

Technische Universität München

Ingenieurfaculty Bau Geo Umwelt

Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation

Prüfung von Fertigstellungsgraden in digitalen Gebäudemodellen

Masterthesis

für den Master of Science Studiengang Bauingenieurwesen

Autor: Verena Hölzlwimmer

Matrikelnummer:



1. Betreuer: Prof. Dr.-Ing. André Borrmann

2. Betreuer: Alexander Braun

Ausgabedatum: 01. Januar 2019

Abgabedatum: 01. Juli 2019

Abstract

Currently, the construction industry is facing a change. The new working method *Building Information Modeling (BIM)* comes with the challenge to adjust design approaches and to overthink and redesign using proven structures and working tools. This need is immediately apparent for the realization of scales in digital building models. Where in conventional working methods scales manage the depth of information of the design, planning details of three-dimensional building models can be represented true-to-life on the screen. Furthermore, the use of predefined detailed library components implies incorrectly a much too advanced planning status.

To evaluate the reliability of the content of digital building models, the concept of the *LOD*-specification is going to be investigated. It is therefore the objective of the present thesis to make these level of developments verifiable. This allows to receive a general grasp of the representation content of various planning stages again and helps to increase the quality of building models.

For this purpose, different existent standards and their developments were investigated. Due to the fact, that there are no binding specifications regarding the *LODs* in Germany, the thesis at hand examines commonly known standards in terms of their practicability in Germany. The next step shows how a non-proprietary model checking can be deployed on the basis of *IFC*-files. To this, the *IFC* data model is analyzed and its structure is mapped on different building elements.

Even if the checking concept based on the BIMForum *LOD Specification* only refers to some specific building elements, it was able to prove, that these basic principles can be extent on further components of the building sector. The practical part of the thesis demonstrates the applicability of the concept of scales to the working method *BIM* with the help of the level of developments. The following implementation of a checking tool and the subsequent visualization of the results makes this tool even more tangible.

Zusammenfassung

Die Baubranche steht aktuell vor einem Umbruch. Durch die mit der Einführung der Arbeitsmethode *Building Information Modeling (BIM)* einhergehende Digitalisierung der Planung stehen viele vor der Herausforderung, nicht nur Planungsweisen, sondern auch lang erprobte, grundsätzliche Strukturen und Werkzeuge zu überarbeiten und neu zu gestalten. Diese Notwendigkeit zeigt sich auch bei der Umsetzung von Maßstäben in digitalen Gebäudemodellen. Wo in herkömmlichen Arbeitsweisen Maßstabsdefinitionen Auswirkungen auf die Informationstiefe der Planung hatten, werden Planungsdetails im dreidimensionalen Gebäudemodell realitätsgetreu abgebildet. Eine zu detaillierte Darstellung aufgrund der Benutzung vordefinierter Bibliothekselemente lässt zudem schnell auf eine weiter fortgeschrittene Planung schließen, als gegebenenfalls vorhanden.

Damit also auch digitale Gebäudemodelle wieder in der Zuverlässigkeit ihres Inhalts bewertet werden können, wird das Konzept der *LOD* - Spezifikationen genauer behandelt. Ziel dieser Arbeit ist es daher, die unterschiedlichen Fertigstellungsgrade im Modell prüfbar zu machen, um ein erneutes Verständnis für die Darstellung von Planungsphasen zu ermöglichen und die Qualität der Modelle zu steigern.

Hierzu wurden existierende Standards und ihre Entwicklungen betrachtet. Da es in Deutschland keine verbindlichen Festlegungen zu dieser Themenstellung gibt, wurden allgemein bekannte Standards auf ihre Anwendbarkeit in Deutschland untersucht. Anschließend wurde dargestellt, wie eine herstellerunabhängige Prüfung anhand von *IFC* - Dokumenten umsetzbar ist. Hierzu wurde das *IFC* - Datenmodell analysiert und auf verschiedene Bauteile abgebildet.

Obwohl sich das ausgearbeitete Prüfkonzept, welches auf der *LOD* - Spezifikation des BIMForum's basiert, auf ein paar spezifische Bauteile bezieht, konnte dargestellt werden, dass sich diese Grundprinzipien auch auf weitere Elemente anwenden lassen. Die praktische Umsetzung, die unter anderem die Modellierung der Bauelemente beinhaltet, zeigt, dass mithilfe der Methode der Fertigstellungsgrade die bekannten Maßstäbe auf die Arbeitsmethode *BIM* abbildbar werden. Die anschließende Implementierung eines Prüftools und darauf folgende Visualisierung der Ergebnisse macht dieses neue Werkzeug noch greifbarer.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI	
Tabellenverzeichnis	IX	
Abkürzungsverzeichnis	X	
1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Ziel der Arbeit.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit.....	2
2	Building Information Modeling	4
3	Stand der Forschung	6
3.1	Definitionen von Detaillierungsgraden	6
3.1.1	Entwicklung der Definitionen.....	6
3.1.2	Level of Detail vs. Level of Development	9
3.1.3	LOD in Deutschland.....	9
3.2	Einbindung in bestehende Planungsweisen	12
3.2.1	Abbildung auf Leistungsphasen	12
3.2.2	Abbildung auf Maßstäbe	14
3.3	Eindeutige LOD-Beschreibung.....	18
4	Theoretische Grundlagen zur Modellprüfung	22
4.1	BIM-Modellierwerkzeuge	22
4.2	Industry Foundation Classes	24
4.2.1	Allgemeines	24
4.2.2	Datenmodell IFC	25
4.2.3	Geometrierepräsentationen im Datenmodell IFC.....	28
4.2.4	Beziehungsdefinition im Datenmodell IFC	32
4.2.5	Analyse des STEP-Physical Files	33
4.2.6	Weitere Standards	37
4.3	Schnittstellenimplementierung verschiedener Softwareprodukte.....	39

4.4	Prüfwerkzeuge	42
5	Definition von Modellinhalten	43
5.1	Inhaltliche Prüfkriterien	43
5.2	Bauelementmodellierung	46
5.3	Regeldefinition	50
5.3.1	LOD 100	51
5.3.2	LOD 500	53
5.3.3	Balken	54
5.3.4	Stützen.....	62
5.3.5	Wände	69
5.3.6	Decken.....	78
5.3.7	Übersichtstabelle Prüfredeln	86
5.4	Modellierungsergebnisse	88
6	Anwendung in XBIM	92
7	Zusammenfassung und Fazit	102
	Literaturverzeichnis	106
	Anhang A	109
	Anhang B	115

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Auszug aus BIMForum LOD Specification, Beschreibung einer Holz-Außenwandkonstruktion.....	11
Abbildung 2 Auszug aus Vorentwurfsplanung M1:200, Darstellung nicht maßstabsgetreu (Siegl & Albert GbR 2005).....	15
Abbildung 3 Auszug aus Entwurfsplanung M1:200/1:100, Darstellung nicht maßstabsgetreu (Hanses)	16
Abbildung 4 Auszug aus Genehmigungsplanung M1:200/100, Darstellung nicht maßstabsgetreu (Hanses).....	17
Abbildung 5 Auszug aus Ausführungsplanung M1:50, Darstellung nicht maßstabsgetreu (Hanses)	17
Abbildung 6 Auszug aus Detailplanung M1:20-1:5, Darstellung nicht maßstabsgetreu (Hanses).....	18
Abbildung 7 Grundstruktur Datenmodell IFC 2x3 (buildingSMART-Tech).....	26
Abbildung 8 EXPRESS-Schema Entität IfcWall (buildingSMART-Tech)	27
Abbildung 9 Darstellung des CSG-Verfahrens (Borrmann et al. 2015).....	30
Abbildung 10 Darstellung von Extrusionen/Rotationen/Sweeps (Borrmann et al. 2015)	30
Abbildung 11 Darstellung des BREP-Verfahrens (Borrmann et al. 2015).....	31
Abbildung 12 Darstellung triangulierter Oberflächen (Borrmann et al. 2015)	32
Abbildung 13 Beziehungsklassen des IFC-Datenmodells (Borrmann et al. 2015)....	32
Abbildung 14 Ausschnitt aus der Header-Section des SPF-Dokuments	34
Abbildung 15 Verweisstruktur im SPF-Dokument.....	34
Abbildung 16 Objektstruktur der Entität IfcWall	36
Abbildung 17 Schema IfcWallStandardCase (buildingSMART-Tech).....	37
Abbildung 18 Übersicht über Model Views der Version IFC2x3 (Niedermaier und Bäck 2015).....	38
Abbildung 19 Exporteinstellungen in Revit 2019	48
Abbildung 20 PropertySet ID, Ausschnitt aus der Datei RevitExport	48

Abbildung 21 Geometrieanpassung durch die Veränderung von Parametern in Revit 2019	49
Abbildung 22 Verlust der Parametrik bei erneutem Import	49
Abbildung 23 PropertySet Parametric, Ausschnitt aus Datei RevitExport	50
Abbildung 24 LOD100 Raumprogramm, Darstellung in BimVision	52
Abbildung 25 PropertySet ID, Ausschnitt aus der Datei RevitExport	53
Abbildung 26 LOD200 Stahlbetonträger	54
Abbildung 27 LOD300 Stahlbetonträger	57
Abbildung 28 LOD350 Stahlbetonträger	59
Abbildung 29 LOD400 Stahlbetonträger	61
Abbildung 30 LOD200 Stahlbetonstütze	62
Abbildung 31 LOD300 Stahlbetonstütze	64
Abbildung 32 LOD350 Stahlbetonstütze	66
Abbildung 33 LOD400 Stahlbetonstütze	68
Abbildung 34 LOD200 Stahlbetonwand	71
Abbildung 35 LOD300 Stahlbetonwand	74
Abbildung 36 LOD350 Stahlbetonwand	76
Abbildung 37 LOD400 Stahlbetonwand	78
Abbildung 38 LOD200 Stahlbetondecke mit Fußbodenbelag	79
Abbildung 39 LOD300 Stahlbetondecke mit Fußbodenbelag	81
Abbildung 40 LOD350 Stahlbetondecke mit Fußbodenbelag	83
Abbildung 41 LOD400 Stahlbetondecke mit Fußbodenbelag	85
Abbildung 42 Übersichtstabelle Prüfredeln	87
Abbildung 43 visuelle Darstellung der Fertigstellungsgrade	89
Abbildung 44 Planausschnitt LOD100, Vorentwurfsplanung V-01, nicht maßstabsgetreu	90
Abbildung 45 Planausschnitt LOD200, Entwurfsplanung E-01, nicht maßstabsgetreu	90
Abbildung 46 Planausschnitt LOD300, Ausführungsplanung AP-01, nicht maßstabsgetreu	90

Abbildung 47 Planausschnitt LOD350, Ausführungsplanung AP-01, nicht maßstabsgetreu	91
Abbildung 48 Planausschnitt LOD400, Werkplanung WP-01, nicht maßstabsgetreu	91
Abbildung 49 Prüfzyklus einer IFC-Datei	93
Abbildung 50 Beispielcode: Funktion zur Bestimmung einer Gruppierung des Elements	94
Abbildung 51 Beispielcode: Ermittlung Fertigstellungsgrad eines Bauteils	94
Abbildung 52 Konsolenausgabe einer geprüften Elementgruppe	94
Abbildung 53 Konsolenausgabe einer bereits geprüften Stütze aus einer Elementgruppe	95
Abbildung 54 Konsolenausgabe zur Zusammenfassung des Endergebnisses	95
Abbildung 55 Ausschnitt aus dem Code zum Anfügen von Attributen	96
Abbildung 56 Erstellung von Klassifikationen und einheitliche Zuordnung eines Farbschemas in Solibri	97
Abbildung 57 Erstellung von Regeln zur Bestimmung bestimmter Klassifikationskomponenten in Solibri	98
Abbildung 58 Darstellung des zu prüfenden Modells	99
Abbildung 59 Gesamtgebäude im Klassifizierungsmanager in Solibri	99
Abbildung 60 Darstellung der klassifizierten Decken	100
Abbildung 61 Darstellung der klassifizierten Wände	100
Abbildung 62 Darstellung der klassifizierten Träger	100
Abbildung 63 Darstellung der klassifizierten Stützen	101

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Entwicklung der LODs (Trimble Navigation Limited 2013; American Institute of Architects 2008; BimForum 2018)	7
Tabelle 2 Leistungskatalog der Leistungsphasen (Depenbrock 2019)	13
Tabelle 3 Zuordnung von LODs auf Leistungsphasen (Depenbrock 2019)	14
Tabelle 4 Zusammenfassung von LOD-Definitionen	18
Tabelle 5 Auswertung der Dateiuntersuchung	40
Tabelle 6 LOD100 – allgemeine Regeldefinition	52
Tabelle 7 LOD500 – allgemeine Regeldefinition	53
Tabelle 8 LOD200 – Stahlbetonträger IfcBeam	54
Tabelle 9 LOD300 - Stahlbetonträger IfcBeam	57
Tabelle 10 LOD350 - Stahlbetonträger IfcBeam	59
Tabelle 11 LOD400 - Stahlbetonträger IfcBeam	61
Tabelle 12 LOD200 – Stahlbetonstütze IfcColumn	62
Tabelle 13 LOD300 – Stahlbetonstütze IfcColumn	64
Tabelle 14 LOD350 - Stahlbetonstütze IfcColumn	66
Tabelle 15 LOD400 - Stahlbetonstütze IfcColumn	68
Tabelle 16 LOD200 – Stahlbetonwand IfcWall	71
Tabelle 17 LOD300 - Stahlbetonwand IfcWall	74
Tabelle 18 LOD350 - Stahlbetonwand IfcWall	76
Tabelle 19 LOD400 - Stahlbetonwand IfcWall	78
Tabelle 20 LOD200 – Stahlbetondecke IfcSlab	79
Tabelle 21 LOD300 – Stahlbetondecke IfcSlab	81
Tabelle 22 LOD350 - Stahlbetondecke IfcSlab	83
Tabelle 23 LOD400 - Stahlbetondecke IfcSlab	85

Abkürzungsverzeichnis

AIA	Auftraggeber-Informationsanforderungen American Institute of Architects
BAP	BIM Abwicklungsplan
BCF	BIM Collaboration Format
BIM	Building Information Modelling
BREP	Boundary Representation
CDE	Common Data Environment
CSG	Constructive Solid Geometry
GUID	Global Unique Identifier
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IFC	Industry Foundation Classes
LOD	Level of Detail / Level of Development
LOG	Level of Geometry
LOI	Level of Information
MVD	Model View Definition
NBS	National Building Specification
SPF	STEP Physical File
STEP	Standard for the Exchange of Product model data
XBIM	eXtensible Building Information Modeling

1 Einleitung

1.1 Motivation

Das Wesen der Baubranche wird schon immer von der zeichnungsbasierten Kommunikation geprägt. Es ist somit üblich, alle relevanten Informationen grafisch in Form einer Bauzeichnung abzubilden. Die Bauzeichnung dient sowohl im Planungsbüro als auch auf der Baustelle oder für den Bauherren als primäre Informationsquelle und entwickelt sich über die Planungsphasen eines Bauprojekts hinweg in ihrer Detailgenauigkeit weiter, von der Vorplanung, über die Objektüberwachung bis hin zum Ende eines Gebäudelebenszyklus. Wo in frühen Planungsphasen das geplante Objekt eher oberflächlich dargestellt wird, um einen allgemeinen Überblick über das Bauvorhaben zu vermitteln und Zieldefinitionen mit dem Bauherren abzuklären, können Pläne in späten Leistungsphasen spezifische Details maßstabsgetreu abbilden. Diese Veränderung der Informationstiefe hat sich zu einem allgemein bekannten Werkzeug entwickelt, den Maßstäben. Mit ihnen wird definiert, wann das Gebäude bis zu welcher Genauigkeit gezeigt wird. So können in großmaßstäbigeren Plänen detailliertere Ausschnitte abgebildet werden als in der Darstellung in kleinerem Maßstab. Zusätzlich wird mithilfe von definierten Liniendicken oder Schraffuren die Abbildungsgenauigkeit beeinflusst. Im Laufe der Jahre hat sich in der Baubranche ein ausführliches Verständnis für dieses Werkzeug entwickelt. Der Maßstab vermittelt, wie weit fortgeschritten die Planung im vorliegenden Bauprojekt ist und mit welcher Zuverlässigkeit die daraus gewonnenen Informationen einzuschätzen sind. Dies lässt eine eindeutige Kommunikation zwischen den unterschiedlichsten Projektbeteiligten ohne Missverständnisse zu (Hausknecht und Liebich 2016).

Doch auch die Baubranche unterliegt dem Wandel der Digitalisierung. Mit der Einführung der Arbeitsweise *Building Information Modeling (BIM)* verlagert sich die Planung vom Zweidimensionalen ins Dreidimensionale. Hierbei gelten nun digitale Gebäudemodelle als Abbild des Geplanten und ersetzen somit zweidimensionale Pläne (Drobnik und Riegas 2015). Bei der Erstellung von dreidimensionalen Modellen wird so nicht mehr im Maßstab gezeichnet, sondern es werden Elemente in realitätsgetreuer Größe digital abgebildet (Drobnik und Riegas 2015). Zudem kann bei der Modellerstellung auf vordefinierte Elemente aus Bauteilbibliotheken zurückgegriffen werden, die die

Bauteile bis ins kleinste Detail repräsentieren. Dies führt dazu, dass bereits in frühen Leistungsphasen Modelle vorliegen können, die den Planungsinhalt sehr umfangreich darstellen und somit auf eine weiter fortgeschrittene Planungstiefe hinweisen, als gegebenenfalls vorhanden. Außerdem werden so sehr große Datenmengen produziert, die zu Einschränkungen im Planungsablauf führen können.

Das allgemein bekannte und wertvolle Werkzeug der Maßstabsdefinitionen geht somit durch die Arbeitsmethode *BIM* verloren. Dies führt dazu, dass Bauzeichnungen zu detaillierte Planinhalte vorweisen können. Die Kommunikation, welche Informationen zuverlässig aus dem Modell entnommen werden können, ist dann nur noch begrenzt vorhanden. Um einen reibungslosen Planungsablauf zu gewähren, muss also ein neues Werkzeug eingeführt werden, welches dem Maßstab auf Modellebene entspricht. Die vorliegende Arbeit setzt genau an diesem Punkt an.

1.2 Ziel der Arbeit

In vorliegender Arbeit soll untersucht werden, inwiefern existierende Definitionen zu Fertigstellungsgraden das Maßstabswerkzeug auf Modellebene repräsentieren. Hierzu werden diese bestehenden Festlegungen auf ihre Anwendbarkeit in Deutschland untersucht. Den Festlegungen folgend werden verschiedene Modelle nach der Arbeitsmethode *BIM* erstellt, um diese anschließend mit den Maßstäben der herkömmlichen Planungsweise zu vergleichen. Ziel dieser Arbeit ist es, die verschiedenen Fertigstellungsgrade im digitalen Gebäudemodell zu prüfen, um eine missverständliche Informationsweitergabe zu vermeiden und somit die Qualitätssicherung von Modellinhalten zu gewährleisten. Durch die Definition spezifischer Regeln soll die Einhaltung von diesen Fertigstellungsgraden prüfbar gemacht werden. Diese Prüfung soll der Philosophie von *Building Information Modeling* folgend herstellerunabhängig möglich sein.

1.3 Aufbau der Arbeit

Damit die Zielsetzung erfüllt werden kann, soll zuerst in Kapitel 2 ein allgemeiner Überblick über die Arbeitsmethode *Building Information Modeling* vermittelt werden. Dieses Kapitel soll eine weitgefächerte Zusammenfassung des Themengebiets abbilden, legt den Fokus jedoch zusätzlich auf die sich ergebenden Prozesse zur Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten.

Kapitel 3 beschäftigt sich mit den verschiedenen Definitionen zu Fertigstellungsgraden. Hier wird zuerst die Entwicklung der Detaillierungsgrade betrachtet, um anschließend den Stand der Forschung in Deutschland zu analysieren. Um die Gültigkeit bereits existierender Definitionen zu verifizieren, werden die Detaillierungsgrade anschließend in bestehende Planungsweisen eingebunden. Hierzu werden Modellanforderungen aus den Leistungsphasendefinitionen und aus den Maßstäben abgeleitet. Anschließend kann eine umfassende Beschreibung der Fertigstellungsgrade erstellt werden, die sämtliche Aspekte berücksichtigt.

Die Grundlagen, die für eine herstellerunabhängige Prüfung von Modellinhalten notwendig sind, werden in Kapitel 4 behandelt. Es wird zuerst betrachtet, wie digitale Gebäudemodelle nach der Arbeitsmethode *BIM* erstellt werden können. Anschließend wird die Abbildung eines Bauelements in der herstellerunabhängigen Schnittstelle *IFC* analysiert. Hier soll gezeigt werden, wie die Aspekte eines digitalen Modells im Datenschema *IFC* dargestellt werden. Nachdem anschließend die Schnittstellenimplementierung verschiedener Modellierungswerkzeuge untersucht wurde, behandelt der letzte Teil des Kapitels die Thematik von Prüfwerkzeugen.

Kapitel 5 setzt diese theoretischen Grundlagen dann in die Praxis um. Hierzu werden inhaltliche Prüfebene definiert, die festlegen, welche Inhalte des digitalen Gebäudemodells untersucht werden. Anschließend wird die Bauelementerstellung in einem *BIM*-Modellierungswerkzeug genauer beschrieben. Darauf aufbauend erfolgt dann die inhaltliche Regeldefinition verschiedener Bauteile, abgebildet auf die herstellerunabhängige Schnittstelle *IFC*. Die Grundlage der Regeldefinition bezieht sich auf allgemein bekannte Festlegungen zu Fertigstellungsgraden, aber auch die Abbildung auf bestehende Planungsweisen fließt in diese Betrachtung mit ein. Im letzten Teil des Kapitels werden die Ergebnisse der Modellierung gezeigt und der Vergleich zu bestehenden Maßstabmethoden gezogen.

In Kapitel 6 erfolgt anschließend die Umsetzung der zuvor definierten Regeln. Es wird ein Softwaretool entwickelt, welches ein beliebiges Modell mit Bauteilen verschiedener Fertigstellungsgrade prüft. Anschließend kann eine visuelle Auswertung in einem weiteren Prüfwerkzeug erfolgen.

2 Building Information Modeling

Building Information Modeling, kurz *BIM*, erfährt in der Baupraxis immer mehr Aufmerksamkeit. Spätestens mit der Einführung des „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur im Jahre 2015 sehen viele Beteiligte des Bauwesens die Dringlichkeit der Einführung dieser Arbeitsmethode, da in diesem Dokument die regelmäßige Anwendung von *BIM* in allen öffentlichen Infrastrukturprojekten des Neubaus ab Ende 2020 festgelegt wird (BMVI 2015).

Der Begriff *Building Information Modeling* bezeichnet eine kooperative und computer-gestützte Arbeitsweise, die den Entwurf und die Pflege eines digitalen Abbilds eines Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus hinweg beinhaltet und die den konsistenten Austausch der Informationen zwischen den Beteiligten ermöglicht (BMVI 2015) (Borrmann et al. 2015). Ein wesentliches Merkmal solcher digitalen Bauwerksmodelle liegt darin, dass sowohl geometrische als auch semantische Informationen an dreidimensionale Objekte angefügt werden können, welche die unterschiedlichen Bauelemente repräsentieren (Borrmann et al. 2015). Es erfolgt also ein Wandel von der Skizze zu dreidimensionalen Informationsmodellen (Drobnik und Riegas 2015).

Bei der Planung, dem Bau und dem Betrieb von Gebäuden sind Personengruppen verschiedenster Aufgabenbereiche beteiligt, wodurch eine Vielzahl von Schnittstellen zwischen den Mitwirkenden entsteht. Der Gefahr, dass relevante Informationen nur an Teilgruppen weitergegeben werden oder vorliegende Informationen bereits veraltet sind, soll *BIM* entgegenwirken (Eastman 2011). Daher stellt eine zentrale Quelle als Plattform sämtliche Informationen zur Verfügung und bildet ein Netzwerk aus Modellen und Datenbanken. Dies entspricht dem *Common Data Environment (CDE)* gemäß ISO 19650. Es können somit Modellversionen in regelmäßigen Abständen aus dem nativen Umfeld heraus erstellt werden, um diese dann in einer gemeinsamen Umgebung zusammenzuführen (Baldwin et al. 2018).

Damit dieser Austausch verlustfrei funktionieren kann, wurde die herstellerunabhängige Schnittstelle *IFC*, kurz für *Industry Foundation Classes*, von der Organisation *buildingSMART* entwickelt, welche im Jahr 1995 unter dem Namen „International Alliance for Interoperability“ als Zusammenschluss verschiedener Firmen gegründet wurde

(buildingSMART.org 2019). *IFC* zählt heute als Standard-Austauschformat in der Umsetzung von BIM-Projekten im Rahmen einer offenen Projektumgebung und wird bereits von den meisten *BIM* - Modellierungswerkzeugen unterstützt (Borrmann et al. 2015). Des Weiteren finden oft herstellerspezifische Schnittstellen wie „.dwg“ oder „.dgn“ Anwendung, die eine reine Übertragung der Geometrie und nur weniger Eigenschaften der Bauelemente ermöglichen (Egger et al. 2013).

Die Ziele des Auftraggebers, die durch den Einsatz von *BIM* im Projekt erreicht werden sollen, werden in den *Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA)* festgehalten. Hier wird ebenso festgelegt, wann welche Daten in welchem Format und in welchem geometrischen und alphanumerischen Detaillierungsgrad vorliegen sollen. Außerdem werden die gewünschten *BIM*-Anwendungsfälle definiert (buildingSMART.de 2019). Die Koordination der Fachgewerke, also die Zusammenführung von Fachmodellen mit anschließender Kollisionsprüfung, die Ableitung von Plänen oder Mengenermittlungen als Grundlage für Kostenschätzungen und -berechnungen sowie Planungsvariantenuntersuchungen und Visualisierungen sind einige wesentliche Anwendungsfälle, die hier zu nennen sind (BIM4INFRA2020 2018; Borrmann et al. 2015). Anschließend wird aus den *AIA* der *BIM-Abwicklungsplan (BAP)* entwickelt, der unter anderem die organisatorischen Strukturen und Verantwortlichkeiten im Projektteam regelt (buildingSMART.de 2019).

Die Vorteile, die sich aus der *BIM* - Methodik im Planungsprozess ergeben, sind vielfältig. Zum einen wird durch die Ableitung von technischen Zeichnungen oder Plänen eine widerspruchsfreie Kommunikation ermöglicht, zum anderen können durch regelmäßige Kollisionsprüfungen der einzelnen Fachgewerke geometrische Konflikte in der Planung frühzeitig erkannt werden (Borrmann et al. 2015). Besprechungen am Modell mit allen Beteiligten vereinfachen zudem die Kommunikation und rufen ein vertieftes Verständnis auch für andere Gewerke hervor.

