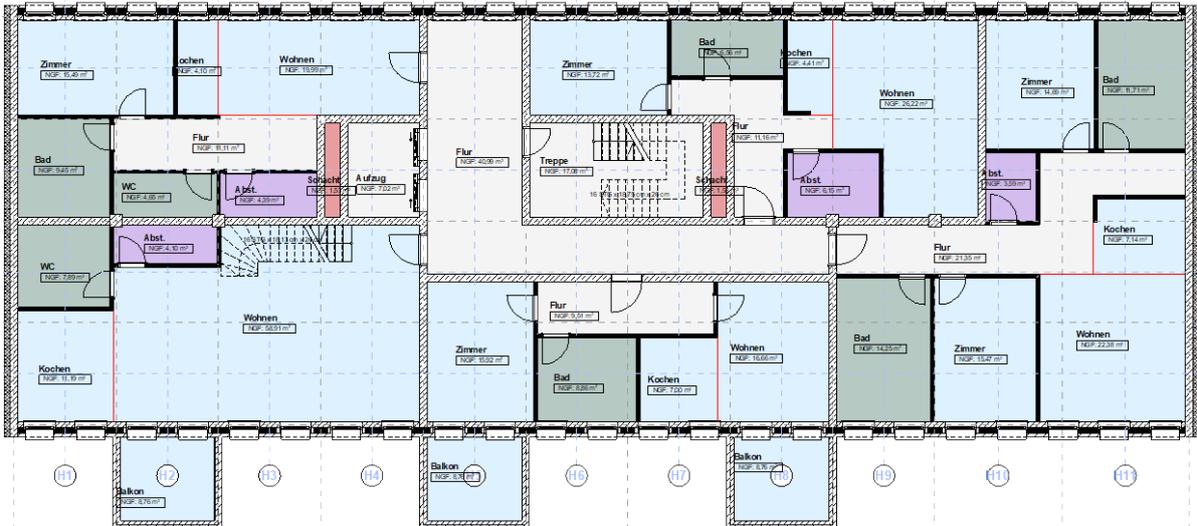


Abbildung 49: Mustermodell, zweites Obergeschoss mit Wohnungen

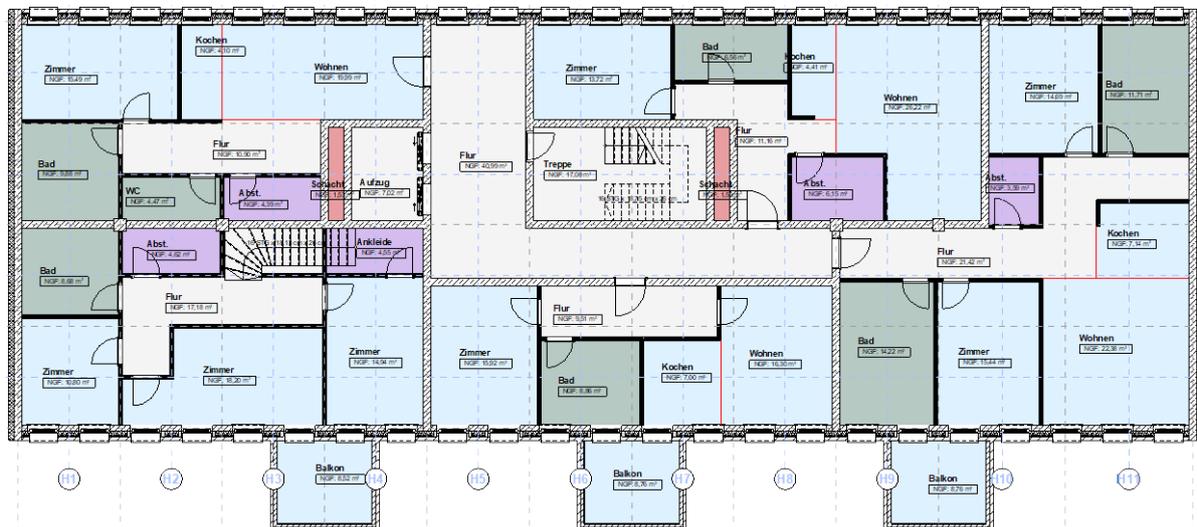


Abbildung 50: Mustermodell, drittes Obergeschoss mit Wohnungen

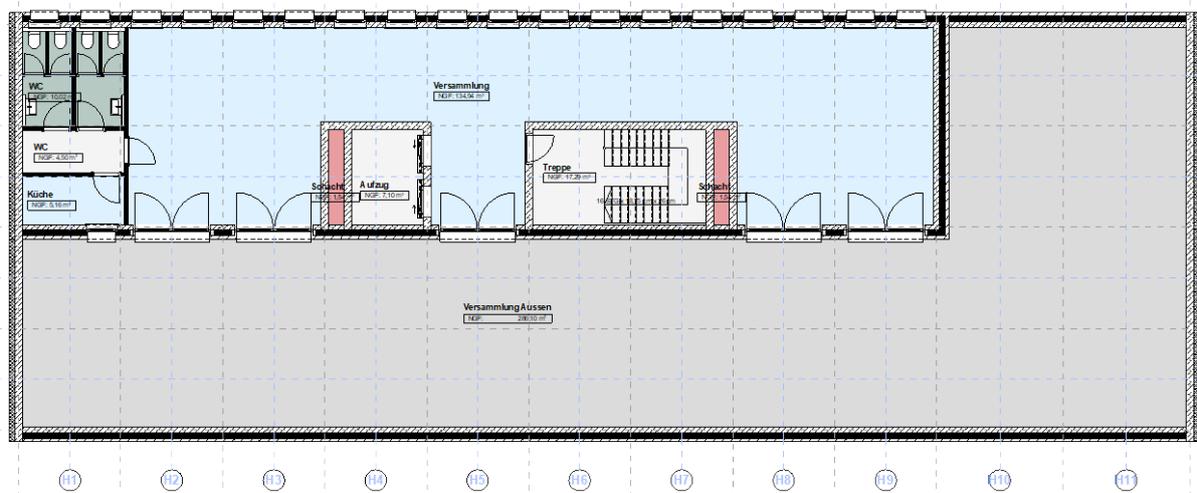


Abbildung 51: Mustermodell, Staffelgeschoss mit begehbare Dachterrasse