Eine wesentliche Herausforderung, die diese Arbeitsmethode mit sich bringt, ist sicherlich der Umgang mit der maßstabsgetreuen Darstellung von Bauelementen im digitalen Gebäudemodell. Um keine fälschlicherweise zu tiefe Planungsgenauigkeit vorzutäuschen, müssen Informationsflüsse und Modellinhalte transparent und konsistent geplant und gestaltet werden. Hierfür gibt es bereits allgemein bekannte Festlegungen, welche die Entwicklungsstufen einzelner Objekte über die Phasen des Planungsprozesses hinweg definieren. Diese sollen in Kapitel 3 genauer dargestellt werden.

3 Stand der Forschung

Wie bereits in Kapitel 2 angeschnitten, ist es notwendig, im Planungsprozess genau festzulegen, wer wann was zu liefern hat, also welche Objekte in welcher Detailtiefe und mit welchen Attributen hinterlegt wann vorliegen sollen. Nur so kann eine störungsfreie und koordinierte Planung erfolgen, in welcher jeder Beteiligte notwendige Informationen fristgerecht liefern kann. Doch auch die Festlegung der Geometrieentwicklung einzelner Bauteile über die Planungsphasen hinweg ist ein wertvolles Werkzeug, das es den Planern und Bauherren ermöglicht, den Entwicklungsstand und somit die Verlässlichkeit des vorliegenden Modells zu erkennen und zu bewerten. Wo in herkömmlichen Planungsweisen Maßstäbe die Informationstiefe des Geplanten angeben, wird im *BIM*-Modell jegliches Detail realitätsgetreu dargestellt (Hausknecht und Liebich 2016). Die Verwendung von vordefinierten Bibliothekselementen erweckt zusätzlich den Eindruck eines bereits durchgeplanten Modells. Aus diesem Grund ist es erforderlich, den Detaillierungsgrad der Modellelemente vor Projektbeginn zu beschreiben.

3.1 Definitionen von Detaillierungsgraden

3.1.1 Entwicklung der Definitionen

In Deutschland gibt es derzeit keine verbindlichen Festlegungen, die die Detaillierungsgrade von Modellinhalten einheitlich definieren (Hausknecht und Liebich 2016; Egger et al. 2013). Ausländische Konzerne beschäftigten sich jedoch seit einigen Jahren mit dieser Problemstellung und somit konnte die Firma VICO Software (heute Teil der Firma Trimble) ein Dokument erstellen, welches den Fortschritt eines Projektes genau festlegt: die *Model Progression Specification* (Trimble Navigation Limited 2013). Hier wurde der Begriff *Level of Detail* (deutsch: Detaillierungsgrad), kurz *LOD*, eingeführt, der die Stufen der Informationstiefen einzelner Objekte definiert (vgl. Tabelle 1). Dieses Konzept wurde 2008 vom *American Institute of Architects (AIA)* erweitert und es entwickelte sich daraus die Empfehlung E-202 (Trimble Navigation Limited 2013). Parallel dazu wurde auch die *Model Progression Specification* fortgeschrieben und liegt aktuell mit Version 3.0 (aus dem Jahre 2013) vor, in welcher verschiedene Bauelemente in ihren Entwicklungsstufen detailliert bezüglich Diversifikation, Geometrie, Umfang und Durchbrüchen beschrieben werden (Trimble Navigation Limited 2013).

Das Dokument E-202 ist als eine Art Vordruck verfasst, welches zwischen den Projektbeteiligten als Planungsgrundlage vereinbart werden kann. Die Weiterentwicklung des *Level of Detail* aus der *Model Progression Specification* nannte man hier *Level of Development*, kurz *LOD*, und bezeichnet den Fertigstellungsgrad der Modellelemente. Es werden 5 Stufen beschrieben (vgl. Tabelle 1), zusammen mit den dafür freigegebenen Anwendungsfällen wie der Kostenschätzung oder der Erstellung von Zeitplänen (American Institute of Architects 2008).

Das BIM-Forum erweiterte anschließend dieses *LOD* - Schema mit Definitionen und Bildern von Bauelementen verschiedener Fachgewerke über alle Entwicklungsstufen hinweg. Die Definition der *LOD* - Stufen wurde aus dem Dokument E-202 übernommen und teilweise neu interpretiert, zusätzlich wurde es um ein sechstes Level, das *LOD* 350, ergänzt (vgl. Tabelle 1) (BimForum 2018).

Tabelle 1 Entwicklung der LODs (Trimble Navigation Limited 2013; American Institute of Architects 2008; BimForum 2018)

LOD \ Dokument	Model Progression Specification	E-202	BIM-Forum Interpretation
100 Konzeptionell	Konzeptionelle Volumen	Gebäudevolumen dreidimensional, keine spezifischen Elemente	nichtgrafische Darstellung von Elementen als Symbole
200 Überschlägig	Ungefähre Elementabmessungen, generische Repräsentation	Ungefähre Elementabmessungen, Lage und Orientierung als allgemeines System	Ungefähre Geometrie: generische Platzhalter als Volumen oder erkennbar als Bauelement
300 Exakt	Angabe von Abmessungen und Materialien	Spezifisches Objekt mit genauen Angaben zu Abmessungen, Lage und Orientierung	Genauere Geometrie: Abmessungen, Lage, Orientierung aus Modell ohne textliche geometrische Angaben

350			Zusätzlich: Verbindungen und Beziehungen zu anderen Objekten
400 Fertigungsreif	Dokumentation des Gebauten	Zusätzlich: Montage-, Installations- und Herstellerangaben	Ausführung: exakte geometrische Abbildung mit allen herstellungsrelevanten Details
500 Ausgeführt		Element entspricht dem gebauten Zustand	Element entspricht dem gebauten Zustand, „field verified“

Die *BIMForum LOD Specification* wurde daraufhin Bezugspunkt für viele Richtlinien und Leitfäden in den verschiedensten Ländern (Bolpagni 2016). So referenzieren viele Leitfäden auch aus Deutschland diese Standards. Zu nennen sind hier z. B. das *IFC - Handbuch* von Autodesk Revit, welches die Ausführung des BIMForum's als Grundlage nimmt (Autodesk GmbH 2018), oder das *BIM - Kompendium* von Nemetschek Allplan, welches sich konkret auf die Festlegungen der *AIA* bezieht (Niedermaier und Bäck 2015). In einigen anderen Ländern wurden darauf aufbauend eigene Spezifikationen entwickelt. So definiert z. B. Neuseeland den *LOD* als Summe der Teilaspekte *Level of detail*, *Level of accuracy* (deutsch: Exaktheit), *Level of information* und *Level of coordination* (Bolpagni 2016). Ob nun „LOD“ für den *Level of Development* oder *Level of Detail* steht, ist also eine reine Sache der Definition. Eine offizielle Festlegung ist hierfür nicht zu finden. Wie sich die Definitionen für den *Level of Development* und *Level of Detail* genau unterscheiden, soll anschließend im nächsten Kapitel analysiert werden.

3.1.2 Level of Detail vs. Level of Development

Wie bereits beschrieben, kann das Kürzel *LOD* für den Begriff des Fertigstellungsgrads oder des Detaillierungsgrads stehen. Obwohl diese Begriffe die gleiche Abkürzung besitzen, unterscheiden sie sich wesentlich in ihrer Bedeutung. Es ist also elementar von Bedeutung, eine eindeutige Übersetzung für den *LOD* zu bestimmen.

Der *Level of Detail*, also der Detaillierungsgrad eines Elements, gibt hier grundsätzlich an, welche geometrischen Informationen angezeigt werden, also in welcher geometrischen Detailtiefe gezeichnet wird. Der *Level of Development* (Fertigstellungsgrad) hingegen beschreibt, wie weit einzelne Bauteile durchdacht sind, also welche geometrischen Aspekte aus dem Modell verlässlich übernommen werden können (BimForum 2018). So kann ein Bauelement in einem Datenmodell unabhängig zwei unterschiedliche Stufen des Detailierungs- und Fertigstellungsgrades erreichen. Durch die Verwendung von Bibliothekselementen kann ein Fensterelement beispielsweise in einer frühen Fertigstellungsphase mit einem hohen Detaillierungsgrad vorliegen. Es ist jedoch zu beachten, dass ein reibungsloser Planungsablauf nur dann erfolgen kann, wenn Fertigstellungsgrad und Detaillierungsgrad aufeinander abgestimmt werden. Um der ursprünglichen Idee der *LOD* - Definition zu folgen, die Bauelemente entsprechend dem Planungsablauf abzubilden, liegt es nahe, die Definition des *Level of Development* umzusetzen. Damit hier Unklarheiten und Verwechslungen vermieden werden können, ist es notwendig, auch die geometrische Detailtiefe auf die einzelnen Entwicklungsstufen anzupassen.

Was in Deutschland allgemein unter der Abkürzung *LOD* verstanden wird, soll nachfolgend betrachtet werden.

3.1.3 LOD in Deutschland

Wie bereits erwähnt gibt es in Deutschland keine verbindliche und allgemein anerkannte Festlegung zu *LOD*. Dies ist auch der Grund dafür, warum dieser Begriff in verschiedenen Publikationen unterschiedlich interpretiert wird (Mini 2016; Verband Beratender Ingenieure 2016; Hausknecht und Liebich 2016; Fehrenbach 2018). Mehrheitlich wird jedoch unter der Abkürzung *LOD* das Akronym *Level of Development* verstanden. Die Definitionen der Fertigstellungsgrade entsprechen meist denen des BIM-Forum's (vgl. Tabelle 1). Wo in Tabelle 1 der Übersichtlichkeit halber nur die geometrischen Details der Fertigstellungsgrade zusammengefasst sind, werden in vielen Ausführungen auch die Objekteigenschaften erfasst, also die *Level of Information*, kurz

LOI (Mini 2016; Fehrenbach 2018; Verband Beratender Ingenieure 2016). Die Veränderung der Eigenschaftenbeschreibung eines Bauteils kann unabhängig von seiner geometrischen Entwicklung erfolgen, weswegen die *LOD* - Definition im Projekt flexibel gestaltet werden sollte (Baldwin et al. 2018). Dies kann erreicht werden, indem der Begriff des Fertigstellungsgrads als ein Oberbegriff fungiert, der sowohl den Informationsgehalt (*LOI*) beinhaltet als auch die geometrische Genauigkeit (*Level of Geometry*¹):

$$\text{LOD} = \text{LOG} + \text{LOI}$$

(Hausknecht und Liebich 2016; Autodesk GmbH 2018; Baldwin et al. 2018)

Hier ist zu beachten, dass sich die zugewiesenen Objekteigenschaften aufgrund ihrer Varianz, abhängig von den unterschiedlichen Projektanforderungen, nicht in Stufen unterteilen lassen, wohingegen die geometrische Genauigkeit den Nummerierungen der *LOD* folgt (Hausknecht und Liebich 2016). Dies liegt daran, dass Informationen zu beliebigen Zeitpunkten je nach Anwendungsfall an Objekte geheftet werden können. Einige Elementattribute charakterisieren jedoch bestimmte Fertigstellungsgrade, wie zum Beispiel Herstellerangaben oder Angaben zu Materialien (BimForum 2018). Sicher ist, dass mit steigendem Fertigstellungsgrad auch die Menge an semantischen Informationen steigt.

Aufgrund der Tatsache, dass in Deutschland bislang noch keine standardisierten *LOD* - Definitionen vorliegen, bezieht sich diese Arbeit auf die Festlegungen des BIMForum's, ein allgemein bekannter Standard (vgl. hierzu Tabelle 1). Allgemein gilt in dieser Festlegung, dass sich die Beschreibungen auf einzelne Elemente und nicht auf das gesamte Modell beziehen. So existiert laut BIMForum zum Beispiel kein „LOD 200“-Modell, da in einem realitätsgetreuen Projektablauf ein Datenmodell zu einem bestimmten Zeitpunkt Elemente unterschiedlicher Entwicklungsgrade enthalten kann (BimForum 2018). Zum Beispiel kann eine Wand durchgeplanter vorliegen als ein haustechnisches Produkt (Egger et al. 2013).

Wie bereits erwähnt, beschreibt die *LOD Specification* des BIMForum's einzelne Bauelemente textlich sowie bildlich in den unterschiedlichen Fertigstellungsgraden. Als

¹ Kurz: LOG

Beispiel wird die Beschreibung einer Außenwandkonstruktion aufgeführt (vgl. Abbildung 1). Im LOD300 wird diese in ihrer exakten Geometrie dargestellt, Hauptdurchbrüche wie Fenster- oder Türöffnungen werden ebenso modelliert. Im LOD350 wird dann die Holzrahmenkonstruktion dargestellt und alle Durchbrüche als Rohbaumaß eindeutig definiert.

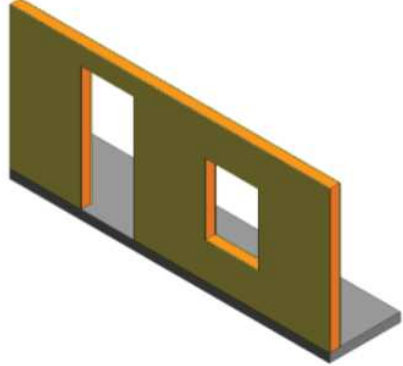
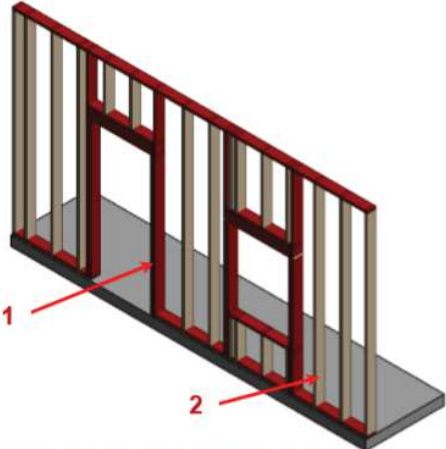
<p>300</p>	<p>Specific wall modeled to actual dimensions.</p> <p>Penetrations are modeled to nominal dimensions for major wall openings such as windows, doors, and large mechanical elements.</p> <p>Shear panels</p>	 <p>69 B2010.06-LOD-300 Exterior Wall (Wood)</p>
<p>350</p>	<p>Wood framing is developed with sufficient elements to support detailed interface coordination with other systems such as MEP.</p> <p>All penetrations are modeled at actual rough-opening dimensions.</p> <p>Openings modeled with support framing around openings</p> <p><i>Image notes:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Elements in red are critical wall support elements that cannot be easily cut for coordination of MEP opening through the walls. 2) Infill wood framing modeling may be omitted at this LOD if stated in the BXP. 3) Cladding and sheathing are not shown for clarity in this image. 	 <p>70 B2010.06-LOD-350 Exterior Wall (Wood)</p>

Abbildung 1 Auszug aus BIMForum LOD Specification, Beschreibung einer Holz-Außenwandkonstruktion

Wie das Beispiel zeigt, beschreibt dieses Dokument die Entwicklung der Elemente ausführlich. Um zu überprüfen, ob die Definitionen des BIMForum's auch in Deutschland ihre Gültigkeit erhalten und somit als Grundlage für die Untersuchungen in vorliegender Arbeit dienen können, soll eine Abbildung auf aktuelle Planungsabläufe in Deutschland erfolgen.

Bei dieser Betrachtung soll die Flexibilität der LOD - Strukturen berücksichtigt werden, also die unabhängige und projektspezifische Entwicklung von Geometrie und Seman-

tik. Der Begriff *LOD* als Abkürzung für den Fertigstellungsgrad wird weiterhin verwendet und beschreibt Geometrie und jene Informationen, die eindeutig einer bestimmten Stufe zugehörig sind. Attribute, die beliebig je nach Projektanforderung an ein Element geheftet werden können, werden in vorliegender Arbeit nicht berücksichtigt.

3.2 Einbindung in bestehende Planungsweisen

Um die Gültigkeit bestehender *LOD* - Definitionen in Deutschland festzustellen, soll zuerst untersucht werden, welche Planungsphasen in Deutschland existieren und welchen Entwicklungsstand die Planung hier jeweils erreicht. Anschließend soll betrachtet werden, wie in herkömmlichen Planungsweisen mit Informationstiefen umgegangen wird. Aus diesen Betrachtungen können daraufhin Modellanforderungen abgeleitet werden, die die Definitionen des BIMForum's bestätigen oder gegebenenfalls ergänzen.

3.2.1 Abbildung auf Leistungsphasen

Wie bereits die Definition von Fertigstellungsgraden zeigte, gibt es auch bei der Zuordnung der *LOD* - Stufen zu den jeweiligen Leistungsphasen keine allgemein gültigen Festlegungen. Das BIMForum begründet eine fehlende Zuordnung mit mangelnden internationalen Standards zu Planungsphasen. Zum anderen erfolgt die Definition von *LODs* elementbezogen, ein digitales Gebäudemodell einer bestimmten Leistungsphase kann somit Elemente verschiedenster Entwicklungsstufen enthalten und erschwert somit eine klare Eingliederung (BimForum 2018).

Da in Deutschland jedoch eindeutige Definitionen von Planungsphasen vorliegen, findet man in verschiedenster Fachliteratur Zuordnungen von Fertigstellungsgraden zu den einzelnen Leistungsphasen (vgl. (Hausknecht und Liebich 2016; Baldwin et al. 2018; Autodesk GmbH 2018; Depenbrock 2019)). Aus den Zieldefinitionen dieser Stufen können wertvolle Informationen für die Verifizierung bestehender *LOD* - Standards abgeleitet werden. Hier ist zu beachten, dass aufgrund der bereits angesprochenen Elementbezogenheit jedoch nur eine grobe Eingliederung erfolgen kann.

In Deutschland wird nach der *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure*, kurz *HOAI*, in 9 Leistungsphasen unterschieden, von der Grundlagenermittlung, über die Ausführungsplanung bis hin zur Objektbetreuung. Die *HOAI* unterscheidet in Leistungsbilder der Objektplanung „Gebäude und Innenräume“, Objektplanung „Ingenieur-

bauwerke“ und den Fachplanungen „Tragwerksplanung“ und „Technische Gebäudeausrüstung“. Tabelle 2 fasst die hier zu erbringenden Leistungen zusammen. Es werden jedoch nur grundlegende Tätigkeiten und diejenigen aufgeführt, die Auswirkung auf die geometrische Genauigkeit haben.

Tabelle 2 Leistungskatalog der Leistungsphasen (Depenbrock 2019)

Leistungsphase	Leistungen
1 - Grundlagenermittlung	Aufgabenstellung klären, Beratung
2 - Vorentwurfsplanung	Vorplanung, Variantenuntersuchung, Kostenschätzung, Beratung in statisch-konstruktiver Hinsicht, Planungskonzept: Vordimensionierung von Systemen und Anlagenteilen
3 - Entwurfsplanung	Entwurfsplanung, Kostenberechnung, überschlägige Berechnungen, grundlegende Festlegungen konstruktiver Details und Hauptabmessungen, Festlegung aller Systeme und Anlagenteile
4 - Genehmigungsplanung	Erstellen der Vorlagen und Nachweise für Genehmigungsverfahren
5 - Ausführungsplanung	Erarbeitung von ausführungsfähigen Lösungen, Detailzeichnungen
6 – Vorbereitung Vergabe	Leistungsbeschreibung mit Leistungsverzeichnis, Kostenermittlung, genaue Mengenermittlung
7 – Mitwirkung Vergabe	Einholen von Angeboten, Prüfen und Werten von Angeboten, Bietergespräche
8 – Objektüberwachung (Bauüberwachung)	Überwachung der Ausführung des Objekts
9 – Objektbetreuung und Dokumentation	Betreuung bei Gewährleistungsmängeln

Auf Grundlage dieser Definition lassen sich dann anschließend die Leistungsphasen grob einem Fertigstellungsgrad zuordnen (Depenbrock 2019; Hausknecht und Liebich 2016; Baldwin et al. 2018).

Tabelle 3 Zuordnung von LODs auf Leistungsphasen (Depenbrock 2019)

LOD	Leistungsphase (grobe Zuordnung)
100	2 - Vorentwurf
200	3 – Entwurfsplanung 4 - Genehmigungsplanung
300	5 - Ausführungsplanung
400	8 – Objektüberwachung
500	Ende 8 – Übergabe des Modells

Aus dieser Zuordnung entstehen mit dem Hintergrund der Ziele der Leistungsphasendefinitionen modellspezifische Anforderungen, welche in Tabelle 4 zusammengefasst werden (nach Depenbrock 2019). Der Einfluss von verschiedenen Anwendungsfällen wird hier vernachlässigt. Relevante Anwendungsfälle wie die Ableitung von Plänen, Kollisionsanalysen, Mengenermittlungen oder anschließende Berechnungs- und Simulationsverfahren (Borrmann et al. 2015) sind in der Definition der Leistungsphasen enthalten und bedürfen keiner genaueren geometrischen Modellierung einzelner Bauteile. Um die Anforderungstabelle noch erweitern zu können, soll jedoch im nächsten Kapitel betrachtet werden, wie in herkömmlichen Planungsweisen mit den unterschiedlichen Informationstiefen umgegangen wird.

3.2.2 Abbildung auf Maßstäbe

Das Bauwesen basiert seit eh und je auf einer zeichnungsorientierten Planungskultur. Welche Informationstiefe einer solchen Zeichnung zu einer bestimmten Leistungsphase vorliegt, wird in herkömmlichen Planungsweisen über das Maßstabs-Werkzeug abgehandelt. So wird der Vorentwurf im Maßstab 1:200, der Entwurf im Maßstab 1:100, die Ausführungsplanung im Maßstab 1:50 bis zu 1:1 bei Details angefertigt, wobei bei immer größer werdendem Maßstab immer mehr Details gezeigt werden. Der

Maßstab legt also fest, in welcher Detailschärfe Bauelemente dargestellt werden (Hausknecht und Liebich 2016).

Wie bereits beschrieben geht durch die *BIM*-Methodik dieses wertvolle Werkzeug verloren und bringt das Arbeiten mit den *LOD*-Spezifikationen hervor. Um die Anwendung dieser Bestimmungen in Deutschland zu verifizieren, sollen anschließend die Inhalte der jeweiligen Maßstäbe untersucht werden. Die sich daraus ergebenden Modellanforderungen sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Maßstab

1:200

Raumkonzept: ungefähre Größen

OG

Zimmer 1:	16,63 m ²
Zimmer 2:	12,97 m ²
Zimmer 3:	16,63 m ²
Zimmer 4:	16,63 m ²
WC:	2,00 m ²
Bad 1:	4,34 m ²
Flur 2:	4,62 m ²
Flur 3:	1,1 m ²
	75,92 m ²

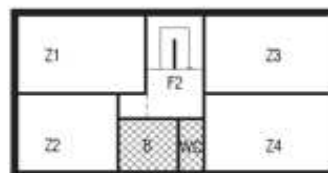


Abbildung 2 Auszug aus Vorentwurfplanung M1:200, Darstellung nicht maßstabsgetreu (Siegl & Albert GbR 2005)

1:100

Materialschraffuren der Hauptelemente (z.B. Mauerwerkswand ohne Putz)

Rohbauöffnungen

Unterscheidung in tragende/nichttragende Elemente:

Gesamter Fußbodenaufbau als eine Schicht

Dachstuhl ohne genauen Dachaufbau

Vorsatzschalen/Fassaden

Außenmaße/Hauptabmessungen

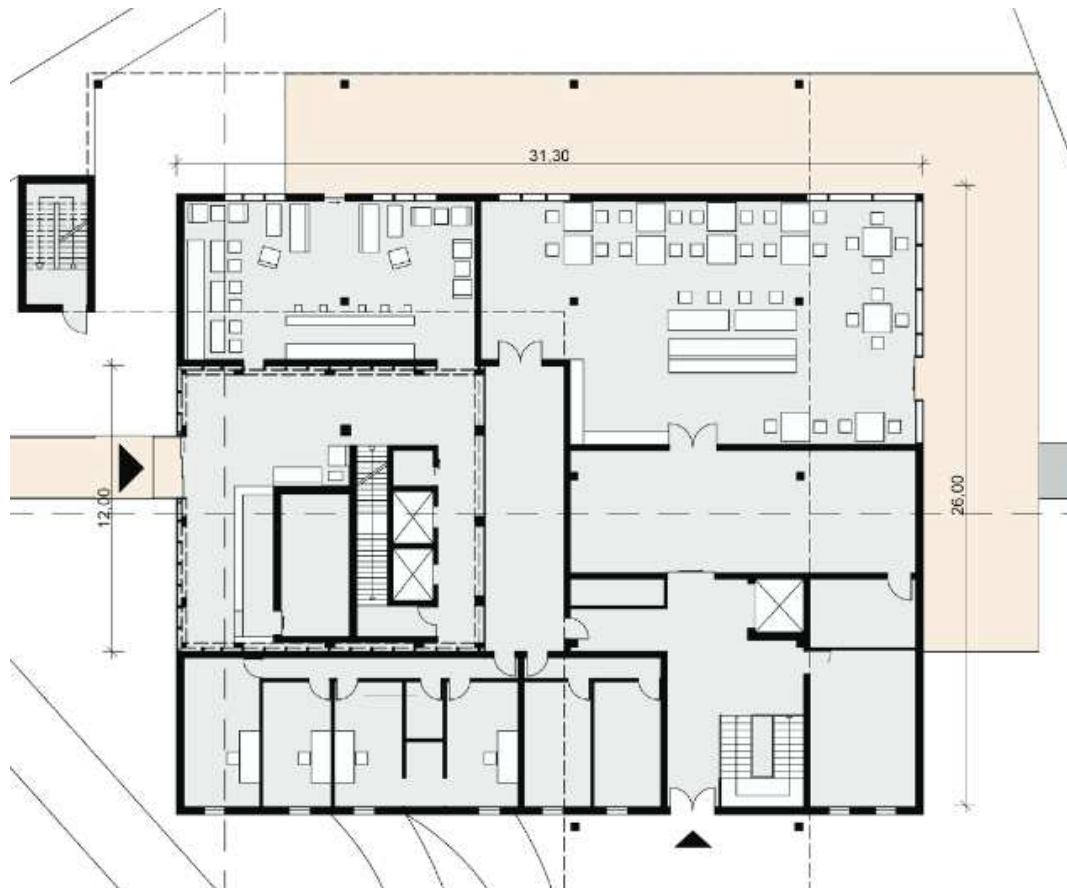
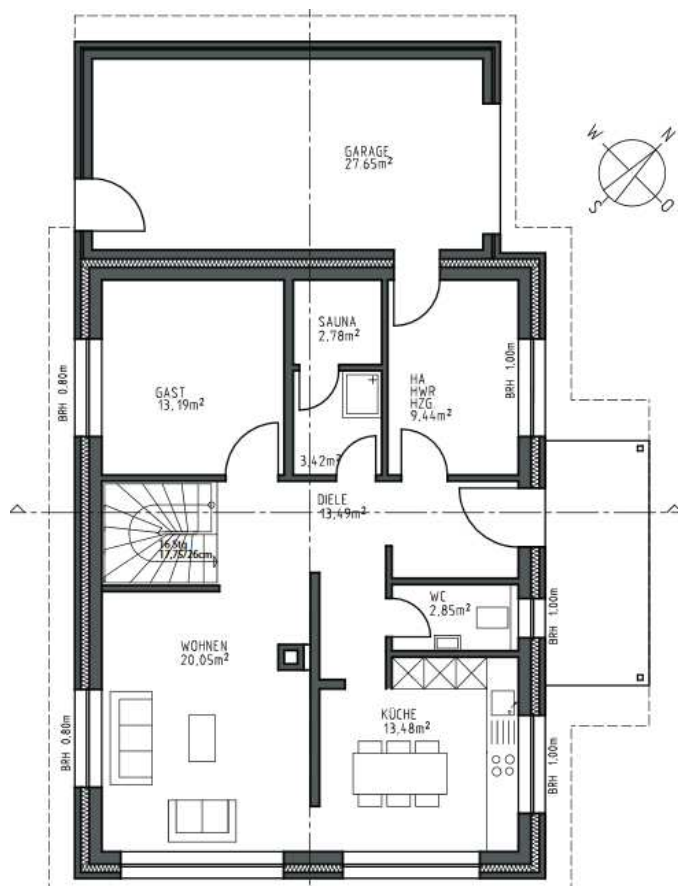


Abbildung 3 Auszug aus Entwurfsplanung M1:200/1:100, Darstellung nicht maßstabsgetreu (Hanes)



1:20-1:1 Detaillierte Elementdarstellung wie Fassaden,...

Beispiel Trauf- und Ortgangdetail
Darstellung hier nicht maßstäblich!

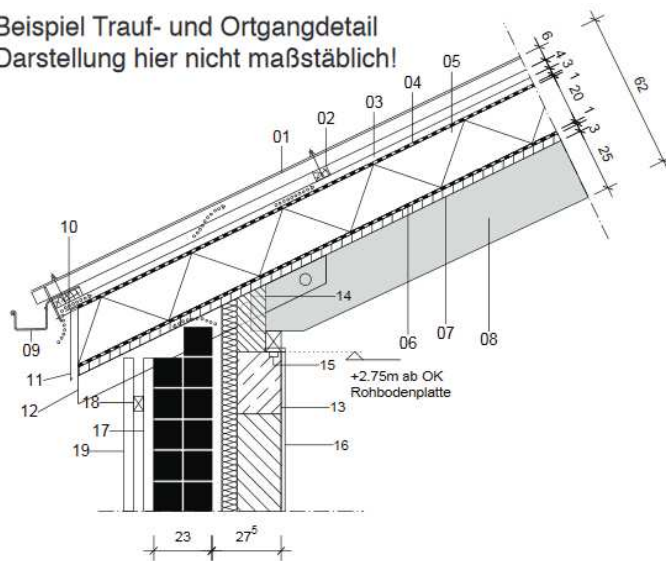


Abbildung 6 Auszug aus Detailplanung M1:20-1:5, Darstellung nicht maßstabsgetreu (Hanses)

3.3 Eindeutige LOD-Beschreibung

Nach der ausführlichen Betrachtung der existierenden *LOD*-Spezifikationen, der Definition von Leistungsphasen in Deutschland und deren Leistungsziele und nach der Analyse von Informationstiefen in bestehenden Planungsweisen kann anschließend eine ausführliche Beschreibung von *LOD*-Stufen, abgestimmt auf die Anwendung in Deutschland, erfolgen. Diese Beschreibung soll die bereits sehr detaillierte Betrachtung der unterschiedlichen Bauelemente des BIMForum's untermauern und gegebenenfalls ergänzen.

Tabelle 4 Zusammenfassung von *LOD*-Definitionen

LOD	Definition aus E-202 (American Institute of Architects 2008) bzw. BIM-Forum <i>LOD Specification</i> (BimForum 2018)
	Anforderungen aus Definition der Leistungsphasen (Depenbrock 2019)
	Details aus Ableitung von Maßstäben
100	Nichtgrafische Repräsentation von Elementen als Symbol, allgemeiner Abbildung oder angehängte Information

	Gebäude und Innenräume: 3D-Modell als Massenmodell, Raumprogrammumsetzung mit Geschosshöhen, allgemeine Beschreibung von Objekttypen und Bauteileigenschaften
	Raumkonzept: ungefähre Größen
200	<p data-bbox="368 483 1394 667">Grafische Repräsentation von Modellelementen, erkennbar als zukünftiger Objekttyp mit ungefähren Mengen, Abmessungen, Lage und Orientierung</p> <p data-bbox="368 678 1394 925">Gebäude und Innenräume: 3-D Modell mit vollständiger angenäherter Gebäude- und Bauteilgeometrie, detaillierte Qualitäts- und Materialangaben, Festlegung Fassadengeometrie, Höhenentwicklung, Bauteildefinitionen</p> <p data-bbox="368 936 1394 1413"> Materialschraffuren der Hauptelemente (z.B. Mauerwerkswand ohne Putz) Rohbauöffnungen Gesamter Fußbodenaufbau als eine Schicht Dachstuhl mit First, Sparren, Pfetten ohne genauen Dachaufbau Vorsatzschalen/Fassaden Außenmaße/Hauptabmessungen </p>
300 / 350	<p data-bbox="368 1435 1394 1742">Grafische Repräsentation des Bauelements als spezifisches Objekt mit genauen Angaben zu Mengen, Abmessungen, Form, Verortung und Orientierung, alle angehängten grafischen Notizen ausmodelliert</p> <p data-bbox="368 1753 1394 1939">350: zusätzliche Modellierung der Schnittstellen zu anderen Objekten wie Verbindungen oder Auflager</p> <p data-bbox="368 1951 1394 2040">Gebäude und Innenräume: 3-D Modell mit detaillierter und ausführungsfähiger Modellierung von Bauteilen als Grundlage für Mengenermittlungen, Ausgabe von Bauteillisten für Fenster- und Türlisten</p> <p data-bbox="368 2051 1394 2065">350: Angaben aus Tragwerksplanung: endgültige Bauteildimensionierung, Materialangaben, Einbauteile</p>

	einzelne Schichten (Fußbodenaufbau, Dachaufbau) Exakte Abmessungen Befestigungen
400	Zusätzliche Angabe von Details zur Herstellung des Objekts
	Werkstatt- und Montageplanung ausführender Firmen modellbasiert Fertigungs-, Einbau- und Detailinformationen z.B. Produktbezeichnungen
	Detaillierte Elementdarstellung wie Fassaden
500	Überprüfte Abbildung der eingebauten Bauelemente
	BIM-As-Built-Modell auf Grundlage LOD 300/350 oder LOD 400 Verifizierte Darstellung des tatsächlich vorhandenen Objekts, produktspezifisch
	-

Auf den ersten Blick erzeugt die Abbildung der Fertigstellungsgrade auf die Leistungsphasen einen Widerspruch zu den Standards des BIMForum's. Die Bewehrungspläne werden herkömmlicherweise in Leistungsphase 5, der Ausführungsplanung, erstellt, wohingegen die BIMForum *LOD Specification* eine Darstellung der Bewehrung erst im LOD400, also laut Zuordnung nach Tabelle 3 in Leistungsphase 8 fordert. Die Schriftenreihe „Leistungen Building Information Modeling – Die BIM-Methode im Planungsprozess der HOAI“ fordert jedoch als *BIM* - Leistung der Tragwerkplanung in Leistungsphase 5 lediglich die 3D-Planableitung aus der Objektplanung. Die Integration der Bewehrung im 3D-Modell kann als besondere Leistung angerechnet werden. Die modellbasierte Werk- und Montageplanung der ausführenden Firmen in Leistungsphase 8 ist demnach einem LOD400 zuzuordnen und geht einher mit den Festlegungen des BIMForum's (Depenbrock 2019).

Wie Tabelle 4 zeigt, untermauern die Modellanforderungen, welche aus den Leistungsphasen- und Maßstabsdefinitionen hervorgehen, die Beschreibungen des allge-

mein anerkannten Standards des BIMForum's. Es wird also bewiesen, dass die BIMForum *LOD Specification* auch für deutsche Standards als Grundlage dienen kann. Für die Definition von quantifizierten Regeln in Kapitel 5 können daher die Festlegungen des BIMForum's herangezogen werden.

Zuerst sollen jedoch in Kapitel 4 theoretische Grundlagen zur Umsetzung und Prüfung von *LODs* vermittelt werden. Es wird betrachtet, wie Elemente in *BIM* - Modellierwerkzeugen erstellt und ausgetauscht werden und wie anschließend eine Weiterbearbeitung wie z. B. eine Prüfung erfolgen kann.

4 Theoretische Grundlagen zur Modellprüfung

Wenn *BIM* in einem Projekt Anwendung findet, gibt es verschiedene Möglichkeiten, in welchem Umfang dies erfolgen kann. Eine grundlegende Entscheidung liegt hierin, ob die Softwarewerkzeuge einer Produktfamilie genutzt werden, oder ob der Datenaustausch zwischen den Beteiligten über herstellerunabhängige Schnittstellen funktioniert, also die Entscheidung zwischen „closed BIM“ und „open BIM“. Vorteil einer „closed BIM“ - Methode ist sicherlich die Tatsache, dass über die dementsprechenden spezifischen Schnittstellen die Intelligenz und Komplexität des nativen Modells mit übergeben werden kann (Autodesk GmbH 2018). Was jedoch elementar für die „open BIM“-Methode spricht, ist die Tatsache, dass selten alle Fachplaner eines Bauvorhabens aus einem Hause stammen und somit die unterschiedlichste Softwarelandschaft im Projekt vorzufinden ist. Weiterhin ist zu nennen, dass ein Bauprojekt verschiedenste Planungsphasen durchläuft und hier oft ein Wechsel der Arbeitnehmer und somit der eingesetzten Software stattfindet (Borrmann et al. 2015). Aus diesem Grund ist es dringend ratsam, auf herstellerunabhängige Schnittstellen wie *IFC* zurückzugreifen. Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, zählt *IFC* heute als Standard-Austauschformat und soll wesentlicher Bestandteil der vorliegenden Untersuchung sein.

Mit dem Hintergrund der Umsetzung der „open BIM“ - Methode soll also in diesem Kapitel herausgearbeitet werden, wie die Aspekte von Bauelementen im Austauschformat *IFC* repräsentiert werden. Darauf aufbauend können dann in Kapitel 5 Strukturen abgeleitet werden, die auf die Detailgenauigkeit von Objekten zurückschließen lassen. Durch diesen Schritt wird die Einhaltung der Fertigstellungsgrade im Modell prüfbar und trägt somit zur Qualitätssicherung von Modellinhalten bei.

4.1 BIM-Modellierwerkzeuge

Um ein digitales Gebäudemodell im Sinne von *BIM* zu erstellen, werden sogenannte *BIM* - fähige Programme benötigt. Wesentliches Merkmal solcher Modellierungswerkzeuge ist das objektorientierte Arbeiten, das die Verwendung von vordefinierten dreidimensionalen Objekten wie Wänden oder Türen beinhaltet. Solche vordefinierten Objekte sind parametrisch konzipiert und gelten als Vorlage für unzählige Varianten des gleichen Typs. Sie passen sich automatisch an Randbedingungen an und speichern semantische Informationen wie Angaben zu Materialien oder Herstellern. Durch ihre

geometrische Abhängigkeit von Parametern lassen sich Objekte in *BIM* - Modellen ohne großen Aufwand ändern, da hier anstatt der gesamten Zeichnung lediglich eine Variable wie z. B. die Breite eines Elements angepasst werden muss. Eine zweite Art der Parametrik dieser Objekte zeigt sich daran, dass zwischen den Elementen assoziative Verbindungen ausgebildet werden können. So treffen dadurch zum Beispiel Wandenden automatisch aufeinander oder eine Wandöffnung ist mit dem entsprechenden Fensterelement verbunden und wird bei Veränderung ohne großen Aufwand automatisch nachgeführt (Hemmerling und Tiggemann 2010).

Die größte Gefahr von vordefinierten Objekten besteht darin, dass viele Elemente zu detailgetreu vorliegen können (Baldwin et al. 2018). Im Hinblick auf die Umsetzung der *Level of Development* -Standards ist es deswegen ratsam, eigene Objektbibliotheken anzulegen. Der Kerngedanke der Definition von Fertigstellungsgraden beinhaltet, nur diese Informationen im Modell zu hinterlegen, die in einer bestimmten Planungsphase zur Verfügung stehen und benötigt werden. Somit steigern sich mit größer werdendem *LOD* auch die Komplexität und der Umfang des Modells. Es sollen also nur die notwendigsten geometrischen und alphanumerischen Informationen hinterlegt werden, nicht das Maximum des Möglichen (Hausknecht und Liebich 2016). Dies soll bei der Erstellung von *BIM*-Objekten stets berücksichtigt werden. Öffentlich zugängliche Modellerstellungs-Richtlinien unterstützen bei der Modellierung von Objekten (Baldwin et al. 2018). Beispielsweise bietet *NBS*² als Technologieplattform einen Standard an, den *NBS BIM Object Standard*, der einheitlich beschreibt, wie ein hochqualitatives Objekt aufgebaut werden soll (NBS National BIM Library 2019). Demnach ist es zum Beispiel von Bedeutung, dass ein Objekt in seinem Typ eindeutig identifizierbar ist, um einen reibungslosen Austausch mithilfe der herstellerunabhängigen Schnittstelle *IFC* zu gewährleisten. Zudem werden auch geometrische Anforderungen an die Modellierung von Objekten gestellt (NBS National BIM Library 2019).

Folgende Aspekte gelten als Grundlage, um die physische Form eines Bauelements ausreichend zu beschreiben:

- allgemeine geometrische Daten: Die geometrische Detailgenauigkeit soll ausreichend sein, um die Größe und den Kontext zu anderen Objekten zu zeigen. Bestenfalls ist das Objekt durch seine Gestalt als Typ erkennbar.

² National Building Specification

- Informationen zur Darstellung der Form: Angaben zur äußeren Hülle des Objektes sind wesentlich. Ebenso sollen grundlegende Öffnungen oder wichtige Details dargestellt werden, von denen elementare Informationen abgeleitet werden können. Die grundlegende Form sollte nicht modifizierbar sein.
- symbolische Angaben: Fülllinien wie Schraffuren und Öffnungsrichtungen können dargestellt werden.
- Details zu Oberfläche und Material: *BIM* - Objekten können Angaben zu Farben oder Schraffuren zugewiesen sein, ebenso wie Texturbilder, um das Material und Oberflächen des Objektes ausreichend zu visualisieren.
- Daten zu Verbindungen mit anderen Objekten

(NBS National BIM Library 2019)

Mit dieser Spezifikation lassen sich *BIM* - Objekte im Modell ausreichend abbilden. Wie diese wesentlichen Aspekte dann mithilfe der Schnittstelle *IFC* dargestellt werden, soll nachfolgend betrachtet werden.

4.2 Industry Foundation Classes

4.2.1 Allgemeines

Um den Kerngedanken von *BIM* umzusetzen, ein Datenmodell über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks zu pflegen und als Grundlage für Downstream-Anwendungen wie statischen Berechnungen, energetischen Analysen oder einer Kostenberechnung zu verwenden, ist es erforderlich, sowohl die Geometrie des Modells als auch dessen semantische Informationen einheitlich zu beschreiben und zu repräsentieren. Hierzu hat buildingSMART das Datenmodell *IFC* entwickelt. Die aktuellste Version dieses Modells liegt mit *IFC 4* vor, wurde jedoch noch nicht von allen Softwareherstellern vollständig implementiert. buildingSMART international hat hierzu eine Tabelle veröffentlicht, in der abgebildet ist, welche *IFC* - Version in den Modellierwerkzeugen der unterschiedlichsten Unternehmen bereits funktionsfähig einsetzbar ist (vgl. (buildingSMART.org 2019)). Aus dieser Tabelle geht hervor, dass einige wenige Hersteller derzeit die Schnittstellenimplementierung der Version *IFC 4* vornehmen, eine funktionsfähige Schnittstelle derzeit jedoch bei keinem dieser Vorreiter zur Verfügung steht. In Kapitel 4.3 soll dieser Sachverhalt noch einmal kurz überprüft werden. *IFC 2x3* scheint hingegen ausreichend implementiert zu sein, weswegen diese Version im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen soll.

Mit der Version IFC 4 wurde ein anerkannter ISO 16739 Standard erreicht (buildingSMART-Tech). Dass diese Version bereits im März 2013 veröffentlicht wurde (buildingSMART-Tech), sie jedoch bis heute noch nicht vollkommen implementiert vorliegt, zeigt, wie komplex diese Datenstruktur ist.

4.2.2 Datenmodell IFC

Mithilfe der deklarativen Datenmodellierungssprache EXPRESS kann das Datenmodell *IFC* umgesetzt und objektorientierte Datenmodelle definiert werden (Borrmann et al. 2015). Die Hauptkomponente der Sprache EXPRESS bildet das Entity, welches Objekte (z.B. Bauelemente) mit ihren Attributen repräsentiert. Wesentlich ist hier, dass diese Objekte keine konkreten Instanzen bilden, sondern eine übergeordnete Gruppe von Elementen mit gleichen Eigenschaftstypen darstellen. Durch die individuelle Belegung deren Attribute werden die Entitäten anschließend instanziiert. Beziehungen zwischen den einzelnen Objekten werden mit Relationen ausgebildet (Anderl und Trippner 2000). Mithilfe eines *STEP³ Physical File (SPF)* können die instanziierten Entitäten dann ausgetauscht werden (Borrmann et al. 2015). Diese Datei ist mit der Endung „.ifc“ zu erkennen.

Die Beschreibung eines Gebäudedatenmodells bzw. einzelner Bauteile erfolgt also durch eine Kombination verschiedener Entitäten, welche wiederum im *IFC* - Datenmodell auf unterschiedlichen Hierarchiestufen angesiedelt sind. So kann ein Objekt aus verschiedenen Entities unterschiedlicher Stufen zusammengesetzt werden. Grundsätzlich wird hier in vier sogenannte „Layer“ unterschieden (vgl. Abbildung 7). Entities aus der obersten Stufe, welche spezifischer sind als Entitäten aus Layern darunter, können auf tiefer angesiedelte Entities zugreifen, dies gilt jedoch nicht in entgegengesetzter Richtung (buildingSMART-Tech) (vgl. Abbildung 2).

³ Standard for the Exchange of Product model data

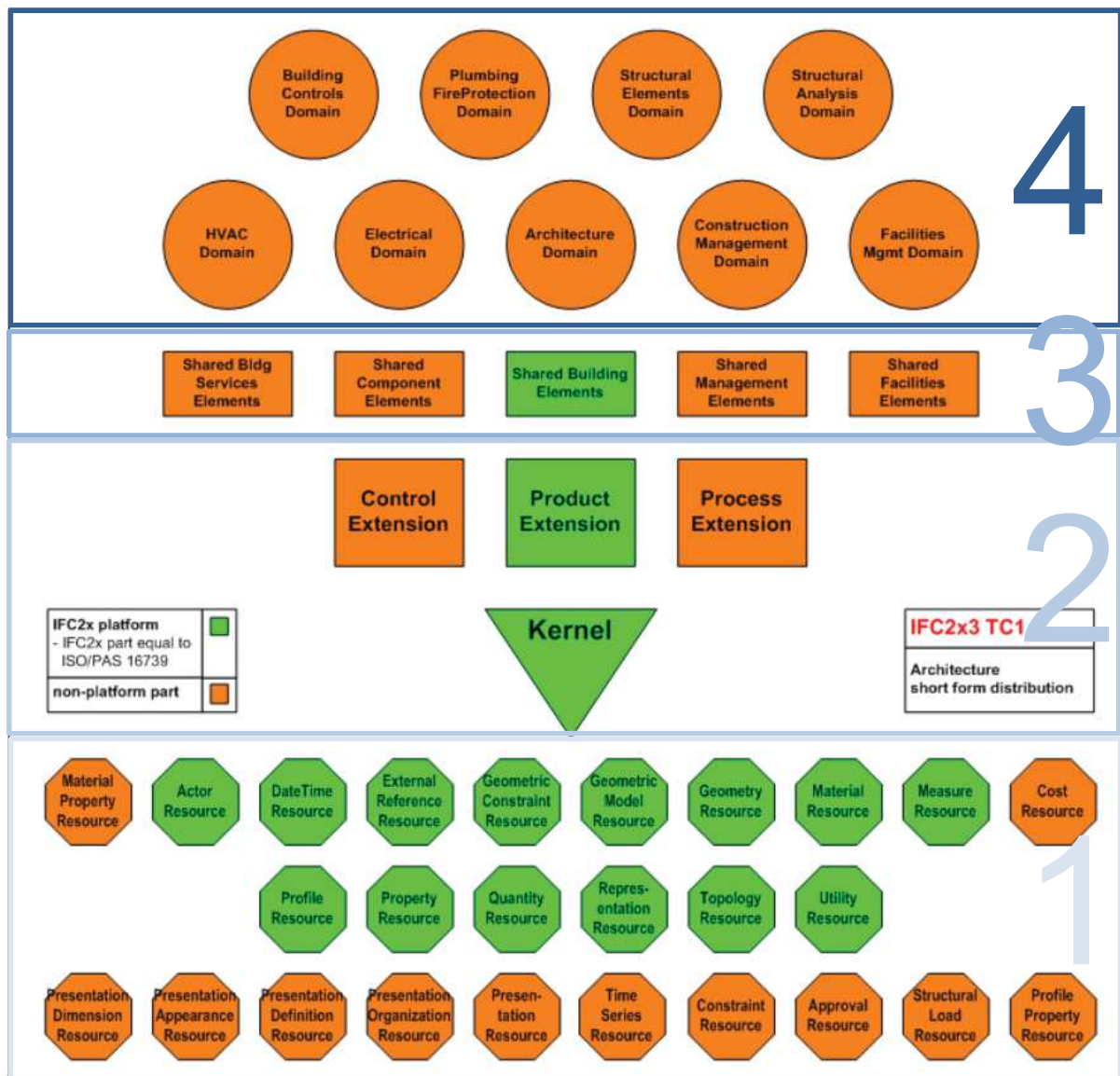


Abbildung 7 Grundstruktur Datenmodell IFC 2x3 (buildingSMART-Tech)

Dies bedeutet, dass auf erster Stufe Schemata liegen, welche für hierarchisch höher gelegene Entitäten grundlegende Bausteine zu deren Beschreibung bilden. Zum Beispiel stellt das Schema *Material Resource* Objekte bereit, die zur Beschreibung der Materialität eines Bauelements benötigt werden (z.B. *IfcMaterialLayerSet*); *Geometry Resource* enthält Objekte, die benötigt werden, um die Geometrie von höher gelegenen Entitäten zu beschreiben. Hierunter fallen zum Beispiel die Definition von Punkten, Richtungsvektoren oder Oberflächen. Das Schema *Profile Resource* deckt wiederum alle Definitionen von zweidimensionalen Profilen ab. Diese werden beispielsweise benötigt, um dreidimensionale Volumenkörper zu beschreiben. *Geometric Model Resource* beinhaltet alle Klassen zur Beschreibung von geometrischen Modellen. Die Tatsache, dass hier allein 7 Möglichkeiten (IFC 4: 8 Varianten) gelistet sind, Geometrie

abzubilden (vgl. Kapitel 4.2.3), zeigt, wie komplex sich die Implementierung des Datenmodells *IFC* gestaltet (buildingSMART-Tech).

Die nächstgelegene Ebene bildet den Grundstein für alle weiteren Entitäten. Im Gegensatz zu Stufe eins werden alle Klassen ab Layer 2 vom sogenannten *Kernel* abgeleitet, welcher also die Strukturen und Konzepte für alle weiteren Schemata festlegt. Abgeleitet von der Klasse *IfcRoot*, welche im Kernel definiert wird und Grundstrukturen wie zum Beispiel die Identifikation durch einen *GUID*⁴ beinhaltet, werden hier die Superklassen der physischen Elemente, ihrer Eigenschaftsdeklarationen und ihrer Beziehungen untereinander definiert. Diese drei Grundklassen lassen sich dann mithilfe von Vererbung weiter unterteilen. In den Erweiterungen des Kernels, also den *ControlExtensions*, *ProcessExtensions* und *ProductExtensions*, wird der Grundstein zur Beschreibung von Gebäudedatenmodellen gelegt (buildingSMART-Tech).

Betrachtet man die Schemata, welche auf Stufe 3 angesiedelt sind, erkennt man deutlich die bereits angesprochene Spezifizierung entlang der Layer-Struktur. Unter dem Schema *Shared Building Elements* finden sich bauspezifische Objekte wie *IfcWall* zur Beschreibung von Wänden oder *IfcColumn*, welche die Definition von Stützen beinhaltet. Folgt man der Vererbungshierarchie weiter in Stufe 4, findet man fachspezifische Entitäten, die speziell für Anwendungsbereiche wie Architektur oder Elektroplanung entwickelt wurden (buildingSMART-Tech).

```

ENTITY IfcWall
  SUPER- (IfcWallStandardCase)
  TYPE OF

  SUB-    IfcBuildingElement);
  TYPE OF (

  WHERE

  WR1    : SIZEOF (QUERY(temp <* SELF\IfcObjectDefinition.HasAssociations | 'IFCPRODUCTEXTENSION.IFCREASSOCIATESMATERIAL' IN TYPEOF(temp) )) <= 1;

END_ENTITY;

```

Abbildung 8 EXPRESS-Schema Entität *IfcWall* (buildingSMART-Tech)

⁴ Global Unique Identifier

Wie bereits erläutert, wird ein bauspezifisches Objekt aus Layer 3, wie zum Beispiel *IfcWall*, durch die Zusammensetzung verschiedener Entitäten beschrieben. Die sich somit ergebende *IFC* - Struktur enthält folgende Faktoren, um ein solches Objekt umfassend zu beschreiben:

- Beschreibung des Objekttyps
- Beschreibung semantischer Informationen
- Beschreibung von Mengen
- Beschreibung der Materialität
- Beschreibung der geometrischen Repräsentation
- Beschreibung der Verbindung zweier Bauteile
- Beschreibung der Einschließungsbeziehungen

(buildingSMART-Tech)

Die Inhalte dieser Objektstruktur entsprechen den Forderungen des *NBS BIM Object Standards* (vgl. Kapitel 4.1). Wie diese Struktur konkret in *IFC* umgesetzt wird, soll in Kapitel 4.2.5 analysiert werden, wobei die farbliche Zuweisung in obiger Aufzählung der Umsetzung in Abbildung 16 entspricht. Zunächst soll jedoch betrachtet werden, welche unterschiedlichen Geometrierepräsentationen für die Beschreibung eines Objektes zur Verfügung stehen und wie Beziehungen zwischen den unterschiedlichen Entitäten ausgebildet werden können.

4.2.3 Geometrierepräsentationen im Datenmodell IFC

Wie bereits bekannt, beinhaltet die Grundidee von *BIM*, ein Datenmodell über den gesamten Lebenszyklus hinweg zu nutzen. Hierbei werden hochspezifische Softwareprodukte eingesetzt, so zum Beispiel Anwenderprogramme für Simulationen oder Berechnungen wie zur Erstellung der Statik, des Wärmebedarfs oder von Kostenberechnungen. Jedes Softwareprodukt greift jedoch auf unterschiedliche Geometrierepräsentationen zurück, weswegen die Datenstruktur *IFC* all diese Möglichkeiten abdecken muss, um einen reibungslosen Austausch und eine konsistente Funktionalität zu gewährleisten. Dies ist auch der Grund dafür, dass Semantik und Geometriebeschreibung im Datenmodell strikt getrennt werden (Borrmann et al. 2015).

Die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten sind in der Schematabelle *GeometricModelResource* enthalten. Version *IFC 2x3* sieht hier 7 verschiedene Arten der Geometrierepräsentation vor:

- genaue Geometriebeschreibung von dreidimensionalen Festkörpern
- konstruktive Festkörpergeometrie (CSG⁵)
- Definition von Halb-Räumen
- Erzeugung von Festkörpern mithilfe von Extrusionen / Rotationen / Sweeps
- *Boundary Representations (BREP)*
- Oberflächenmodelle
- Geometrische Gruppen/Reihen (sets)

Version IFC4 ergänzt diese Liste noch mit

- Tessellierte Modelle.

(buildingSMART-Tech)

Grundsätzlich werden diese Möglichkeiten in zwei Gruppen aufgeteilt: in explizite und implizite Modelle (Borrmann et al. 2015). Ein explizites Modell beschreibt das Element als Hohlkörper, es werden also nur die begrenzenden Oberflächen beschrieben, wie zum Beispiel bei tessellierten Modellen oder *BREPs* (Hemmerling und Tiggemann 2010; Borrmann et al. 2015). Diese Art der Geometriedefinition findet zum Beispiel beim Export in Visualisierungsprogrammen Anwendung (Borrmann et al. 2015). Die wesentlich umfassendere Darstellung erfolgt durch die Verwendung von impliziten Modellen, bei denen Körper als Folge von Konstruktionsschritten beschrieben werden (z.B. bei CSG oder Sweeps). Diese Darstellung wird meist zur Übergabe in *BIM*-Modellierwerkzeugen benötigt, damit die übergebenen Modelle nachträglich verändert werden können (Borrmann et al. 2015). In einer Untersuchung in Kapitel 4.3 soll herausgefunden werden, welche Geometrieprepräsentation von welcher Softwareanwendung unter bestimmten Exporteinstellungen verwendet wird.

Zuerst werden jedoch im Folgenden wesentliche Geometriedarstellungen kurz erläutert, sowie die Vor- und Nachteile der beiden Modellarten aufgelistet. Als Beispiel werden jeweils zwei geometrische Abbildungen beschrieben.

⁵ Constructive Solid Geometry

Implizite Modelle:

CSG ~ Constructive Solid Geometry

Die konstruktive Festkörpergeometrie beschreibt beliebige Geometrien aus Operationen zwischen Basiskörpern wie Quadern, Zylindern, Pyramiden oder Kegeln (Hausknecht und Liebich 2016).

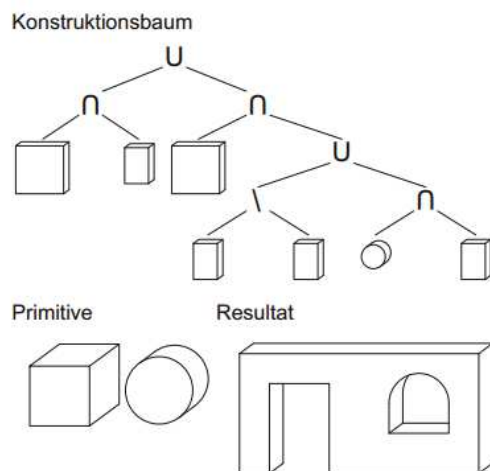


Abbildung 9 Darstellung des CSG-Verfahrens (Borrmann et al. 2015)

Extrusionskörper

Die Beschreibung von dreidimensionalen Körpern erfolgt hier mittels einer Extrusion / Rotation / Sweep einer zweidimensionalen Form (z. B. ein Rechteck) entlang einer benutzerspezifischen Grundlinie (Borrmann et al. 2015).

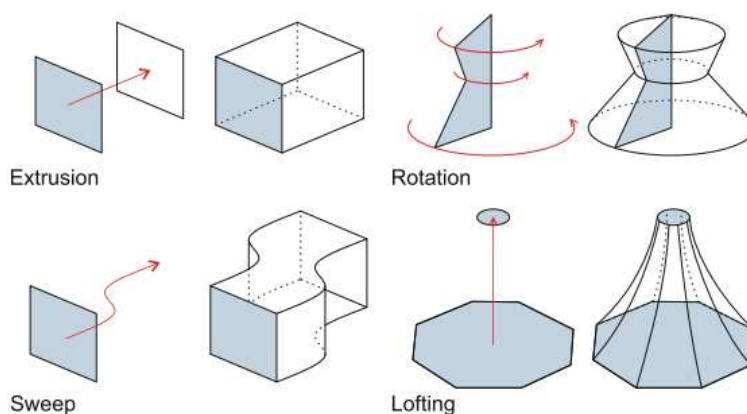


Abbildung 10 Darstellung von Extrusionen/Rotationen/Sweeps (Borrmann et al. 2015)

Der Vorteil impliziter Modelle besteht darin, dass durch die Speicherung der Erstellungsgeschichte der Geometrie die ausgeführten Operationen auch nachträglich noch zurückgenommen werden können. Beispielsweise können Abmessungen von Aussparungen jederzeit verändert oder gelöscht werden. Ein wesentlicher Nachteil von diesen

Modellen liegt in der hohen Rechenleistung, die für die Darstellung benötigt wird, da der endgültige Körper immer wieder neu berechnet werden muss (Hausknecht und Liebich 2016).

Explizite Modelle:

BREP ~ Boundary Representation

Mit einem Begrenzungsflächenmodell wird lediglich die Hüllfläche des dreidimensionalen Körpers übergeben, ohne seine Entstehungsgeschichte abzuspeichern (Hausknecht und Liebich 2016). Diese Hüllflächenbeschreibung erfolgt durch die Angabe von hierarchisch geordneten Elementen und deren Beziehungen untereinander, also z. B. zwei Punkte – ergeben eine Kante – beschreiben Begrenzungen einer Fläche – Flächen beschreiben Volumen (Borrmann et al. 2015). Das facettierte *BREP* bildet eine Spezialisierung, in welchem komplexe Begrenzungsflächen wie z. B. Krümmungen dargestellt werden können (Hausknecht und Liebich 2016).

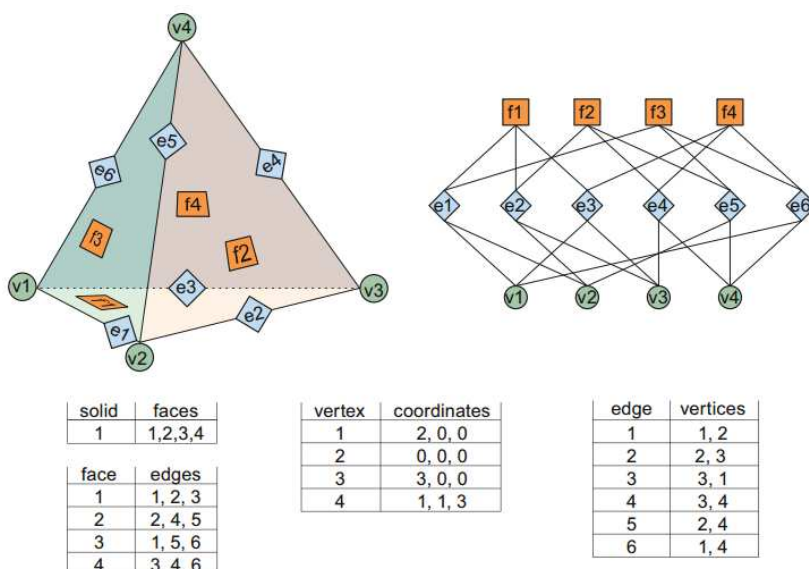


Abbildung 11 Darstellung des BREP-Verfahrens (Borrmann et al. 2015)

Tessellation

Die Tessellation, oder auch triangulierte Oberflächenbeschreibung, bildet eine vereinfachte Version der *BREP*. Hier werden Oberflächen mithilfe von Dreiecksnetzen definiert (Borrmann et al. 2015).

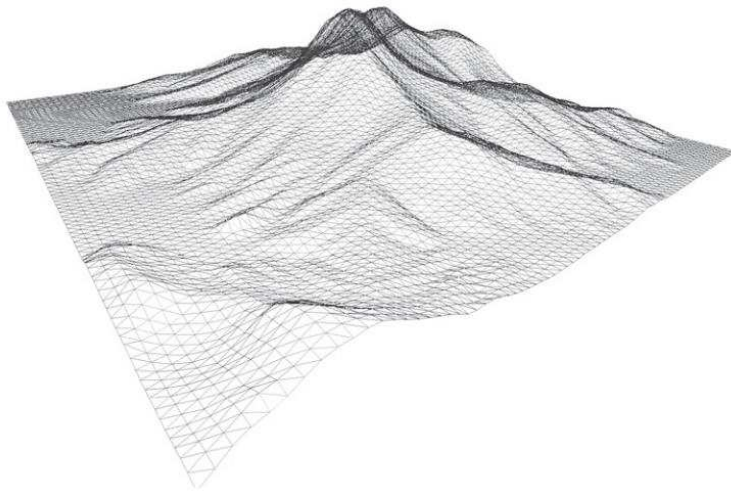


Abbildung 12 Darstellung triangulierter Oberflächen (Borrmann et al. 2015)

Durch die vereinfachte Abbildung kann das übergebene Volumen von expliziten Modellen ohne großen Aufwand berechnet und dargestellt werden. Dies ist besonders bei Kollisionskontrollen ein wichtiger Punkt, da hier die exportierte Geometrie schnell analysiert werden muss. Der Nachteil liegt jedoch darin, dass diese Geometrie im Nachgang schlecht bearbeitet werden kann (Hausknecht und Liebich 2016). Außerdem beansprucht die explizite Beschreibung der Geometrie wesentlich mehr Speicherplatz als die implizite Methode (Autodesk GmbH 2018).

4.2.4 Beziehungsdefinition im Datenmodell IFC

Neben der Geometriebeschreibung bildet die Festlegung der Beziehungen zwischen Bauteilen einen wesentlichen Bestandteil von IFC - Datenmodellen. Dadurch werden einzelne Bauteile nicht isoliert betrachtet, sondern mit anderen Elementen in Beziehung gesetzt. Das Modell erhält somit seine Intelligenz. Im IFC - Datenmodell werden Beziehungen mit gesonderten, dazwischenschaltenden Objekten definiert (Borrmann et al. 2015). Abbildung 13 zeigt die verschiedenen Beziehungsklassen.

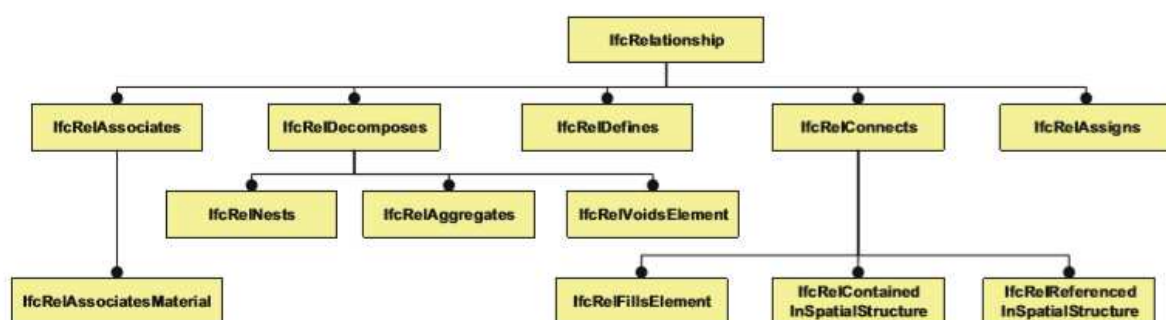


Abbildung 13 Beziehungsklassen des IFC-Datenmodells (Borrmann et al. 2015)

Alle Beziehungsklassen haben unterschiedliche Aufgaben. So verknüpft *IfcRelAssociates* externe Informationsquellen mit einem Objekt; *IfcRelDecomposes* beschreibt eine Teil-Ganzes-Beziehung, wie zum Beispiel eine Aussparungsbeziehung; *IfcRelConnects* verbindet zwei Objekte (Borrmann et al. 2015).

4.2.5 Analyse des STEP-Physical Files

Um den in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Datenmodell-Aufbau detaillierter nachzuvollziehen, wurde in Autodesk Revit 2019 eine Wand erstellt, welcher folgende Kennwerte zugeordnet sind:

Abmessungen: Länge 4,0 m, Höhe 2,5 m
 Material: Stahlbeton, d = 0,2 m.

Die Datei des exportierten Objektes (Exporteinstellung Coordination View 2.0, Version IFC 2x3) wird anschließend in einem Texteditor analysiert (vgl. Anhang B). Dabei sollen der Aufbau des *IFC* - Datenmodells sowie die Objektstruktur von Bauelementen in der *IFC* - Datenumgebung analysiert werden (vgl. Kapitel 4.2.2).

Die Grundstruktur eines *STEP-Physical Files* unterteilt sich in zwei Abschnitte: Der „Header Section“ und der „Data Section“. Beide Teile leiten mit den Schlüsselwörtern „header“ bzw. „data“ ein und enden mit „ENDSEC“. Der Abschnitt „header“ beinhaltet allgemeine Angaben zur Datei und zum Export (Anderl und Trippner 2000). So wird hier zum Beispiel unter anderem die verwendete *IFC* - Version aufgeführt (vgl. Abbildung 5).

```
ISO-10303-21;
HEADER;

/*****
*****
* STEP Physical File produced by: The EXPRESS Data Manager Version 5.02.0100.07 :
* 28 Aug 2013
[...]
* Database creation date:            Fri Mar 29 15:56:41 2019
* Schema:                            IFC2X3
* Model:                             DataRepository.ifc
* Model creation date:              Fri Mar 29 15:56:42 2019
* Header model:                      DataRepository.ifc_HeaderModel
[...]
FILE_SCHEMA(('IFC2X3'));
ENDSEC;
```

Abbildung 14 Ausschnitt aus der Header-Section des SPF-Dokuments

Der zweite Teil, die „data Section“, enthält alle Daten zur Beschreibung des *BIM* - Modells, also die Instanzen der EXPRESS-Schema-Tabellen. Hier werden alle Bauteile in ihrer geometrischen und semantischen Form beschrieben und in Beziehung mit anderen Elementen gesetzt (Anderl und Trippner 2000). Wie bereits erläutert, werden zur Beschreibung eines Bauteils Entitäten aus jeder Hierarchiestufe des *IFC* - Datenmodells verwendet. Jedes Element wird in einer neuen nummerierten Zeile aufgeführt, die Referenzierung erfolgt über die Verweisstruktur.

#122= IFCLOCALPLACEMENT(#32, #121);	Entität aus Layer 1 (GeometricConstraintResource)
#124= IFCBUILDINGSTOREY('2CY4wcaLb6sv2TVyeSL\$yL', #41, 'Ebene 1', \$, \$ #122, \$, 'Ebene 1', .ELEMENT., 0.);	Entität aus Layer 2 (Product Extension)

Abbildung 15 Verweisstruktur im SPF-Dokument

Im ersten Teil der „data Section“ wird die allgemeine Projektstruktur beschrieben, also zum Beispiel die Definition des Koordinatensystems, die Ebenen-Beschreibung des Modells oder der Festlegung von Maßeinheiten. Das Bauelement Wand wird durch die Entität *IfcWallStandardCase* aus Layer 3 (buildingSMART-Tech) beschrieben (vgl. Abbildung 16). Mit der Verweisstruktur werden mithilfe von Elementen aus dem untersten Layer sowohl der Einfügepunkt als auch die Geometrirepräsentation referenziert. Das Element *IfcShapeRepresentation* legt hier die **Geometrirepräsentation** fest, wie zum Beispiel mithilfe eines Sweeps eines Rechteckprofils. Die Übergabe des Bauelements Wand in seinen endgültigen Abmessungen erfolgt über referenzierte Elemente, wie das Grundprofil 4,0 m x 0,2 m, beschrieben über *IfcRectangleProfileDef*, und die Höhenkote von 2,5 m, beschrieben über *IfcExtrudedAreaSolid* (vgl. Abbildung 16). Die eindeutige **Objektzuweisung** über die Klasse *IfcElementType* erfolgt über *IfcWallType*, eine Subklasse in zweiter Vererbungsfolge. Die Beziehung zwischen Wand und Objekttyp wird durch die Beziehungsklasse *IfcRelDefinesByType* aufgebaut (buildingSMART-Tech).

Getrennt von der Geometriebeschreibung erfolgt die Zuweisung der **Materialität** oder **semantischer Informationen**. Abhängig von der Art des Bauteils können einem Bauteil mehrere Materialien zugewiesen werden. Über die Entität *IfcMaterialLayer* werden so verschiedene Schichten in ihren Dicken definiert und über *IfcMaterialLayerSet* dem Bauelement zugewiesen (hier eine Schicht mit $d=0,2$ m). Das Element *IfcRelAssociatesMaterial* aus dem zweiten Layer der *IFC* - Datenstruktur verbindet dann die Material

definierenden Klassen aus Layer 1 mit der Wanddefinition aus Layer 3 (buildingSMART-Tech). Ähnlich funktioniert dies bei der Definition und Zuweisung von Eigenschaften. Hier wird über *IfcPropertySet* eine Sammlung von verschiedenen Eigenschaften gebildet und diese dann über *IfcRelDefinesByProperties* dem Element zugewiesen. Durch die Typzuweisung *IfcWallType* erfolgt die automatische Zuweisung des PropertySets „Pset_WallCommon“ mit den vordefinierten Attributen Reference, Load-Bearing oder IsExternal. Weitere Attribute können projektabhängig ebenso auf diese Weise hinzugefügt werden (buildingSMART-Tech).

Die Ausbildung der **Einschließungsbeziehungen** erfolgt mit der Zuweisung der Wand in die Ebenenbeziehung des Projektes über die Beziehungsklasse *IfcRelContainedInSpatialStructure*. Da in vorliegendem Modell nur eine einzelne Wand beschrieben wird, kann die **Verbindung** zu anderen Objekten nicht aufgezeigt werden. Dies wird jedoch über die Beziehungsklasse *IfcRelConnectsPathElements* möglich gemacht (buildingSMART-Tech).

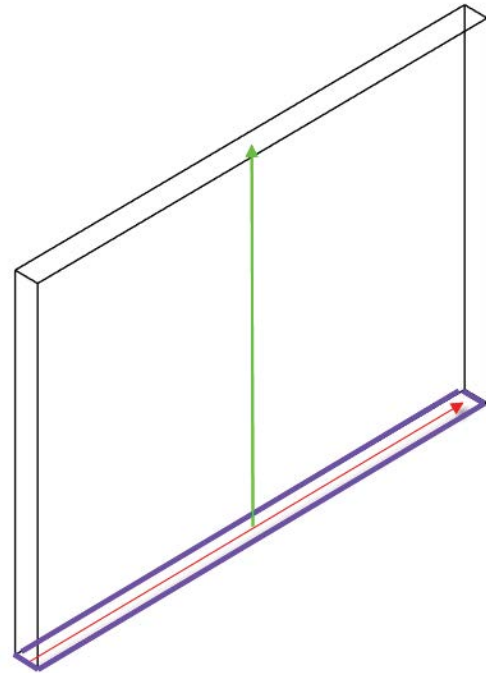
Ebenso wurde die **Beschreibung von Mengen** an diesem Beispiel nicht explizit durchgeführt. Dies erfolgt jedoch über die Schematabellen der *Quantity Resource* aus Layer eins und wird über die Beziehungsklasse *IfcRelDefinesByProperties* an das Element angehängt (buildingSMART-Tech). Es werden also grafische Mengeninformationen wie das Volumen, Flächen oder Längen als Attribute hinzugefügt.

Zuweisung Objekttyp

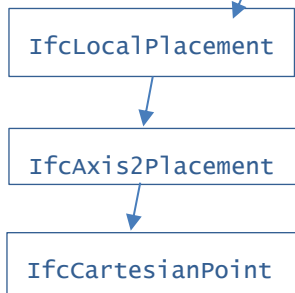
```
#188= IFCWALL-
TYPE('1zPj$B1_v6fPgRzWM$mh59',#41,'Basis-
wand:wand 1',$,$,$,$,'1619',$,.STANDARD.);
#248= IFCRELDEFINESBYTYPE('2j65Cuv0XB1hii-
Lns7MowC',#41,$,$,#160,#188);
```

Materialität

```
#187= IFCMATERIALLAYERSETUSAGE
(#184,.AXIS2.,.NEGATIVE.,100.);
#184= IFCMATERIALLAYERSET((#182),'Ba-
siswand:wand 1');
#182= IFCMATERIALLAYER(#169,200.,$);
#169= IFCMATERIAL('Standardwand');
#242= IFCRELASSOCIATEMATERIAL
('3m8S$C1JXD$RfcrK$BJCBK',#41,$,$,#160,#187);
```



```
#160= IFCWALLSTANDARD-
CASE('1zPj$B1_v6fPgRzWM$mhqV',#41,'Ba-
siswand:wand 1:2565',$,'Basis-
wand:wand 1:1619',#129,#156,'2565');
```



Geometrische Repräsentation

```
#156= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,#135,#153);
```

```
#135= IFCSHAPEREPRESENTATION(#100,'Ax-
is','Curve2D',(#133));
#133= IFCPOLYLINE((#9,#131));
#131= IFCARTESIANPOINT((4000.,0.)); Definition der Polylinie
```

```
#153= IFCSHAPEREPRESENTATION
(#102,'Body','SweptSolid',(#143));
#143= IFCEXTRUDEDAREASOLID(#141,#142,#19,2500.); Höhenlinie
#141= IFCRECTANGLEPROFILEDEF
(.AREA.,$,#140,4000.,200.); Grundprofil
```

Semantische Informationen

```
#190= IFCPROPERTYINGLEVALUE('Reference',$,IFCIDENTIFIER('wand 1'),$);
#191= IFCPROPERTYINGLEVALUE('LoadBearing',$,IFCBOOLEAN(.F.),$);
#192= IFCPROPERTYINGLEVALUE('ExtendToStructure',$,IFCBOOLEAN(.F.),$);
#193= IFCPROPERTYINGLEVALUE('IsExternal',$,IFCBOOLEAN(.T.),$);
#194= IFCPROPERTYSET('1zPj$B1_v6fPgR$VY$mhqV',#41,'pset_wallCom-
mon',$,($,#190,#191,#192,#193));
#199= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('2g2nab4n101fOp$4rwcvsu',#41,$,$,#160,#194);
```

Abbildung 16 Objektstruktur der Entität IfcWall

Abbildung 17 veranschaulicht beispielhaft das Zusammenspiel einzelner Klassen zur Beschreibung der Materialität.

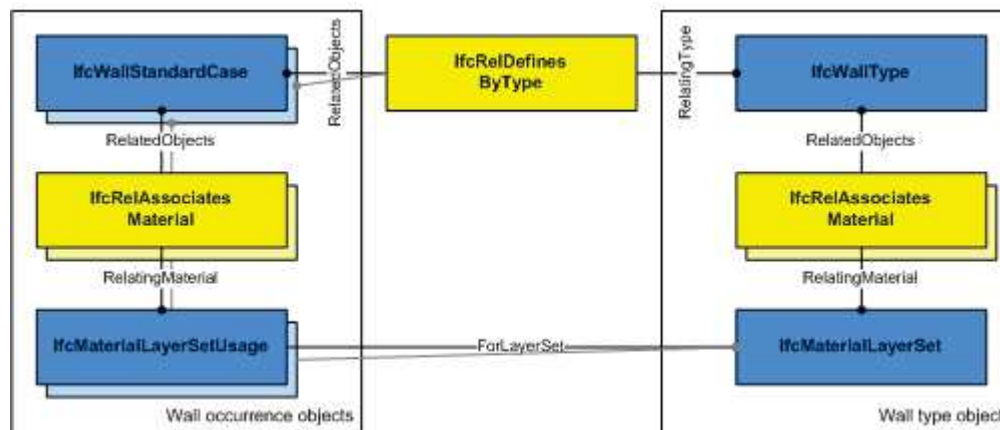


Abbildung 17 Schema *IfcWallStandardCase* (buildingSMART-Tech)

Wie diese Betrachtung zeigt, geht beim Export von Gebäudemolldaten die Parametrik der Bauteile verloren. Das Bauelement wird zwar in seinen exakten Abmessungen übergeben, es erfolgt jedoch keine Beschreibung der Abhängigkeiten. Somit lässt sich das Bauteil anschließend nicht mehr durch Änderungen von Parameterwerten wie zum Beispiel der Profildbreite anpassen. Dies ist jedoch ein wichtiger Punkt bei der Prüfung von Molldaten oder bei der Weiterbearbeitung von Modellen. Dass bei einem Datentransport über eine offene Schnittstelle nicht alle Daten übergeben werden können, ist allgemeint bekannt. BuildingSMART ist jedoch darum bemüht, diese Mängel auszugleichen und entwickelt so Standards, mit denen der Schritt zum komplettierten Datenaustausch gemacht werden kann. Diese sollen im nächsten Kapitel aufgezeigt werden.

4.2.6 Weitere Standards

Wie bereits diskutiert, ist der Austausch von intelligenten Gebäudedatenmodellen über die *IFC* - Schnittstelle ein Prozess, der in der Praxis viele Vorteile mit sich bringt. Unternehmen, die für die „closed BIM“ - Methode werben, kritisieren jedoch, dass nicht die gesamte Intelligenz des Modells mit übergeben werden kann. Hierunter fällt zum Beispiel auch der Punkt, dass Anmerkungen oder die Parametrik der Bauteile beim Export verloren gehen (Autodesk GmbH 2018). BuildingSMART entwickelte hierfür weitere offene Standards, welche die *IFC* - Schnittstelle ergänzen und somit den Informationsaustausch komplettieren. Hierunter fällt zum Beispiel das Datenaustauschformat *Open BIM Collaboration Format*, kurz *BCF*. Mit diesem Tool ist eine modellbasierte

Kommunikation zwischen verschiedenen Anwendern unterschiedlicher Softwareprodukte möglich, indem Kollisionen oder Bemerkungen zu bestimmten Bauteilen im *IFC* - Datenmodell abgespeichert werden (buildingSMART.de 2019).

Einen weiteren Standard bilden die *Model View Definitions (MVD)*, welche einen anwendungsspezifischen Datenaustausch vom Gesamtmodell ermöglichen, um nicht jedes Mal die gesamte Datenmenge zu exportieren. Hier werden also diejenigen Teilmengen definiert, die benötigt werden, um spezielle Austauschszenarien abzubilden (buildingSMART.de 2019). Abhängig von der verwendeten Version (*IFC 2x3* bzw. *IFC 4*) finden drei bzw. vier *MVDs* zurzeit Anwendung:

- *IFC Coordination View* (in *IFC4* unterteilt in *IFC4 Reference View* und *IFC4 Design Transfer View*)
- *IFC Structural Analysis View*
- *IFC FMHandOverView*

(Niedermaier und Bäck 2015)

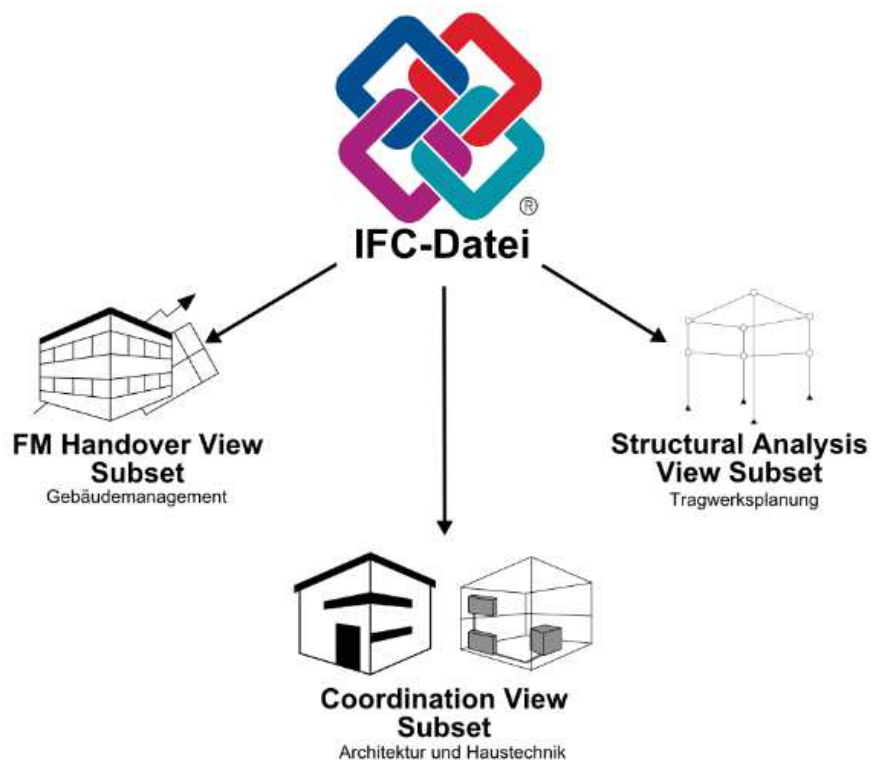


Abbildung 18 Übersicht über Model Views der Version *IFC2x3* (Niedermaier und Bäck 2015)

Die *IFC Coordination View* koordiniert den Austausch zwischen den Hauptdisziplinen Architektur und Haustechnik und enthält alle hierfür relevanten Bauelemente als drei-

dimensionale Volumenkörper mit ihren Kennwerten und Attributen. Die *IFC 4 DesignTransferView* sowie die *IFC 4 ReferenceView* bilden eine Weiterentwicklung und Detaillierung der *Coordination View*. Modelle, die mit der *DesignTransferView* exportiert wurden, sollen im Anschluss in einer *BIM*-fähigen Software weiterbearbeitet werden, die Teilmenge der *ReferenceView* soll nicht weiterbearbeitet werden und dient Anwendungen wie der Koordination oder der Mengenermittlung (Niedermaier und Bäck 2015).

Die Teilmengendefinition der *StructuralAnalysisView*, die als Untergruppe für die Tragwerksplanung erstellt wurde, beschreibt die Elemente als Stabelemente mit allen für die Tragwerksplanung relevanten Attributen. Keine bis wenige grafische Informationen enthält hingegen die *IFC FMHandOverView*, die dazu entwickelt wurde, um die Modelle in Gebäudebewirtschaftungs- und Verwaltungssystemen weiter zu verwenden. Hier wird das Augenmerk auf alphanumerische Attribute zur Verwaltung in Datenbanksystemen gelegt (Niedermaier und Bäck 2015).

4.3 Schnittstellenimplementierung verschiedener Softwareprodukte

Um herauszufinden, wie verschiedene Softwareanbieter mit den zahlreichen Geometriepäsentationen umgehen, sollen Modelle unterschiedlicher Bauteile beispielhaft aus den Programmen Autodesk Revit 2019 und Nemetschek Allplan 2018 exportiert werden. Hier sollen verschiedene Model Views Anwendung finden.

Die Namenskonvention ergibt sich wie folgt:

z.B. A_ 01_ CV2.0 .ifc

A = Allplan 2018 bzw. R = Revit 2019

1 = Stahlbetonwand (d=0,2m; 4m x 2,5m) mit Öffnung (1m x 1m)

2 = Stahlbetonwand (d=0,2m; 4m x 2,5m) mit Öffnung und
Fenster aus vordefinierter Bibliothek

3 = Stahlbetondecke (d=0,2m; 2m x 2m)

4 = Stahlbetondecke (d=0,25m-0,2m; 2m x 2m)

5 = freie Körpermodellierung (Wand, d=0,2m; 4m x 2,5m)

CV2.0 = *IFC Coordination View 2.0* (IFC2x3)

DTV = *IFC DesignTransferView* (IFC4) (nur bei Revit)

RV = *IFC Reference View* (IFC4) (nur bei Revit)

IFC4 = *IFC4* (einzige Möglichkeit bei Allplan)

Die Model Views *IFC StructuralAnalysisView* sowie *IFC FMHandOverView* werden bewusst nicht betrachtet, da diese sehr spezielle Teilgruppen des Gesamtmodells abbilden, welche für eine Prüfung von Fertigstellungsgraden des Gesamtmodells nicht geeignet sind. Anschließend soll der erneute Import der Dateien getestet werden, um die Funktionalität der untersuchten Schnittstellen zu testen. Tabelle 5 fasst die Auswertung hinsichtlich Geometrirepräsentation zusammen

Tabelle 5 Auswertung der Dateiuntersuchung

Dokument	Geometrirepräsentation	erneuter Import		
A				
1				
	CV2.0	Sweep		
	IFC4	Sweep		
	2			
		CV2.0	Wand/Öffnung: Sweep Fenster: faceted BREP	
		IFC4	Wand/Öffnung: Sweep Fenster: faceted BREP	
	3			
		CV2.0	Faceted BREP	
		IFC4	Faceted BREP	
	4			
		CV2.0	Faceted BREP	
		IFC4	Faceted BREP	
	5			
		CV2.0	Faceted BREP	
		IFC4	Faceted BREP	
R				
1				
	CV2.0	Sweep		
	DTV	Sweep		
	RV	Wand: Tessellation Öffnung: Sweep		
	2			
		CV2.0	Wand/Öffnung: Sweep Fenster: faceted BREP	
		DTV	Wand: Sweep Öffnung/Fenster: Advanced BREP	
		RV	Tessellation	
	3			
		CV2.0	Sweep	
		DTV	Sweep	
		RV	Sweep	
	4			
		CV2.0	Clipping (CSG)	
		DTV	Clipping (CSG)	
	RV	Tessellation		
5				
	CV2.0	Sweep		
	DTV	Sweep		
	RV	Sweep		

Die in Kapitel 4.2.3 getroffenen Aussagen, implizite Modelle werden für den Export in *BIM* - Modellierwerkzeuge benötigt, wohingegen explizite Modelle in Anwenderprogrammen beispielsweise zum Zwecke der Visualisierung verwendet werden, bestätigen sich durch diese Betrachtung. Die *DesignTransferView* greift beim Export aus Revit 2019 überwiegend auf implizite Modelle wie z. B. Sweeps zurück, explizite Modelle wie zum Beispiel Tessellation finden hingegen beim Austausch über die *ReferenceView* Anwendung. Dennoch ist anzumerken, dass die geometrische Repräsentation stark von der jeweiligen Schnittstellenimplementierung des verwendeten Programms, sowie von der angewandten Model View abhängt. Eine eindeutige Aussage, wann welche Darstellungsform verwendet wird, kann also nicht allumfassend getroffen werden. Prüfregeln, die sich auf Angaben zu geometrischen Repräsentationen beziehen, sollen daher allgemein formuliert werden und alle möglichen Fälle abdecken.

Wie in Kapitel 4.2.1 bereits erläutert, befindet sich Version IFC 4 aktuell erst im Zertifizierungsvorgang, wohingegen IFC 2x3 bereits vollständig implementiert wurde. Auch dies wird durch die vorliegende Untersuchung bestätigt, denn insbesondere bei den IFC 4 Exportdateien aus Revit gibt es anschließend Probleme beim erneuten Import, da die übergebenen Bauteile nur unvollständig oder gar nicht angezeigt werden. Aus diesem Grund soll der Fokus der vorliegenden Arbeit auf der Betrachtung der IFC 2x3 CoordinationView2.0 liegen.

Allgemein lässt sich mithilfe dieser Untersuchung aussagen, dass Revit verstärkt auf implizite Modelle zurückgreift, wohingegen Allplan des Öfteren explizite Darstellungsformen verwendet. Dies zeigt sich auch anhand der Dateigrößen, denn der Speicherbedarf der exportierten Revit-Dateien ist geringer als die der Allplan-Dateien. Da implizite Modelle aufgrund der gespeicherten Erstellungshistorie leichter lesbar sind, soll der Fokus der nachfolgenden Betrachtungen auf modellierten Bauelementen in Revit 2019 liegen.

Wie allgemein eine Prüfung von Modellen erfolgen kann, soll im nächsten Kapitel erläutert werden.

4.4 Prüfwerkzeuge

Ziel des Austauschs von Gebäudemodellen über die offene Schnittstelle *IFC* ist unter anderem die Weiterverwendung der Dateien in einer der verschiedenen Downstream-Anwendungen, wie die Durchführung von Berechnungen und Simulationen oder von Prüfroutinen. Eine beispielhafte Software, mit welcher solche Prüfungen realisiert werden können, ist der *Solibri Model Checker* der Nemetschek Group. Mit diesem Tool können regelbasierte Prüfungen an den einzelnen Fachmodellen oder Kollisionsprüfungen zwischen verschiedenen Fachmodellen durchgeführt werden. Die intelligenten Regeln beinhalten beispielsweise Kontrollen bezüglich der Modellierung oder von Fluchtweglängen (Graphisoft 2019).

Im sogenannten Ruleset Manager können neben vordefinierten Regelsätzen wie den Architekturregeln oder Regeln für Gebäudetechnik eigene Festlegungen entworfen werden. Grundsätzlich wird in den Regelparametern des Ruleset Managers angegeben, welche Objekte, also *IFC*-Klassen wie Wände oder Stützen, geprüft werden sollen. Anschließend können an diese Klassen bestimmte Anforderungen gestellt werden, wie zum Beispiel eine Mindesthöhe. Ist dies geschehen, so wird das gesamte Modell hinsichtlich dieser Festlegungen analysiert (Graphisoft 2019).

Zwar können mit diesen Tools einige grundlegende geometrische Aspekte der Modelle getestet werden, für eine umfassende Prüfung von Objekten hinsichtlich der geometrischen Detaillierung reicht dies jedoch nicht aus. So kann hier zum Beispiel nicht explizit auf Kantenlängen oder Beziehungsstrukturen von Objekten zugegriffen werden. Aus diesem Grund soll sich die vorliegende Arbeit auf die Analyse von *SPF* - Dokumenten konzentrieren. Dieses Vorgehen ermöglicht eine umfassende Analyse hinsichtlich geometrischer und nicht-grafischer Informationen, aber auch hinsichtlich objektspezifischer Eigenschaften der Modelle. Zusätzlich können charakteristische *IFC* - Merkmale überprüft werden. Es wird also ein breites Spektrum an Prüfinhalten abgedeckt, um die unterschiedlichen Entwicklungsgrade der *BIM* - Modelle zu testen. Des Weiteren kann diese Untersuchung so herstellerunabhängig auf Basis von *IFC* - Strukturen erfolgen.

Mit den in diesem Kapitel erarbeiteten Grundlagen zur offenen Schnittstelle *IFC* können nun explizite Modellinhalte festgelegt und auf die *IFC* - Struktur abgebildet werden, damit das digitale Gebäudemodell hinsichtlich seiner Fertigstellungsgrade prüfbar gemacht wird.

5 Definition von Modellinhalten

In diesem Kapitel soll nun aufbauend auf den Festlegungen in Kapitel 3 und mit dem Hintergrund aus Kapitel 4 ein Konzept entwickelt werden, mit dessen Hilfe die Prüfung von Detaillierungsgraden in digitalen Gebäudemodellen möglich wird. Es sollen quantifizierte Modellinhalte definiert werden, die eine eindeutige Zuweisung von *BIM* - Objekten zu Fertigstellungsgraden erlauben.

Wie aus Kapitel 4 hervorgeht, wird der inhaltliche Aufbau eines *SPF* - Dokuments wesentlich von den Exporteinstellungen beeinflusst. So ist zwar die Grundstruktur konstant, die Geometrirepräsentation ist jedoch zum Beispiel von der verwendeten Software sowie von der ausgewählten *MVD* und *IFC* - Version abhängig. Aus diesem Grund können nachfolgende Definitionen zwar grundlegend auf alle Anwendungsbereiche übertragen werden, spezifische Festlegungen betreffen jedoch nur einen Teilaspekt des allgemein Möglichen. Die Betrachtung von Unterscheidungsmerkmalen wie das Vorhandensein bestimmter *IFC* - Klassen, der Umgang mit Parametrik oder die Definition von Beziehungen wird somit auf Dateien bezogen, die aus folgenden Exporteinstellungen resultieren:

Modellerstellung: Autodesk Revit 2019

Exporteinstellung: Coordination View 2.0, IFC 2x3

5.1 Inhaltliche Prüfkriterien

Der Fertigstellungsgrad verschiedener *BIM* - Modellbauteile zeichnet sich in unterschiedlichen Bereichen der *IFC* - bezogenen Objektstruktur ab. So können objektspezifische Inhalte, die Art der verwendeten Klassen oder auch die Menge an geometrischen Daten auf einen bestimmten *LOD* hinweisen. Hierbei gibt es Faktoren, die eindeutig auf die jeweilige Stufe deuten, aber auch Inhalte, die nur in Zusammenhang mit anderen als Indiz für einen Fertigstellungsgrad gesehen werden können.

Die Untersuchung der *IFC* - Struktur, die ein Objekt umfassend beschreibt, erfolgte bereits in Kapitel 4. Es wurde hier zum Beispiel analysiert, wie ein Objekt geometrisch abgebildet wird, in welchem Zusammenhang es mit anderen Klassen steht oder welche Beziehungen es mit anderen Bauteilen ausbildet. Der Startpunkt der Betrachtung

ist hierbei immer das zu untersuchende Bauelement im *STEP Physical File* der exportierten Instanz. Nachfolgend werden die zu prüfenden Kriterien aufgeführt, die abgebildet auf diese Struktur auf einen Fertigstellungsgrad hinweisen. Die konkret ausformulierten Regeln sind unter 5.3 zu finden. Die inhaltliche Begründung der Regeln basiert grundsätzlich immer zuerst auf den Definitionen der BIMForum *LOD Specification*, weitere Details werden mit den leistungsphasengerechten Abbildungen auf Maßstäbe begründet. Hierzu werden die Definitionen aus Tabelle 4 herangezogen. Wie bereits in Kapitel 3 erarbeitet, können die Beschreibungen der BIMForum *LOD Specification* problemlos in Deutschland angewandt werden. Sie definieren die geometrischen Unterscheidungsmerkmale verschiedener Bauteile auf unterschiedlichen Entwicklungsstufen detailliert und hinterlegen diese mit Bildern. Ebenso wird beschrieben, welche Details modelliert werden und wie sich diese über die unterschiedlichen Fertigstellungsgrade hinweg verändern und spezifizieren (BimForum 2018).

Folgende Prüfkriterien lassen sich zur spezifischen Regeldefinition aufstellen:

1. Prüfung der *IFC* - Objektstruktur:

Wie aus Kapitel 4 hervorgeht, setzen sich Objekte in der *IFC* - Datenstruktur immer nach dem gleichen Schema zusammen. Die existierenden *LOD* - Definitionen lassen sich auf diese Strukturen abbilden und somit können Bauteile den entsprechenden Faktoren wie der Beschreibung von Geometrie oder Materialien folgend eindeutig in ihren Fertigstellungsgraden definiert werden.

2. Prüfung nach Klassentypen

Ein digitales Gebäudemodell kann durch die Verwendung verschiedener Entitäten aus der *IFC* - Klassenhierarchie definiert werden. Hier wird zwischen hochspezifischen und allgemeinen Schemata unterschieden (vgl. Kapitel 4). Wann welche Entitäten vorliegen, kann einen bedeutenden Hinweis auf vorhandene Entwicklungsstufen geben. Des Weiteren steigt die Interaktion der Elemente mit anderen Entitäten über die Fertigstellungsgrade hinweg.

3. Prüfung semantischer Zwangsbedingungen

Wie bereits erläutert, variiert die semantische Informationstiefe je nach Projektanforderung und Anwendungsfall. Eine eindeutige Beschreibung von Fertigstellungsgraden lässt sich somit mithilfe semantischer Informationen nicht realisieren. Dennoch existieren einige Zwangsbedingungen, die auf eine bestimmte *LOD* - Stufe hinweisen und somit auch einen Rückschluss auf die geometrische Genauigkeit erlauben.

4. Veränderung der Parametrik

Mit steigender geometrischer Genauigkeit verändert sich die Parametrik eines Bauteils, das Bauteil ist also von immer mehr Parametern abhängig. Diese Veränderung lässt sich über die Fertigstellungsgrade hinweg eindeutig festmachen.

5. Menge geometrischer Entitäten

Mit steigender Detaillierung steigt auch die Komplexität der geometrischen Beschreibung. Wo allgemein beschriebene Bauteile einfach mithilfe weniger Entitäten wiedergegeben werden, können hochdetaillierte Elemente nur über aufwendige Hüllflächengeometrien als hochkomplexe Geometriebeschreibung mithilfe mehrerer Entitäten definiert werden. Die Komplexität gibt also Hinweise auf die ungefähre geometrische Genauigkeit, kann jedoch nicht explizit quantifiziert werden, weswegen diese Anschauung nur als zusätzliche Referenz dienen kann.

6. Menge semantischer Entitäten

Parallel zur geometrischen Genauigkeit steigt auch die semantische Informationstiefe mit immer höher werdendem Fertigstellungsgrad. Vergleichbar wie in Ebene 5 können somit grob geschätzte Rückschlüsse auf den Fertigstellungsgrad getroffen werden.

7. Menge an Beziehungen

Mit steigender geometrischer Genauigkeit verändern sich die äußeren Abhängigkeiten zu anderen Bauteiltypen. Dies lässt sich in der *IFC*-Struktur an der steigenden Menge der Beziehungen erkennen.

Wie bereits erläutert, können aus diesen Prüfkriterien spezifische Regeln für die unterschiedlichen Bauelemente abgeleitet werden. Die Prüfung selbst erfolgt anschließend in den *SPF* - Dokumenten der exportierten Modelldaten. Hierzu wird das Dokument mit exportierten Instanzen der Objektfamilien nach den jeweiligen Elementen und den zugehörigen Entitäten untersucht, auf welche anschließend die Prüfregeln angewandt werden. Jedes einzelne Prüfkriterium kann hierbei unterschiedlich klare Hinweise auf die Einordnung in bestimmte Fertigstellungsgrade geben. Dies variiert jedoch von Objekttyp zu Objekttyp. Aus diesem Grund lassen sich oben aufgeführte Prüfkriterien nicht hierarchisch ordnen.

Im nächsten Kapitel soll beschrieben werden, wie die einzelnen Bauteile der unterschiedlichen Entwicklungsstufen entsprechend der *LOD* - Definitionen modelliert werden, um darauf aufbauend Regeln zur Prüfung zu definieren.

5.2 Bauelementmodellierung

Um die *LOD* - Festlegungen im Projekt umsetzen und alle Vorteile daraus ziehen zu können, ist es notwendig, die einzelnen Elemente in ihren Entwicklungsstufen neu zu modellieren und als Bibliothekselemente zu hinterlegen. Viele bestehende Bibliothekselemente sind hierfür zu detailliert vormodelliert und ermöglichen keine *LOD* - konforme Projektumsetzung.

Es gilt zu beachten, dass ein Gebäudedatenmodell dazu dienen soll, einen Überblick über ein sonst unüberschaubares komplexes System zu erhalten (Borrmann et al. 2015). Da mithilfe dieser Arbeit alle möglichen Varianten des Bauens prüfbar gemacht werden sollen, konzentriert man sich hier auf die Modellierung der Bauteile in ihrer Grundform. Die Betrachtung spezifischer Details wird vernachlässigt. Hiermit ist es möglich, Regeln zu finden, die auf fast alle Ausformungen anwendbar sind. Aufgrund der Komplexität und Variabilität des Bauwesens wird diese Vormodellierung jedoch nicht ausreichend sein, ein Bauwerk vollkommen zu beschreiben. Es werden Profilquerschnitte oder Details erforderlich sein, die in vorliegender Arbeit nicht berücksichtigt sind. Es gilt, diese spezifischen Komponenten nach entsprechenden Vorgaben des Fertigstellungsgrades zu modellieren und vorliegende Prüfregeln zu ergänzen.

Die Modellierung der Familien erfolgt, wie bereits in Kapitel 4.3 herausgearbeitet, in Autodesk Revit 2019. Neben diesen Untersuchungen gibt es jedoch noch weitere Gründe, warum Autodesk Revit ein geeignetes Modellierwerkzeug zum Zwecke der vorliegenden Arbeit bildet. Zum einen beschränkt sich das Modul nicht rein auf die Darstellung von Architekturelementen, es deckt zudem die Fachgewerke Ingenieurbau, Stahlbau oder HLS-Systeme ab. Außerdem ermöglicht Revit eine familienbasierte Modellierung, womit benutzerspezifische Bauelemente je nach Anforderung erstellt und anschließend im Projekt frei verwendet werden können (Autodesk GmbH 2018).

Das Erstellen einer Revit-Familie folgt immer dem gleichen Schema. Zuerst wird eine Familienvorlage gewählt, um daraufhin eine Unterkategorie festzulegen. Anschließend wird das Grundgerüst der Familie modelliert, das heißt, der Ursprung wird definiert, es werden Referenzebenen und -linien gezeichnet und es werden Bemaßungen hinzugefügt, um parametrische Beziehungen festzulegen. Außerdem können Typenparameter und Eigenschaften festgelegt werden. Nachdem anschließend die Familiengeometrie hinzugefügt wurde, kann die Familie als Bibliothekselement abgelegt werden (Autodesk GmbH).

In vorliegender Arbeit werden vorzugsweise ladbare Familien erstellt, die projektübergreifend benutzt werden können und es ermöglichen, verschiedene Varianten der Objekte zu erstellen. Die Objekte sollen in dreidimensionaler Geometrie modelliert werden. Beim Erstellen einer ladbaren Familie werden verschiedene Vorlagen zur Verfügung gestellt. Die Wahl einer Vorlage ist notwendig, um die Familie später im Projekt nutzen zu können. Hier kann zwischen basisbauteilbasierten und -unabhängigen Familienvorlagen unterschieden werden. Fenster oder Bewehrung sind beispielsweise von anderen Bauteilen abhängig, wohingegen Wände oder Decken nicht zwingend Basisbauteile zur Erstellung benötigen. Hierzu werden unter anderem folgende Vorlagen angeboten:

- Eigenständige Vorlagen: Möbel, Geräte, Luftkanäle, Formteile
- Adaptive Vorlagen: flexible Anpassung an Umgebungsbedingungen
- Linienbasierte Vorlagen: Platzierung der Bauteile mit zwei Auswahlritten
- Flächenbasierte Vorlagen: Arbeitsebenen-basierte Familien

(Autodesk GmbH)

Wie bereits erläutert, können neben der Geometrie auch semantische Informationen an eine Bauteilfamilie angehängt werden. Beim Export der erstellten Instanzen kann dann neben weiteren Einstellungen wie zur zu verwendenden Version oder zu zeigenden Inhalten entschieden werden, welche dieser Eigenschaften mit in das *IFC* - Dokument übergeben werden sollen. Hier kann zwischen den allgemeinen *IFC* - Eigenschaftensätzen (also z. B. *Pset_WallCommon*, welches automatisch mit der Typisierung an das Element angehängt wird), zwischen Revit-Eigenschaftensätzen (also alle in Revit hinterlegten Eigenschaften, z. B. auch eigene Attribute) oder zwischen benutzerdefinierten Eigenschaftensätzen unterschieden werden (vgl. Abbildung 19). Vom Export der Revit-Eigenschaftensätze ist jedoch abzuraten, da hier sämtliche Attribute mit ausgegeben werden und somit sehr große und unübersichtliche Datenmengen erstellt werden. Des Weiteren geht hier die Kontrolle über die exportierten und weitergegebenen Informationen verloren.

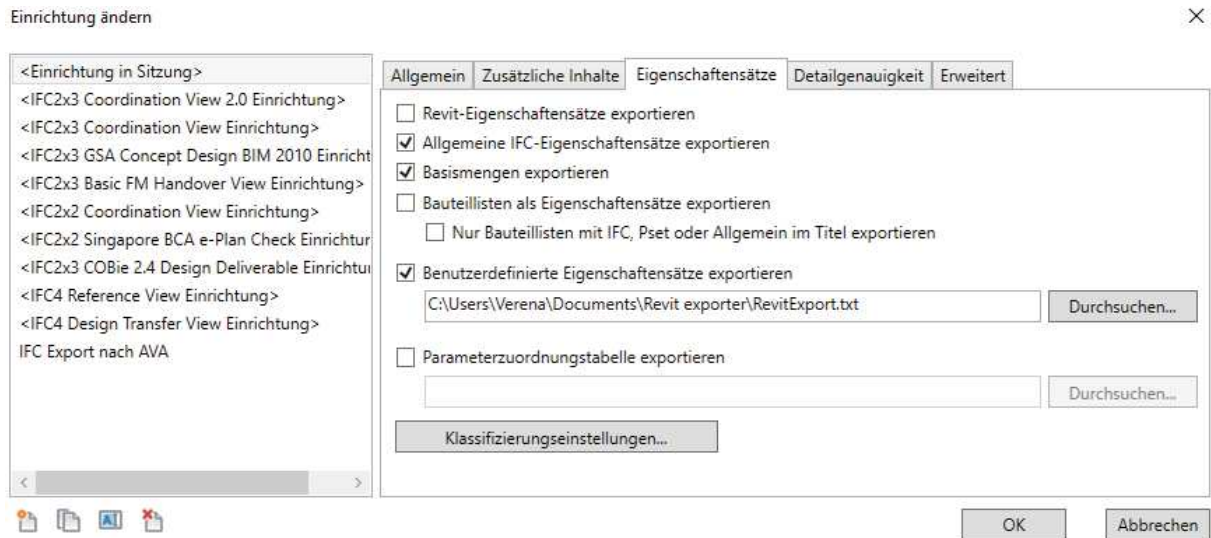


Abbildung 19 Exporteinstellungen in Revit 2019

Um eine kontrollierte und zuvor festgelegte Ausgabe von semantischen Informationen zu generieren, ist es deshalb ratsam, benutzerdefinierte Eigenschaftensätze zu exportieren. Hierzu wird eine Textdatei erstellt, in der eigene PropertySets sowie auszugebende Eigenschaften aufgeführt sind (vgl. Abbildung 20). Zuerst erfolgt die Definition der Eigenschaftsgruppen mit Angabe des Namens, des Typs und der Klassen, für welche dieser Eigenschaftensatz angewendet werden soll. Anschließend werden die einzelnen Attribute definiert, die in diesen Eigenschaftsgruppen enthalten sind. Hier soll die Bezeichnung für das Attribut angegeben werden, die ihm nach dem Export zugeordnet werden soll, der Datentyp des Attributs (z. B. Text oder Length) und anschließend die Bezeichnung des Attributs, wie es in Revit vorliegt (Autodesk GmbH).

PropertySet: ID	I	IfcBeam
Profilform	Text	Form

Abbildung 20 PropertySet ID, Ausschnitt aus der Datei RevitExport

Für vorliegende Arbeit wurde ein Eigenschaftensatz für den Export aller Fertigstellungsgrade erstellt (vgl. Anhang B). Zu beachten ist hier, dass nur solche Attribute definiert wurden, welche für die Feststellung von geometrischen Genauigkeiten von Bedeutung sind.

Wie bereits in vorangegangenen Kapiteln herausgearbeitet, ist die Veränderung der Parametrik ein wertvolles Indiz bei der Feststellung bestimmter Fertigstellungsgrade, welches beim Export in IFC verloren geht (vgl. hierzu Kapitel 4.2.5, Abbildung 21, Abbildung 22).

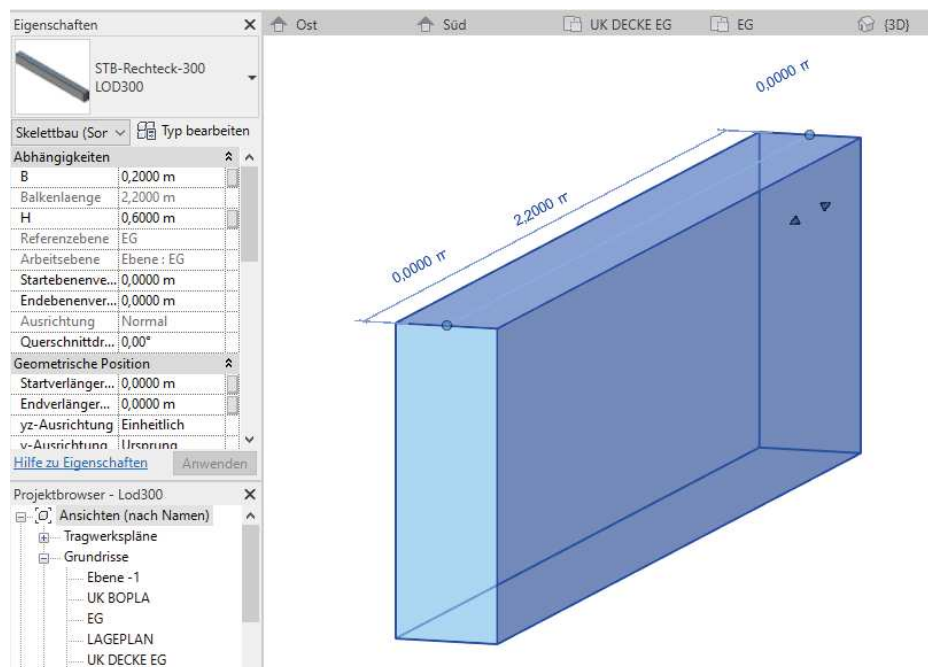
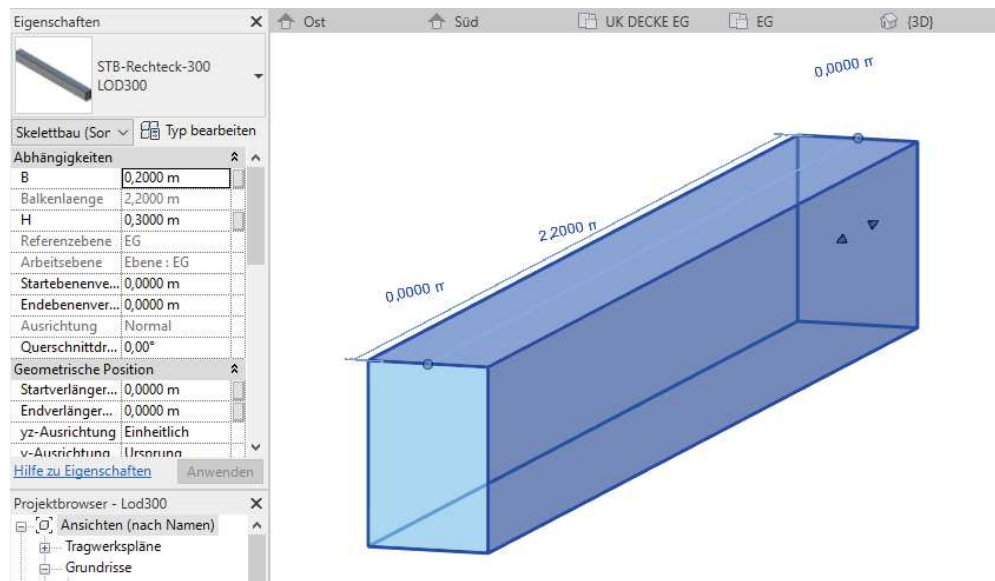


Abbildung 21 Geometrieangepassung durch die Veränderung von Parametern in Revit 2019

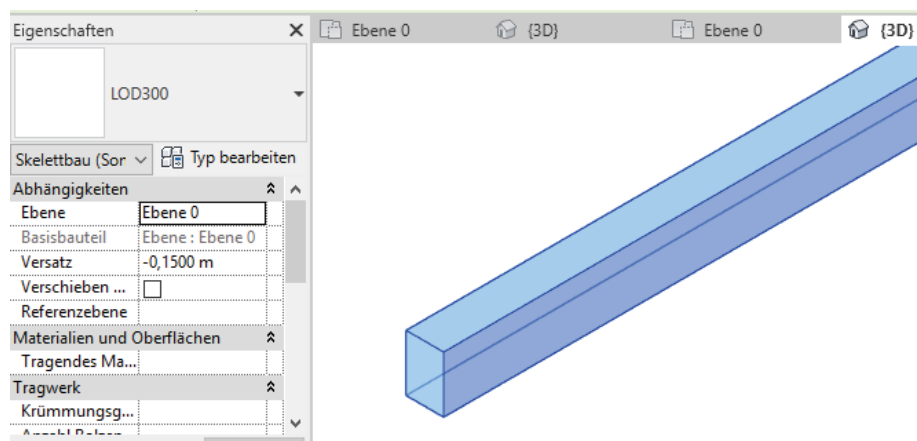


Abbildung 22 Verlust der Parametrik bei erneutem Import

Da die Parametrik jedoch bestimmte Fertigstellungsgrade zuverlässig abbildet, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Lösung für den benutzerspezifischen Export entwickelt. Hierzu wurde die Datei zur Steuerung der Eigenschaftendatensätze dahingehend angepasst, sodass beliebige Parameter aus der Familiendefinition als Attribute in einem Datensatz „Parametric“ ausgegeben werden (vgl. Abbildung 23). Dadurch erhält zwar das ausgegebene Bauteil keine Parametrik, das *IFC* - Dokument der exportierten Instanz ist jedoch dahingehend prüfbar und bildet so die Modellierweise in der Ursprungssoftware ab.

PropertySet: Parametric	I	IfcBeam
L	Length	Balkenlaenge
B	Length	B
H	Length	H

Abbildung 23 PropertySet Parametric, Ausschnitt aus Datei RevitExport

Mit diesen benutzerspezifischen Festlegungen lassen sich dann die Objektfamilien entsprechend den Definitionen des BIMForum's in ihren unterschiedlichen Fertigstellungsgraden vormodellieren. Anschließend können diese Bauelemente in einem Gebäudemodell instanziiert werden, indem ein einfaches Einfamilienhaus in Revit 2019 modelliert wird. Hierfür werden insgesamt 6 unterschiedliche Modelle erstellt, die verschiedenen Bauelementgruppen eines Fertigstellungsgrades vorweisen, also ein Modell für jeden *LOD*. Obwohl es praxisfern ist, dass in einem Modell nur ein Fertigstellungsgrad zu finden ist, wird diese Vorgehensweise benötigt, um die Gültigkeit der *LOD*-Spezifikation als Ersatz für das Maßstabswerkzeug zu verifizieren. Wenn anschließend alle Regeln eindeutig quantifiziert und belegt sind, erfolgt dann in Kapitel 6 die Prüfung eines Modells, in welchem unterschiedliche *LODs* vorliegen.

Bevor jedoch eine automatisierte Prüfung des Modells erfolgen kann, werden zunächst die Regeln für die unterschiedlichen Bauelementgruppen festgelegt.

5.3 Regeldefinition

Nachfolgend werden wie in Kapitel 5.1 beschrieben einzelne *BIM* - Elemente aus den Fachgewerken der Architektur und der Tragwerksplanung den Prüfkriterien folgend untersucht. Es wird aufgezeigt, wie sich die Elemente über die Fertigstellungsgrade hinweg verändern. Farblich hinterlegt sind die Quellen der jeweiligen Regeln. So basieren diese - wie bereits erwähnt - auf der *BIMForum LOD 2019 Specification* (BimForum 2018), Ergänzungen basieren auf der Definition von Depenbrock und Hermann,

der Schriftenreihe *Die BIM-Methode im Planungsprozess der HOAI* (Depenbrock 2019) und der Zuordnung mithilfe der *Abbildung auf Maßstäbe*. Diese definierten Regeln werden anschließend auf die *IFC*-Struktur des jeweiligen Bauteils abgebildet. Im Anhang sind hierzu Tabellen beigefügt, die die Veränderung der *IFC* – Struktur über die Fertigstellungsgrade des gesamten Modells abbilden. Eine Übersichtstabelle der Regeln findet sich in Kapitel 5.3.7.

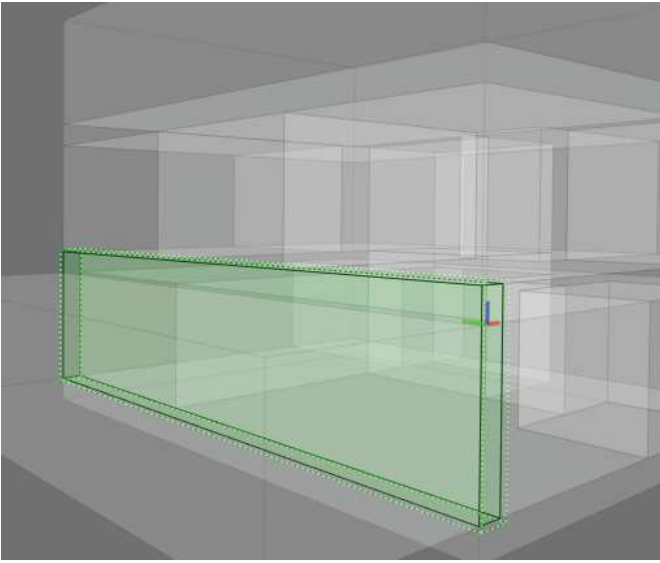
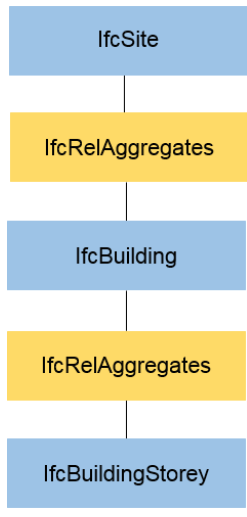
Anmerkung: Sowohl LOD100 als auch LOD500 sind für jedes Bauelement identisch klassifiziert. Aus diesem Grund werden diese beiden Fertigstellungsgrade für alle nachfolgenden Elemente gleich bedeutend definiert. Grundsätzlich sind alle Bauelemente mindestens als LOD100 anzusehen. Wird ein Kriterium (klassifiziert mit Mindestens) eines höher gelegenen Fertigstellungsgrad erfüllt, erreicht es diesen. Ein exakt definierendes Kriterium stoppt die Prüfung an dieser Stelle.

5.3.1 LOD 100

Der LOD100 kennzeichnet sich dadurch, dass lediglich Räume oder Bauteile als Volumenkörper dargestellt sind, die in ihrer endgültigen Form noch nicht erkennbar sind. Tragwerkselemente können zudem als textliche Notiz an bereits modellierten Bauteilen dargestellt werden. Zum Beispiel kann ein Deckenelement eine Schicht besitzen, die für das Tragwerk reserviert ist (BimForum 2018).

Da hierfür jedoch Bauteile eines höheren Fertigstellungsgrades benötigt werden, werden für die Erstellung von Modellen, die einen konstanten Fertigstellungsgrad vorweisen, Konstruktionsräume geschaffen, in welchen textliche Notizen angefügt werden können. Dies kann in Revit zum Beispiel bei den raumtypischen Eigenschaften unter „Kommentare“ erfolgen. Der LOD100 unterscheidet sich eindeutig von den anderen Fertigstellungsgraden, indem keine definierten Bauelemente vorliegen. Dieses Merkmal ist ein ausreichendes Alleinstellungsmerkmal und somit ist eine weitere Regeldefinition nicht erforderlich (BimForum 2018).

Tabelle 6 LOD100 – allgemeine Regeldefinition

LOD 100	
<p>keine explizite Darstellung von Elementen, z. B. Vermerk als textliche Notiz in Räumen</p> <p>Darstellung von Bauteilen als Volumenkörper, nicht in ihrer endgültigen Form/Typ erkennbar</p>	
<p>Abbildung 24 LOD100 Raumprogramm, Darstellung in BimVision</p>	
<p>- Raumdarstellung:</p> <p>Keine Elemente aus der Schematabelle <i>Shared Building Elements</i> aus Layer 3 (z.B. IFCBEAM, IFCCOLUMN, IFCWALL, IFCSLAB,...)</p>	
 <pre>graph TD; A[IfcSite] --- B[IfcRelAggregates]; B --- C[IfcBuilding]; C --- D[IfcRelAggregates]; D --- E[IfcBuildingStorey];</pre>	

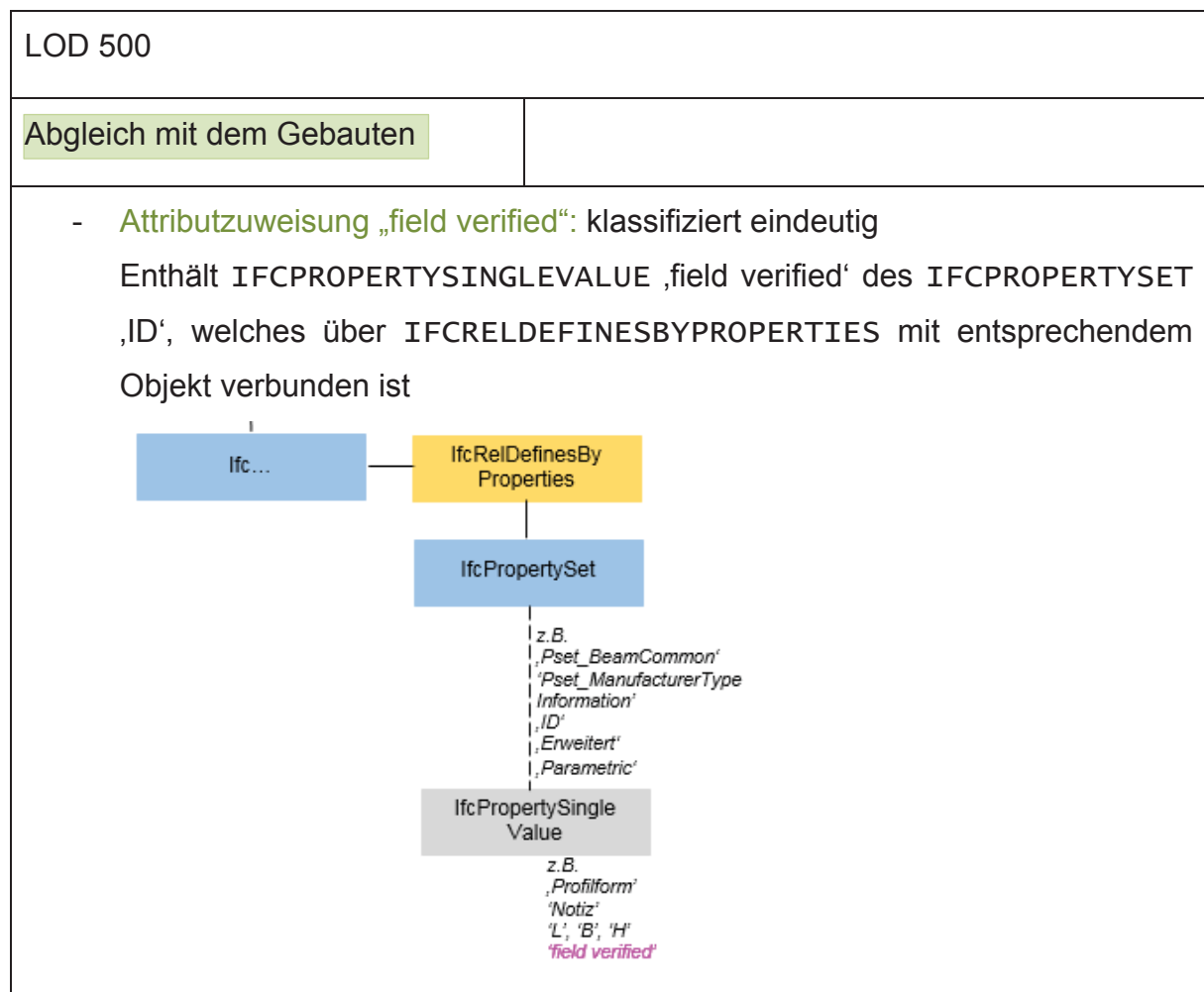
5.3.2 LOD 500

Der LOD500 wird in der BIMForum *LOD Specification* nicht explizit aufgeführt. Dies liegt daran, dass der LOD500 lediglich den Abgleich mit dem Gebauten widerspiegelt, sich jedoch keine Unterschiede gegenüber dem LOD300, bzw. LOD400 (Depenbrock 2019) in geometrischer Genauigkeit zeigen (BimForum 2018). In Abwandlung zu dieser Spezifikation wird in vorliegender Abhandlung ein Parameter eingeführt, der den Fertigstellungsgrad genau kennzeichnet. Hierzu wird der Instanz das Attribut „field verified“ zugewiesen. Dies erfolgt in vorliegendem Beispiel in den unterschiedlichen Elementfamilien. Beim Export wird das Attribut unter dem PropertySet „ID“ als „field verified“ an das Element geheftet.

PropertySet: ID	I	IfcBeam	
Profilform	Text	Form	
field verified	Boolean		field verified

Abbildung 25 PropertySet ID, Ausschnitt aus der Datei RevitExport

Tabelle 7 LOD500 – allgemeine Regeldefinition



Bei der Festlegung von Bauteilen können spezifische Anforderungen auftreten, die abhängig von den jeweiligen Baustoffen zu treffen sind. Nachfolgend wird ein Beispiel anhand der Materialität Stahlbeton durchgespielt. Die Übersichtsmatrix in Kapitel 5.3.7 enthält weitere materialspezifische Bestimmungen.

5.3.3 Balken

Tabelle 8 LOD200 – Stahlbetonträger IfcBeam

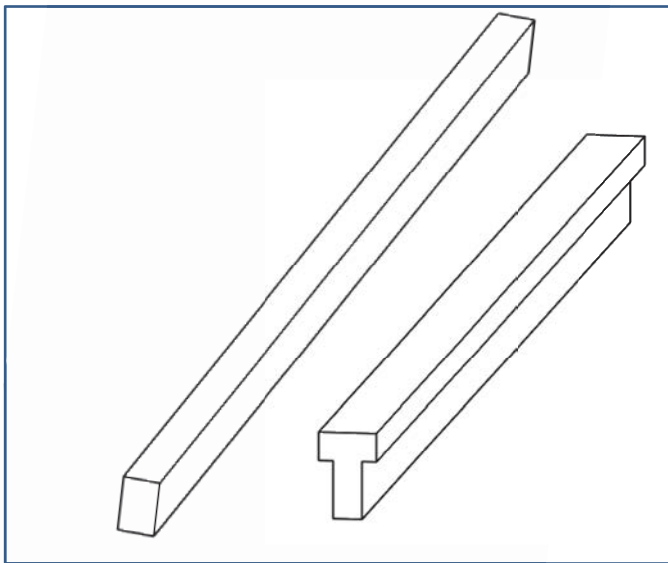
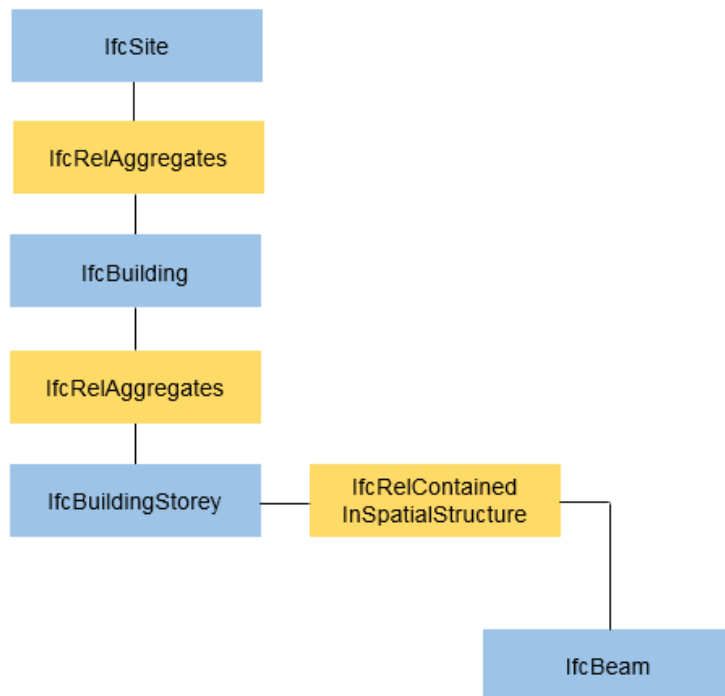
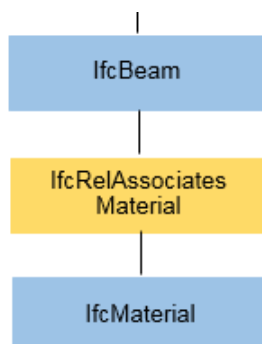
LOD 200	
<p>Objektyp</p> <p>Angenäherte Geometrie, Lage und Orientierung</p> <p>Evtl. grafische Notizen</p>	
<p>detaillierte Qualitäts- und Materialangaben</p> <p>Konstruktiv relevante Bauteilöffnungen</p>	

Abbildung 26 LOD200 Stahlbetonträger

- **Typisierung:** klassifiziert mit Mindestens
Element IFCBEAM aus der Schematabelle *Shared Building Elements* aus Layer 3 ist vorhanden



- **Materialangaben:** klassifiziert mit Mindestens, jedoch nicht zwingend erforderlich
Enthält IFCREASSOCIATESMATERIAL, welches mit der ID von IFCBEAM verbunden ist



Parametrisierung Länge, klassifiziert eindeutig

Enthält IFCPROPERTYSET ,L' des PROPERTYSET ,Parametric', welches über IFCRELDEFINESBYPROPERTIES mit IFCBEAM verbunden ist

Angabe Profilform: klassifiziert mit Mindestens, aber nicht zwingend erforderlich

Enthält IFCPROPERTYSET ,Profilform' mit IFCTEXT des IFCPROPERTYSET ,ID', welches über IFCRELDEFINESBYPROPERTIES mit IFCBEAM verbunden ist

Grafische Notizen: klassifiziert eindeutig, ist aber nicht zwingend erforderlich

Enthält IFCPROPERTYSET ,Notiz' des PROPERTYSET ,Erweitert', welches über IFCRELDEFINESBYPROPERTIES mit IFCBEAM verbunden ist

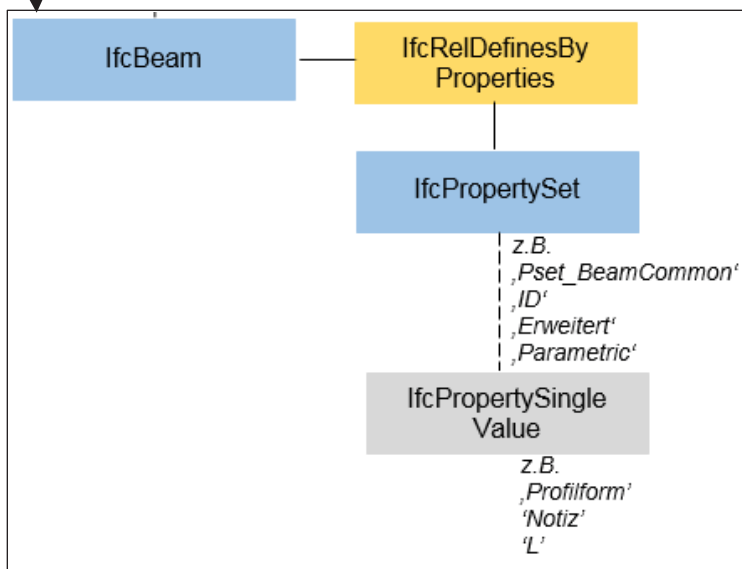
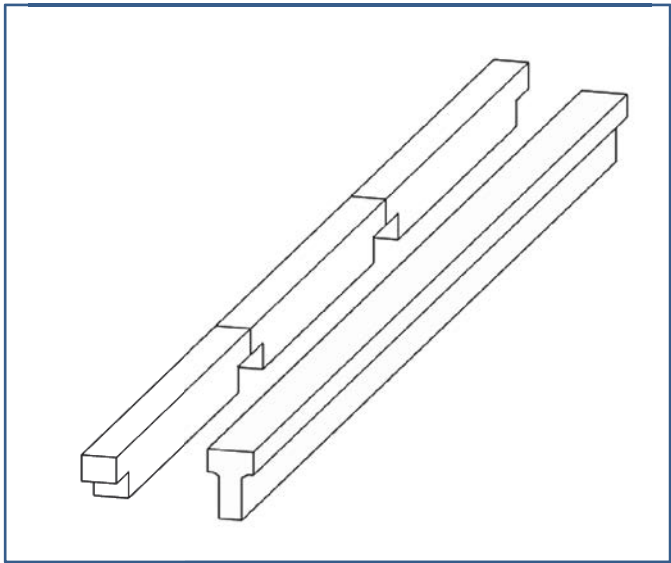
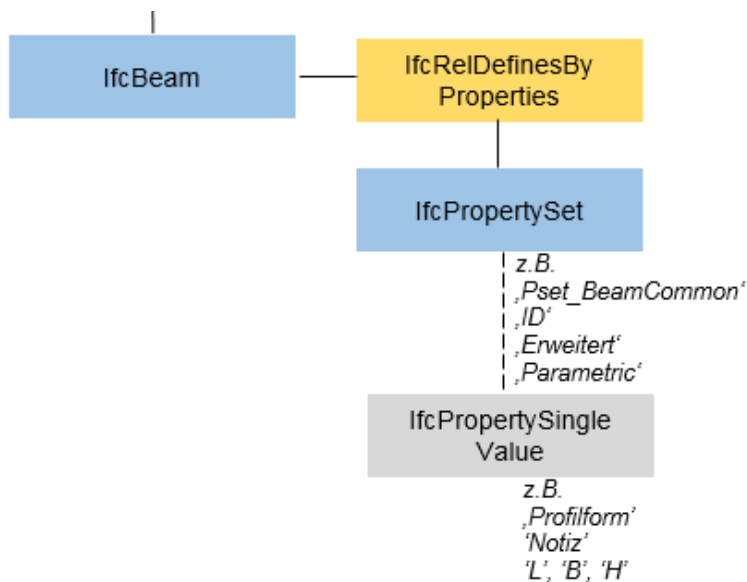


Tabelle 9 LOD300 - Stahlbetonträger IfcBeam

LOD 300	
<p>Objekte in ihrer tatsächlichen Form, Lage, Orientierung und Abmessung, geneigte Teilflächen werden gezeigt, exakte Profilformen</p> <p>Alle grafischen Notizen ausmodelliert</p>	
<p>Ausführungsreife Modellierung</p> <p>Exakte Mengen</p>	<p><i>Abbildung 27 LOD300 Stahlbetonträger</i></p>

- **Zusätzliche Parametrisierung Breite/Höhe/Profilabmessungen:** klassifiziert mit Mindestens Enthält IFCPROPERTY SINGLEVALUE ‚L‘, ‚B‘ und ‚H‘ des PROPERTYSET ‚Parametric‘, welches über IFCRELDEFINESBYPROPERTIES mit IFCBEAM verbunden ist, kann weitere Parameter zur genauen Profildefinition enthalten



- **detaillierte Formbeschreibung:** klassifiziert mit Mindestens

Enthält mehrere Objekte, welche die Form des Elements beschreiben:

SweptSolid:

Aussparungen: Verbindung mit IFCOPENING über IFCRELVOIDSELEMENT

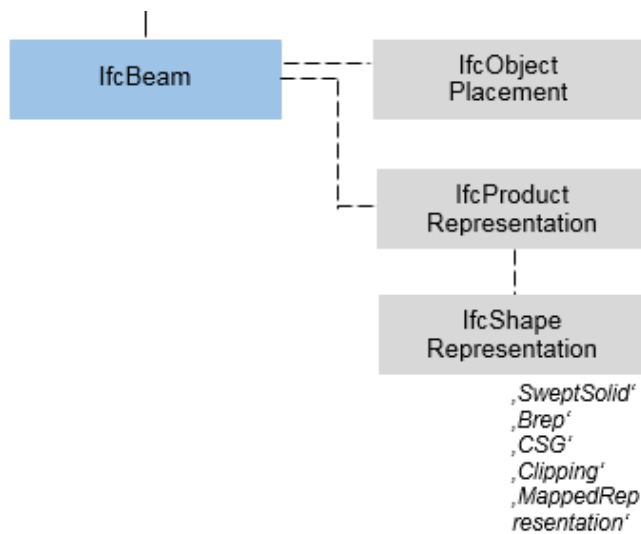
Profil: T-Träger: Beschreibung über mindestens 10 Punkte

Brep: Enthält mehr als 6 Außenflächen (Rechteck)

Enthält mehr als 12 Außenflächen (T-Profil)

MappedRepresentation

Clipping



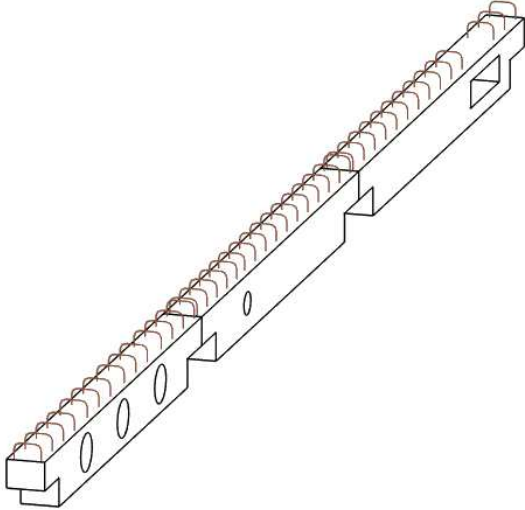
Die Beschreibung des Bewehrungsgehaltes von Stahlbetonbauteilen ist ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal. Wo im Fertigstellungsgrad 350 lediglich überlastete Teile des Elements oder Anschlussbereiche bewehrt modelliert werden, wird im Fertigstellungsgrad 400 die gesamte Bewehrung dargestellt, hier wird also der durchschnittliche Bewehrungsgehalt erreicht.

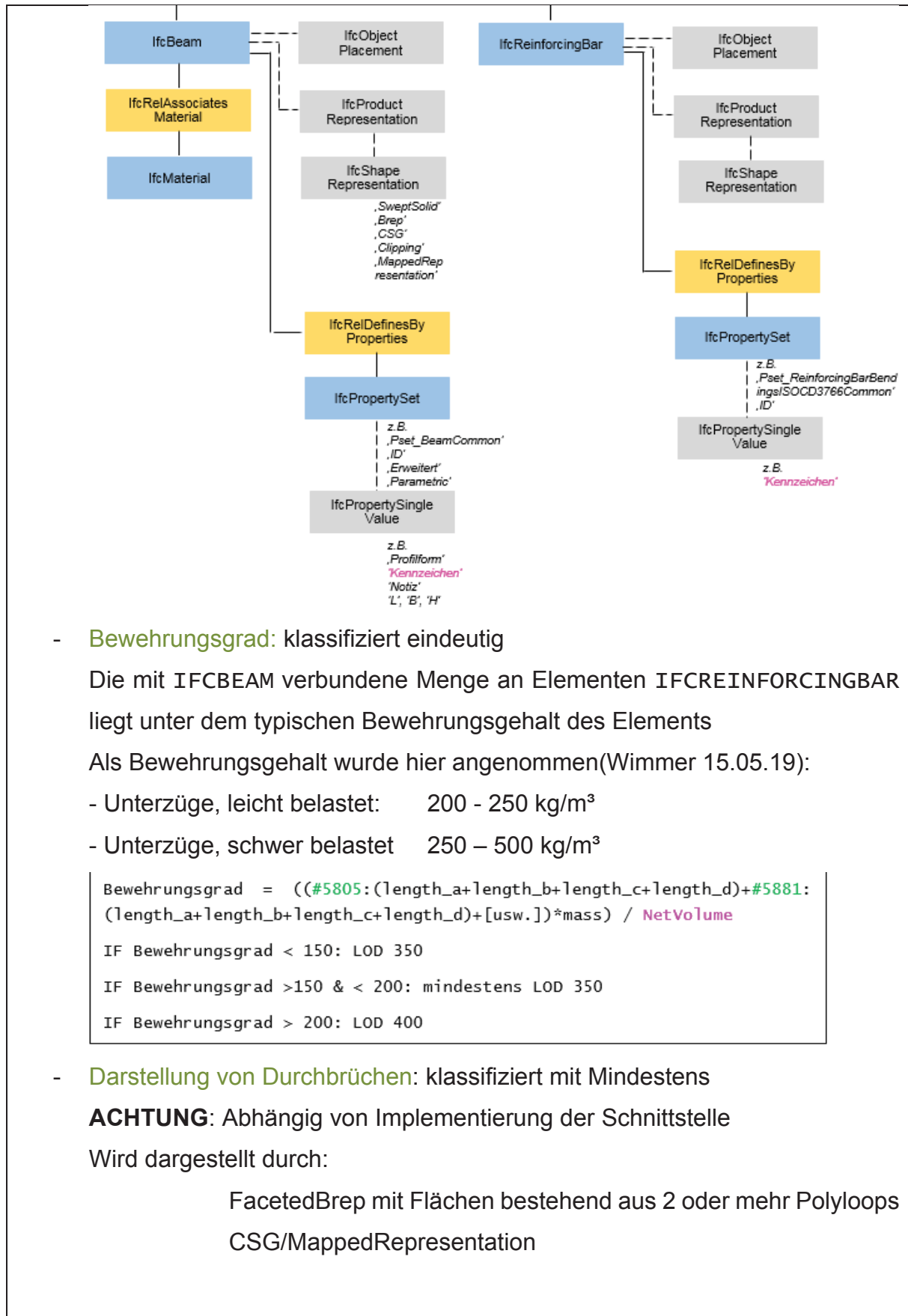
- | | | |
|----|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. | Bodenplatten (bis 40cm): | 120 – 140 kg/m ³ |
| 2. | Wände: | 100 - 125 kg/m ³ |
| 3. | Stützen: | 125 – 180 kg/m ³ |
| 4. | Unterzüge, leicht belastet: | 200 - 250 kg/m ³ |
| 5. | Unterzüge, schwer: | 250 – 500 kg/m ³ |

(Wimmer 15.05.19)

Die Modellierung der Bewehrung erfolgt durch die Zuweisung der Elemente zu Basisbauteilen. Damit beim Export diese Zuweisung erhalten bleibt, ist es erforderlich, das Basisbauteil durch eine Bauteil-ID im Eigenschaftsfeld „Kennzeichen“ zu definieren. Das Bewehrungselement erhält dann diese ID als Attribut „Kennzeichen des Basisbauteils“. Durch entsprechende Anpassung des Export-Dokuments wird diese Eigenschaft dann auch in das *IFC*-Dokument mit übergeben.

Tabelle 10 LOD350 - Stahlbetonträger IfcBeam

LOD 350	
<p>Darstellung aller Durchbrüche Darstellung von Anschlussbewehrung, Einbauteilen, Nachspannungsprofilen, Bewehrung überlasteter Bereiche</p>	
<p><i>Abbildung 28 LOD350 Stahlbetonträger</i></p>	
<p>- IfcReinforcingElement/Bar/Mesh, IfcTendon/TendonAnchor: klassifiziert mit Mindestens Enthält die Klasse IFCREINFORCINGBAR/ELEMENT/MESH, IFCTENDON/TENDONANCHOR, dessen Attribut ‚Kennzeichen‘ identisch zu dem zugehörigen Attribut von IFCBEAM ist</p>	



- **Bewehrungsgrad**: klassifiziert eindeutig

Die mit IFCBEAM verbundene Menge an Elementen IFCREINFORCINGBAR liegt unter dem typischen Bewehrungsgehalt des Elements

Als Bewehrungsgehalt wurde hier angenommen (Wimmer 15.05.19):

- Unterzüge, leicht belastet: 200 - 250 kg/m³
- Unterzüge, schwer belastet: 250 – 500 kg/m³

$$\text{Bewehrungsgrad} = \frac{((\#5805: (\text{length}_a + \text{length}_b + \text{length}_c + \text{length}_d) + \#5881: (\text{length}_a + \text{length}_b + \text{length}_c + \text{length}_d) + [\text{usw.}]) * \text{mass})}{\text{NetVolume}}$$

IF Bewehrungsgrad < 150: LOD 350
 IF Bewehrungsgrad > 150 & < 200: mindestens LOD 350
 IF Bewehrungsgrad > 200: LOD 400

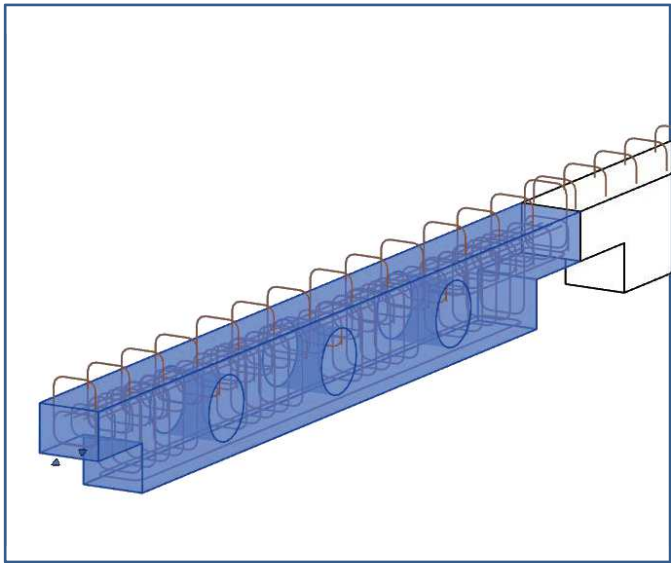
- **Darstellung von Durchbrüchen**: klassifiziert mit Mindestens

ACHTUNG: Abhängig von Implementierung der Schnittstelle

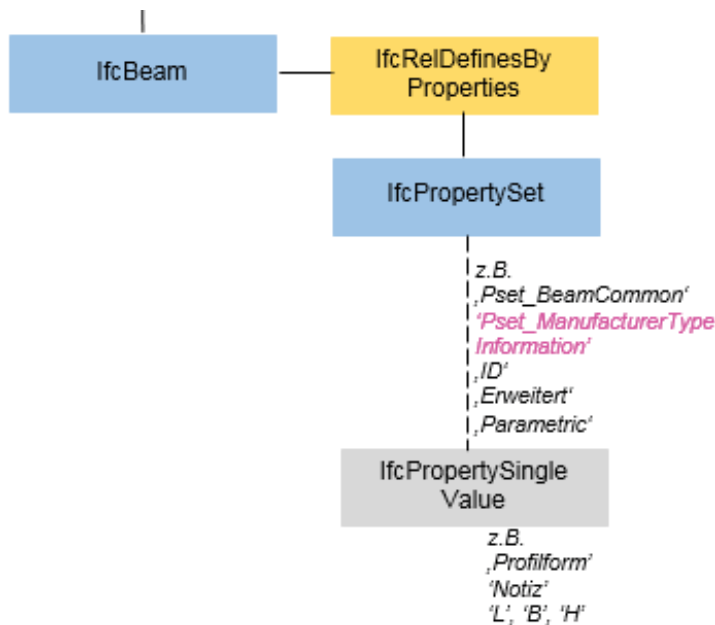
Wird dargestellt durch:

FacetedBrep mit Flächen bestehend aus 2 oder mehr Polyloops
 CSG/MappedRepresentation

Tabelle 11 LOD400 - Stahlbetonträger IfcBeam


<p>LOD 400</p>	
<p>Darstellung der gesamten Bewehrung</p>	
<p>Genauere Produktbezeichnungen</p>	
<p>Herstellerangaben</p>	
<p>Abbildung 29 LOD400 Stahlbetonträger</p>	

- **Bewehrungsgrad:** klassifiziert eindeutig
Siehe hierzu LOD350
- **Herstellerangaben:** klassifiziert eindeutig, aber nicht zwingend erforderlich
Enthält IFCPROPERTY SINGLEVALUE ‚Manufacturer‘ des PROPERTYSET ‚Pset_ManufacturerTypeInformation‘, welches über IFCRELDEFINESBYPROPERTYIES mit dem jeweiligen Element verbunden ist

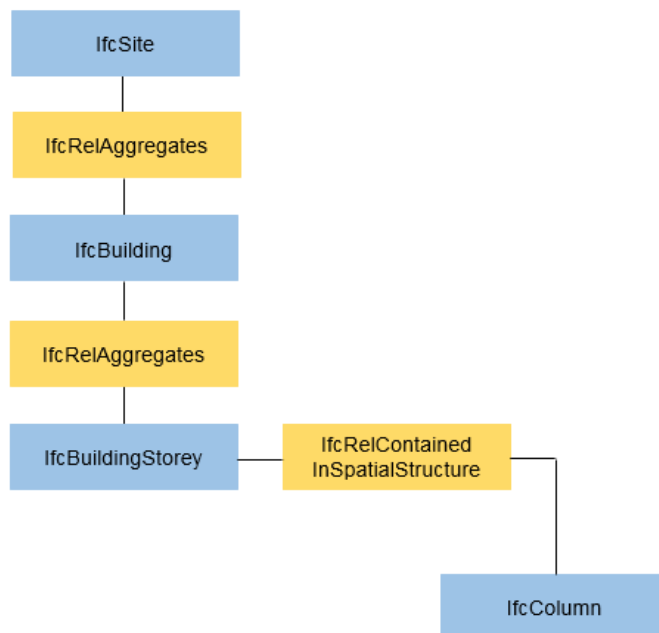


5.3.4 Stützen

Tabelle 12 LOD200 – Stahlbetonstütze IfcColumn

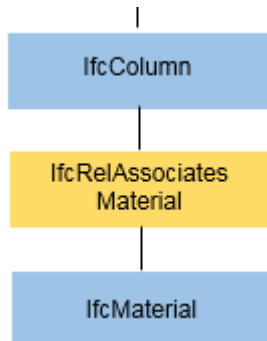
LOD 200	
<p>Objektyp</p> <p>Angenäherte Geometrie, Lage und Orientierung</p> <p>Evtl. grafische Notizen</p> <p>Art des Systems</p>	
<p>detaillierte Qualitäts- und Materialangaben</p>	
<p>Abbildung 30 LOD200 Stahlbetonstütze</p>	

- **Typisierung:** klassifiziert mit Mindestens
Das Element IFCCOLUMN aus der Schematabelle *Shared Building Elements* aus Layer 3 ist vorhanden



- **Materialangaben:** klassifiziert mit Mindestens, jedoch nicht zwingend erforderlich

Enthält IFCREASSOCIATESMATERIAL, welches mit der ID von IFCCOLUMN verbunden ist



Keine Parametrisierung: klassifiziert eindeutig

Enthält **kein** Propertyset ‚Parametric‘

Angabe Profilform: klassifiziert mit Mindestens

Enthält IFCPROPERTY SINGLEVALUE ‚Profilform‘ mit IFCTEXT des IFCPROPERTYSET ‚ID‘, welches über IFCRELDEFINESBYPROPERTIES mit IFCCOLUMN verbunden ist

Grafische Notizen: klassifiziert eindeutig, ist aber nicht zwingend erforderlich

Enthält IFCPROPERTY SINGLEVALUE ‚Notiz‘ des PROPERTYSET ‚Erweitert‘, welches über IFCRELDEFINESBYPROPERTIES mit IFCCOLUMN verbunden ist

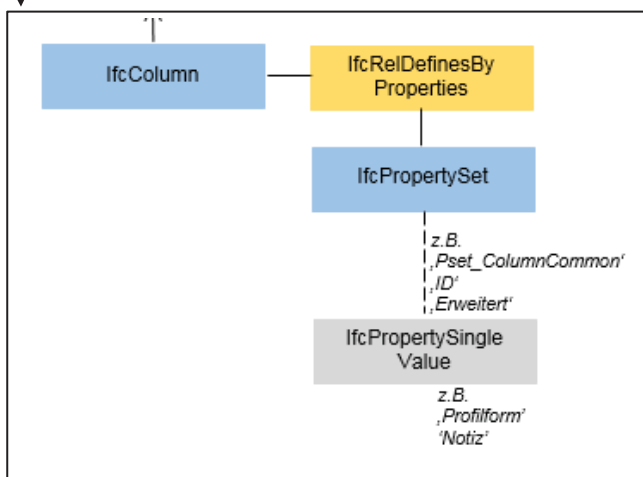
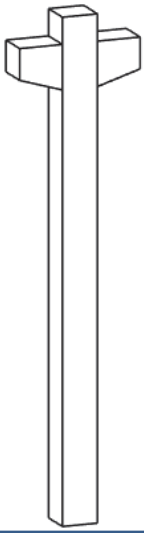
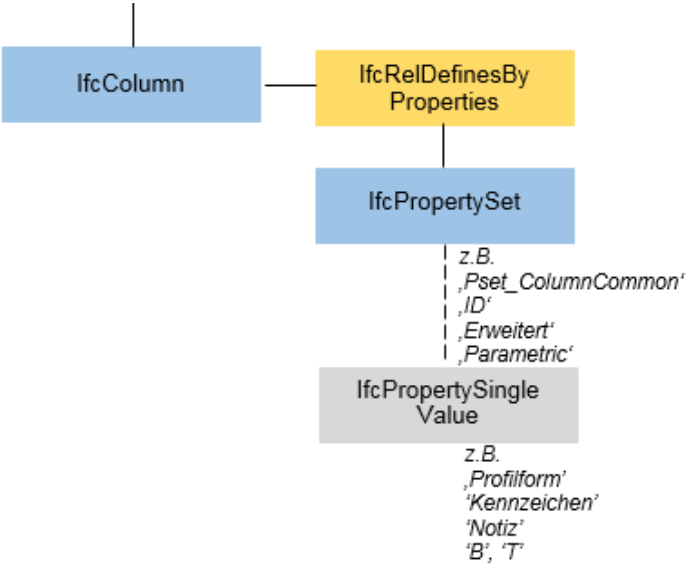


Tabelle 13 LOD300 – Stahlbetonstütze IfcColumn

LOD 300	
<p>Objekte in ihrer tatsächlichen Form, Lage, Orientierung und Abmessung, geneigte Teilflächen werden gezeigt, exakte Profilformen</p>	
<p>Ausführungsreife Modellierung Exakte Mengen</p>	
<p>Abbildung 31 LOD300 Stahlbetonstütze</p>	
<p>- Parametrisierung Tiefe/Breite: klassifiziert mit Mindestens Enthält IFCPROPERTY SINGLEVALUE ‚B‘ und ‚T‘ des PROPERTYSET ‚Parametric‘, welches über IFCRELDEFINESBYPROPERTIES mit IFCCOLUMN verbunden ist, kann weitere Parameter zur genauen Profildefinition enthalten</p>	
 <pre> graph TD IfcColumn[IfcColumn] --- IfcRelDefinesBy[IfcRelDefinesBy Properties] IfcRelDefinesBy --- IfcPropertySet[IfcPropertySet] IfcPropertySet --- IfcPropertySingle[IfcPropertySingle Value] </pre> <p>z.B. ‚Pset_ColumnCommon‘ ‚ID‘ ‚Erweitert‘ ‚Parametric‘</p> <p>z.B. ‚Profilform‘ ‚Kennzeichen‘ ‚Notiz‘ ‚B‘, ‚T‘</p>	

- **Detaillierte Formbeschreibung:** klassifiziert mit Mindestens, jedoch nicht zwingend erforderlich

Enthält mehrere Objekte, welche die Form des Elements beschreiben:

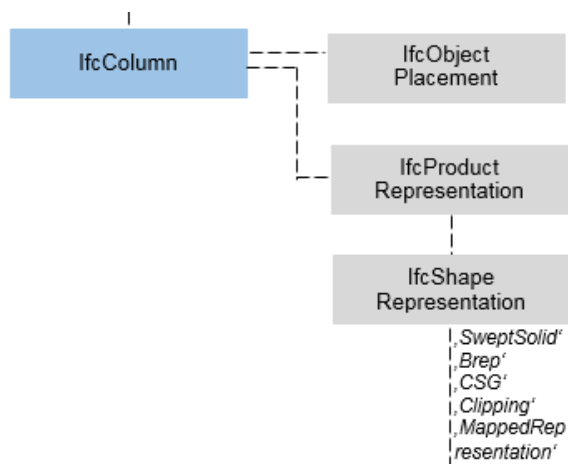
SweptSolid:

Aussparungen: Verbindung mit IFCOPENING über IFCRELVOIDSELEMENTS

Brep: Enthält mehr als 6 Außenflächen (Rechteckprofil)

MappedRepresentation

Clipping



- **Konsolen:** klassifiziert mit Mindestens, jedoch nicht zwingend erforderlich
- Enthält IFCELEMENTASSEMBLY, welche mehrere Stützen über IFCRELAGGREGATES zu einer Baugruppe verbindet

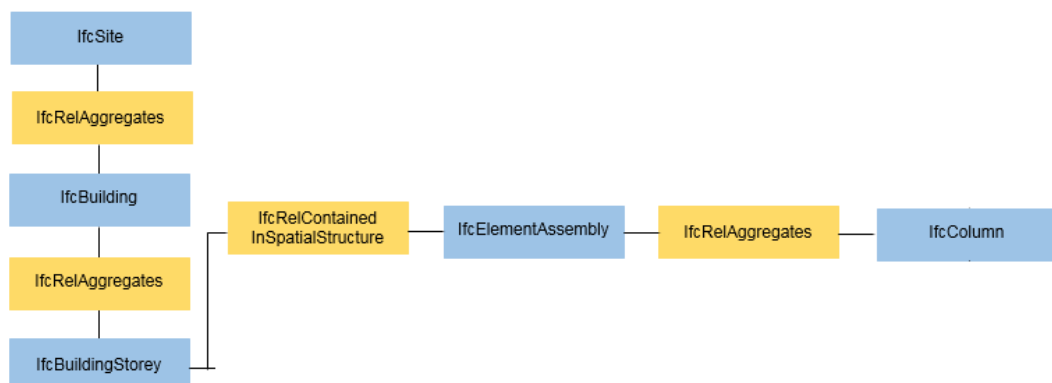
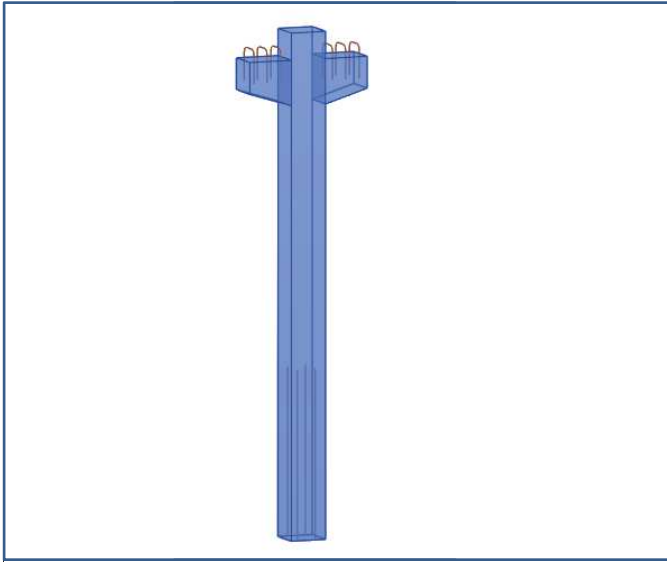
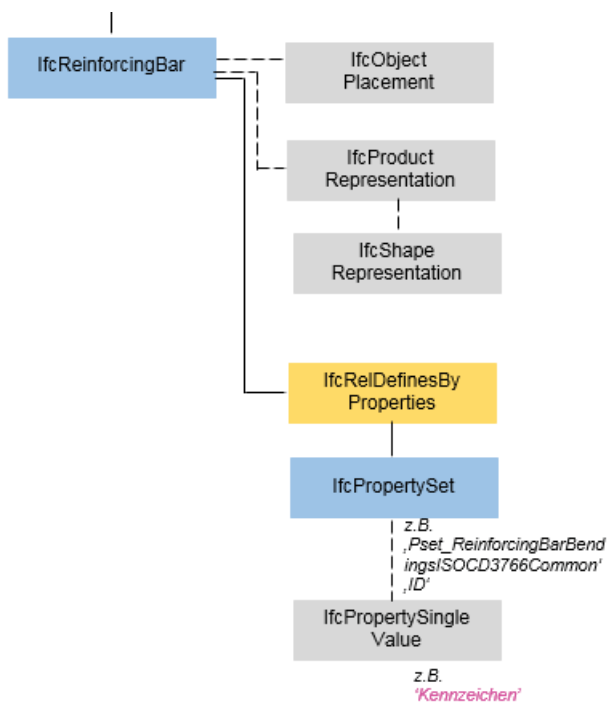
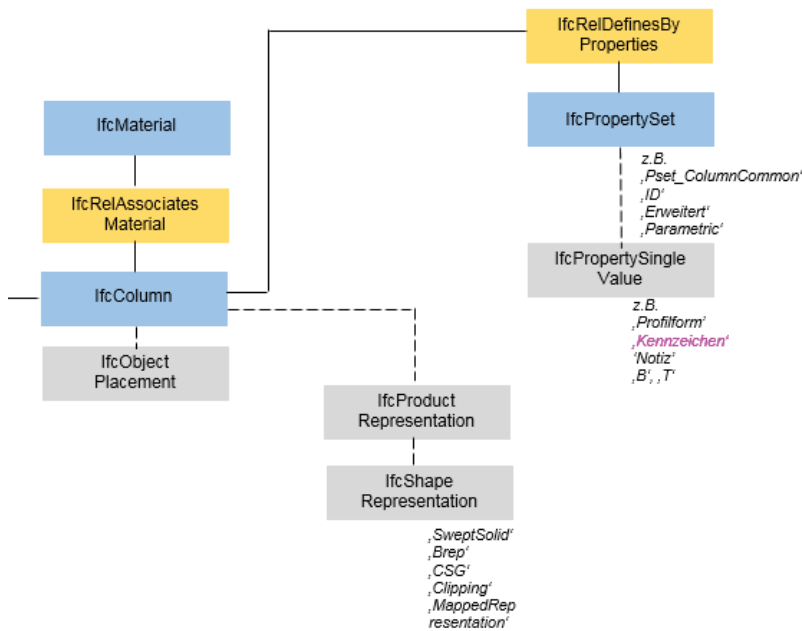


Tabelle 14 LOD350 - Stahlbetonstütze IfcColumn

<p>LOD 350</p>	
<p>Darstellung aller Durchbrüche</p> <p>Darstellung von Anschlussbewehrung, Einbauteilen, Nachspannungsprofilen, Bewehrung überlasteter Bereiche</p>	
<p>Abbildung 32 LOD350 Stahlbetonstütze</p>	

- Typisierung IfcReinforcingElement/Bar/Mesh, IfcTendon/TendonAnchor: klassifiziert mit Mindestens Enthält die Klasse IFCREINFORCINGBAR/ELEMENT/MESH, IFCTENDON/TENDONANCHOR, welche mithilfe des Attributs ‚Kennzeichen‘ mit IFCCOLUMN verbunden ist



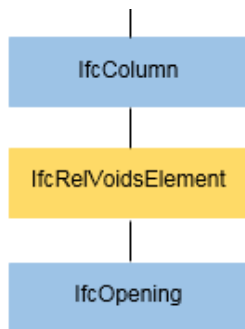


- **Durchbrüche:** klassifiziert mit Mindestens

ACHTUNG: Abhängig von Implementierung der Schnittstelle

Wird dargestellt durch:

SweptSolid: Enthält IFCOPENING, welches durch IFCRELVOIDSELEMENT mit IFCCOLUMN verbunden ist
 FacetedBrep mit Flächen bestehend aus 2 oder mehr Polyloops
 CSG/MappedRepresentation



- **Bewehrungsgrad:** klassifiziert eindeutig

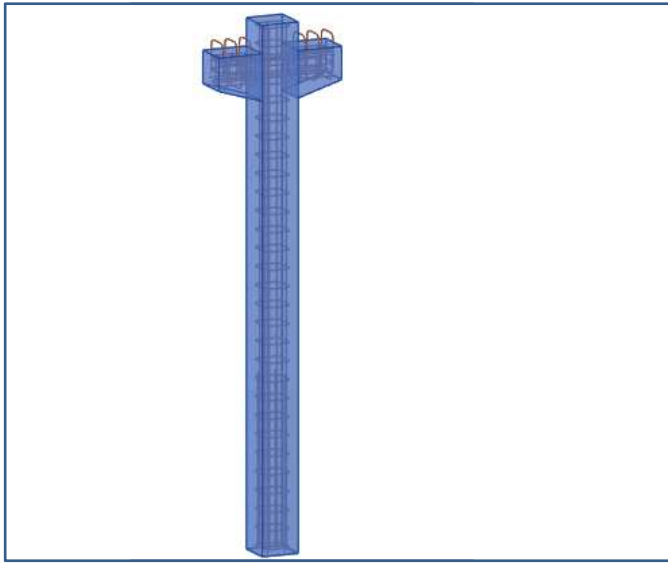
Die mit IFCCOLUMN verbundene Menge an Elementen IFCREINFORCING-BAR liegt unter dem typischen Bewehrungsgehalt des Elements

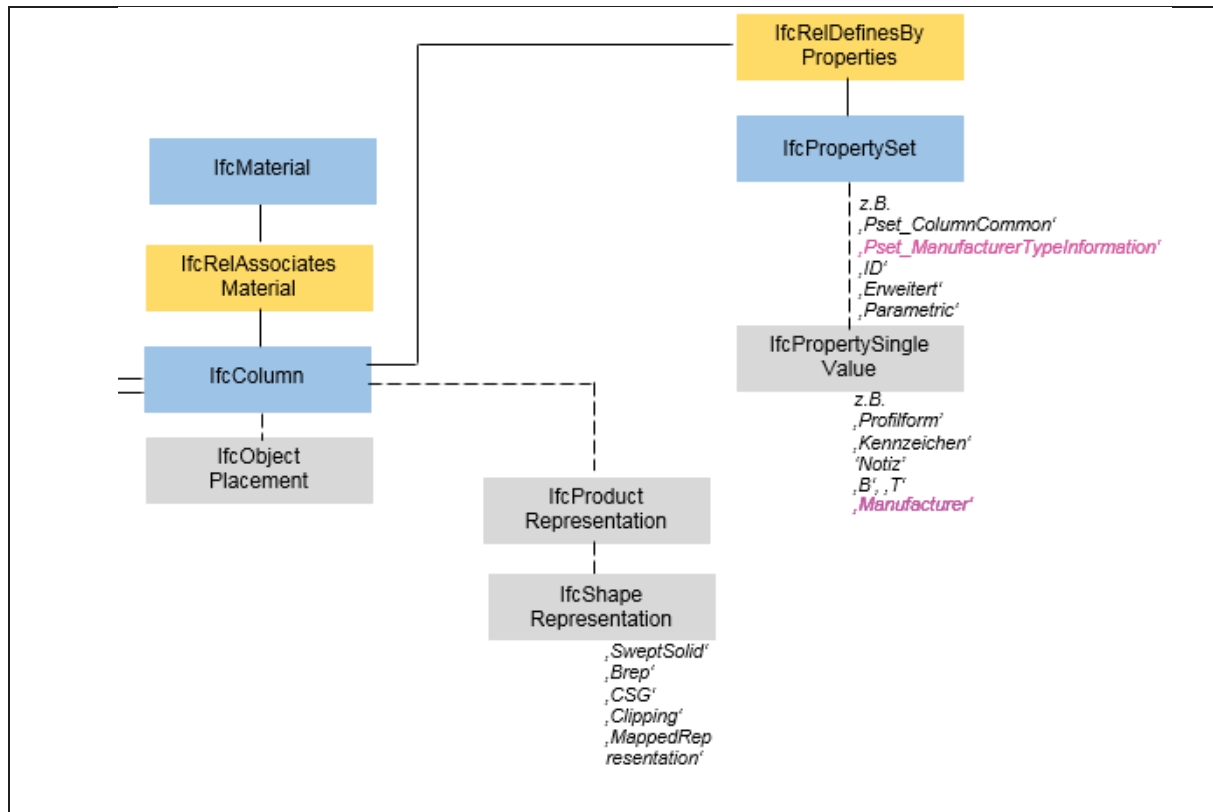
Als Bewehrungsgehalt wurde hier angenommen(Wimmer 15.05.19):

- Stützen: 125 - 180 kg/m³

<p>Bewehrungsgrad = $((\#14684:(length_a+length_b+length_c+length_d)+[usw.])*mass) / NetVolume$</p> <p>IF Bewehrungsgrad < 100: LOD 350</p> <p>IF Bewehrungsgrad >100 & < 125: mindestens LOD 350</p> <p>IF Bewehrungsgrad > 125: LOD 400</p>
--

Tabelle 15 LOD400 - Stahlbetonstütze IfcColumn

LOD 400	
<p>Darstellung der gesamten Bewehrung</p> <p>Genau Produktbezeichnungen</p> <p>Herstellerangaben</p>	 <p>Abbildung 33 LOD400 Stahlbetonstütze</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Bewehrungsgrad: klassifiziert eindeutig Siehe hierzu LOD350 - Herstellerangaben: klassifiziert eindeutig, aber nicht zwingend erforderlich Enthält IFCPROPERTYSINGLEVALUE ‚Manufacturer‘ des PROPERTYSET ‚Pset_ManufacturerTypeInfoInformation‘, welches über IFCRELDEFINESBYP-ROPERTIES mit dem jeweiligen Element verbunden ist 	



5.3.5 Wände

Bei der Beschreibung von Wänden gibt es verschiedene Möglichkeiten der Darstellung. Zum einen können Wände als Gesamtkomplex gesehen werden. Hier werden sämtliche Schichten wie z. B. die Vorsatzschale, Tragschicht, Dämmung oder Luft-räume in einem dargestellt. Als Alternative dazu können die einzelnen Schichten aber auch getrennt modelliert werden. Hier wird unterteilt in Vorsatzschalen, Hauptschicht und Innenbekleidung. Als Vorsatzschalen werden zum Beispiel Mauerwerks- oder Holzverkleidungen genannt. Die Haupttragschicht kann dann z. B. aus Holz-Rahmen-Bauweise, Mauerwerk oder Stahlbeton bestehen. Diese beiden Repräsentationsmöglichkeiten, also die Modellierung als ein Element oder getrennt nach Schichten, unterscheiden sich in den LOD200-300 bis auf die Trennung der Schichten kaum voneinander. Ab dem LOD350 erfolgen dann materialspezifische Abweichungen, jedoch alle nach dem gleichen Detaillierungsschema (BimForum 2018).

In vorliegender Arbeit sollen Wände unterteilt nach Schichten modelliert werden. Bei der Materialität wird beispielhaft Stahlbeton aufgeführt, nachfolgende Matrix berücksichtigt jedoch auch viele weitere Baustoffe (vgl. Kapitel 5.3.7). Es ist zu beachten, dass für die Bauelemente Wände keine eigenen Familien erstellt werden können, da

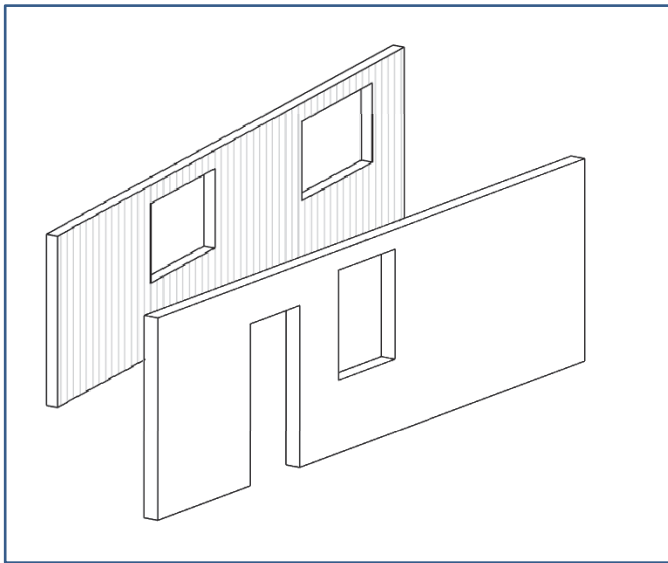
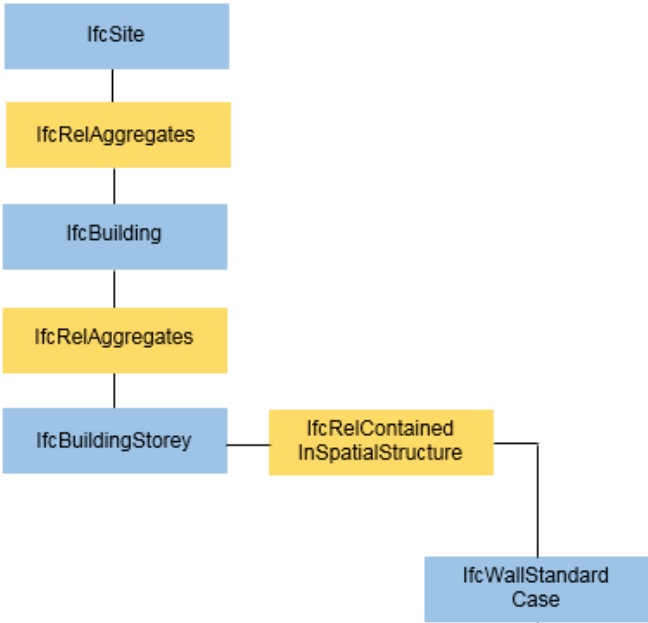
das Bauteil Wand in Revit eine Systemfamilie und keine passende ladbare Familienvorlage verfügbar ist (Autodesk GmbH 2018). Aus diesem Grund werden vorhandene Systemfamilien verändert und entsprechend den Vorgaben angepasst. Attribute wie zum Beispiel zur Parametrik können hier nicht ergänzt werden.

In der Beschreibung des LOD200 werden nach BIMForum bei der Repräsentation durch eine Schicht keine Öffnungen dargestellt. Bei der Modellierungsweise der einzelnen Schichten werden die Hauptöffnungen grafisch jedoch bereits im LOD200 dargestellt, eine textliche Aufführung erfolgt erst im LOD300. Auch bei der Definition von Fenstern ist bereits im LOD200 eine ungefähre und angenäherte Darstellung vorgesehen (BimForum 2018).

Aus der Abbildung der herkömmlichen Maßstäbe geht hervor, dass bereits im LOD200 Rohbauöffnungen dargestellt werden. Aus diesem Grund werden Öffnungen für Fenster und Türen bereits in diesem frühen Fertigstellungsgrad vorgesehen, hier jedoch nur als ungefähre und nicht verlässliche Maße, also nicht parametrisierbar. Damit die Parametrik mit ins IFC –Dokument übergeben werden kann, wird in der Öffnungsfamilie ab dem LOD300 ein transparenter Volumenkörper eingefügt, der als *IFCWindow* exportiert wird. An diesen können dann die Parametrisierungsattribute angehängt werden. Öffnungen sind ein wesentliches Merkmal bei der Beschreibung von Wänden, weswegen diese hier extra berücksichtigt werden. Die Klassifizierungselemente Fenster gelten hier jedoch nur als Hilfsmittel und werden nicht genauer analysiert.

Es gilt hier zu beachten, dass der Einfachheit halber in nachfolgenden Abbildungen nur *IFCWallStandardCase* genannt wird. Es wird jedoch auch der Fall *IFCWall* berücksichtigt.

Tabelle 16 LOD200 – Stahlbetonwand IfcWall

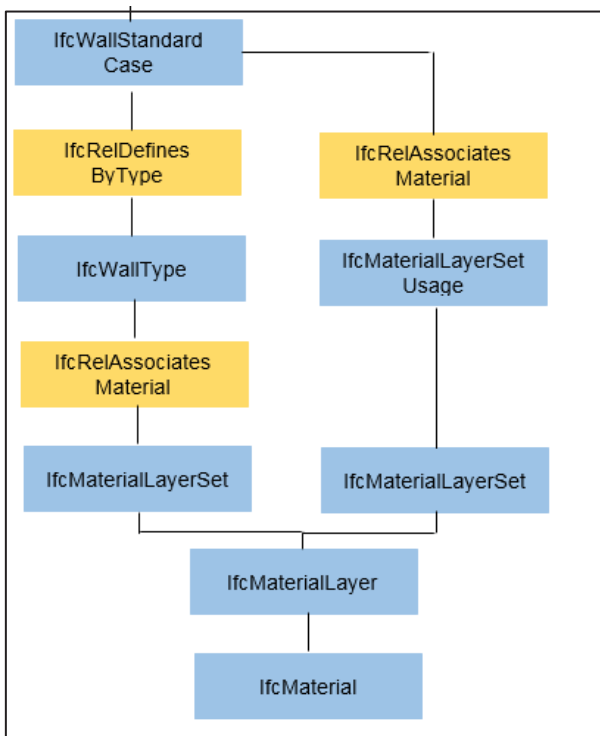
LOD 200	
<p>Allgemeine Wandobjekte mit angenäherten Dicken</p> <p>Layer unterteilt nach Materialität, dargestellt als ein Element</p>	
<p>Rohbauöffnungen</p>	<p>Abbildung 34 LOD200 Stahlbetonwand</p>
<p>- Typisierung: klassifiziert mit Mindestens Element IFCWALL bzw. IFCWALLSTANDARDCASE aus der Schematabelle <i>Shared Building Elements</i> aus Layer 3 ist vorhanden</p>	
 <pre> graph TD IfcSite[IfcSite] --- IfcRelAggregates1[IfcRelAggregates] IfcRelAggregates1 --- IfcBuilding[IfcBuilding] IfcBuilding --- IfcRelAggregates2[IfcRelAggregates] IfcRelAggregates2 --- IfcBuildingStorey[IfcBuildingStorey] IfcBuildingStorey --- IfcRelContained[IfcRelContained InSpatialStructure] IfcRelContained --- IfcWallStandardCase[IfcWallStandard Case] </pre>	

Materialangaben: klassifiziert mit Mindestens

Enthält IFCMATERIAL, welches über IFCMATERIALLAYERSET über IFCREASSOCIATESMATERIAL mit IFCWALLTYPE und über IFCRELDEFINESBYTYPE mit IFCWALL, bzw. direkt mit IFCWALL verbunden ist

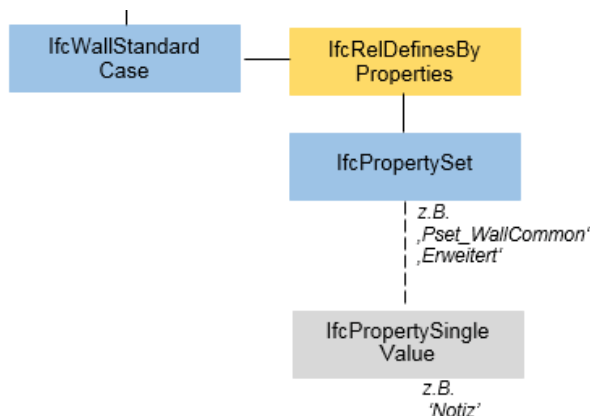
mehrere Layerschichten: klassifiziert mit Mindestens, Unterteilung jedoch nicht zwingend erforderlich

Enthält mehrere IFCMATERIALLAYER in einem IFCMATERIALLAYERSET, welches über IFCWALLTYPE oder direkt mit IFCWALL verbunden ist, Schichten wie Putz, Dampfsperren,... noch nicht dargestellt

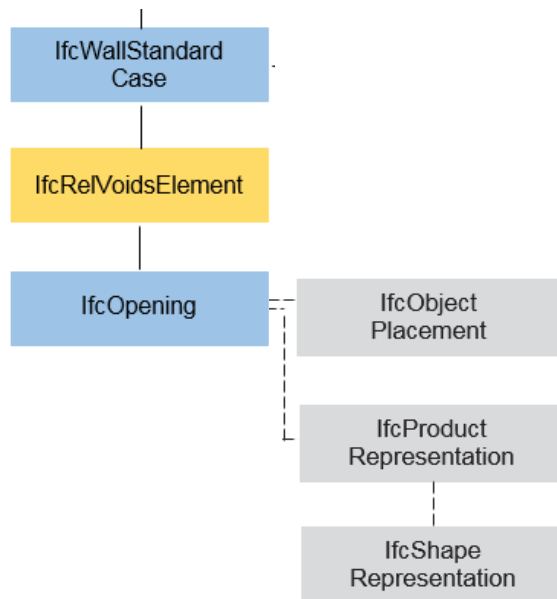


- **Grafische Notizen:** klassifiziert eindeutig, ist aber nicht zwingend erforderlich

Enthält IFCPROPERTY SINGLEVALUE ,Notiz‘ des PROPERTYSET ,Erweitert‘, welches über IFCRELDEFINESBYPROPERTIES mit IFCWALL verbunden ist



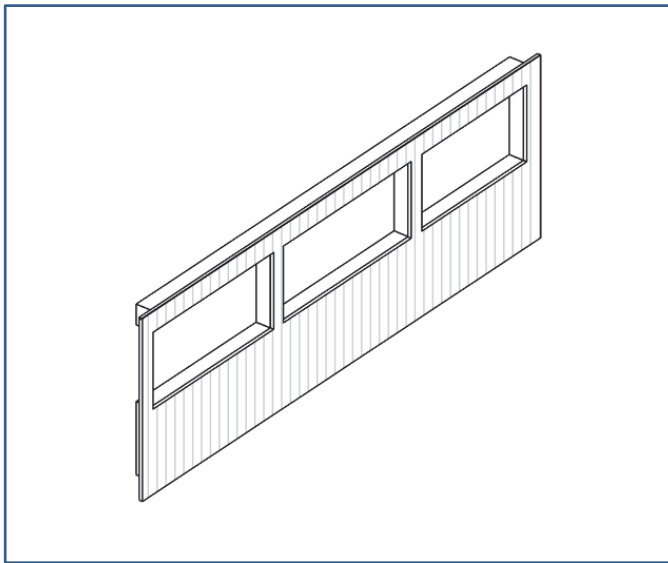
- Rohbauhauptöffnungen: klassifiziert eindeutig
Enthält Öffnungen, deren Abmessungen größer als 76 cm⁶ sind,
keine Darstellung von runden Öffnungen oder Schlitzfenstern



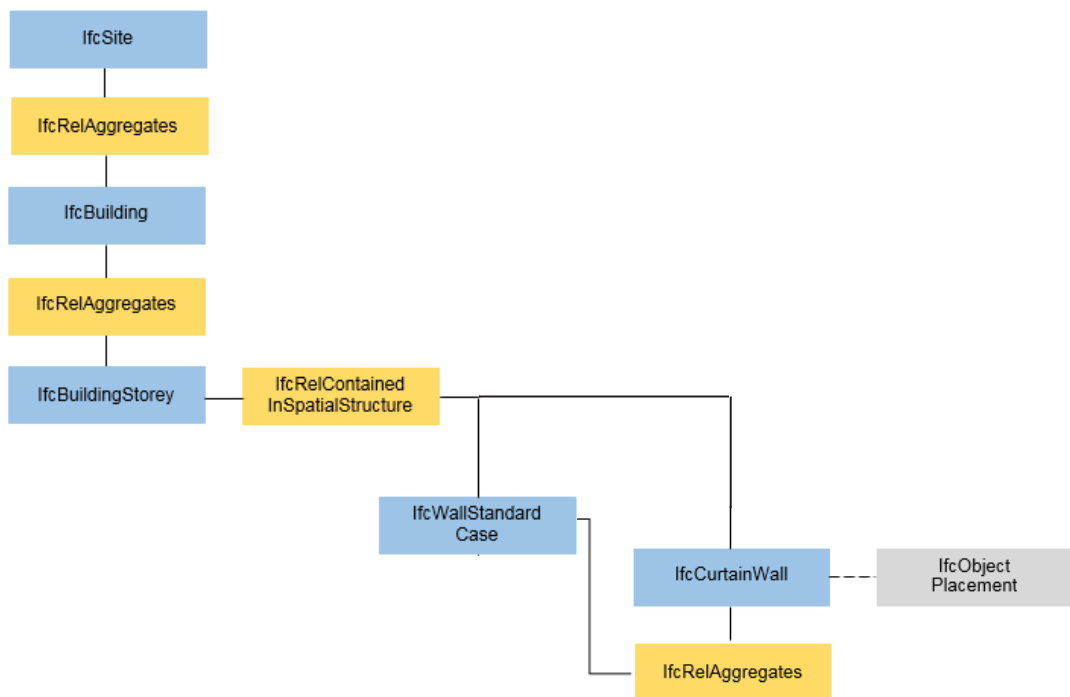
- Rohbauöffnungen unparametrisiert: klassifiziert eindeutig
IFCOPENING enthält kein Propertyset, welches die Parametrik der Öffnungen widerspiegelt (siehe LOD300)

⁶ Hier wurde das kleinste Standardfenstermaß verwendet, da in diesem Fertigstellungsgrad lediglich die ungefähren Abmessungen von Hauptöffnungen gezeigt werden sollen. Dieses Maß kann variieren.

Tabelle 17 LOD300 - Stahlbetonwand IfcWall

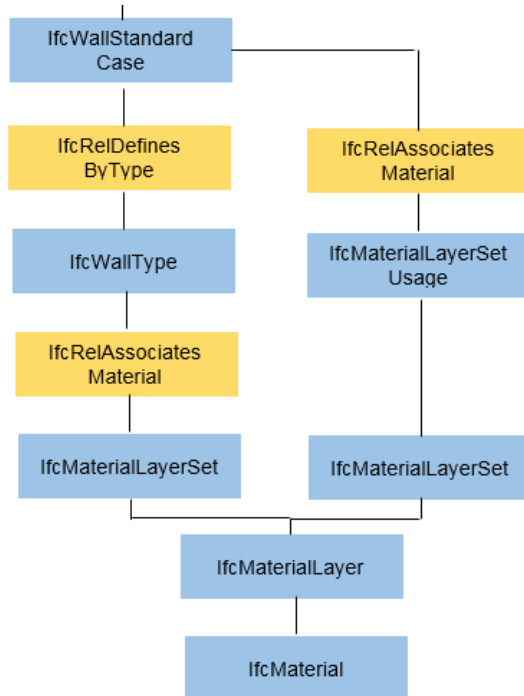
<p>LOD 300</p>	
<p>Unterteilung in tragende Wand und Fassade</p> <p>Genaue Abmessungen</p> <p>Rohbaumaße Fenster, Türen und große Öffnungen</p>	
<p>Abbildung 35 LOD300 Stahlbetonwand</p>	

- **Typisierung:** klassifiziert mit Mindestens, aber nicht zwingend erforderlich
 Enthält IFCCURTAINWALL, welche über IFCRELAGGREGATES mit einer Wandschicht beschrieben wird



- **IfcWallStandardCase: eine Layerschicht:** klassifiziert mit Mindestens (IfcCurtainWall: kann mehrere Schichten enthalten)

Enthält mehrere IFCMATERIALLAYER in einem IFCMATERIALLAYERSET, welches über IFCWALLTYPE oder direkt mit IFCWALL verbunden ist



- **Rohbauöffnungen parametrisiert:** klassifiziert mit Mindestens Enthält IFCPROPERTY SINGLEVALUE ,B', ,H', und ,T' des PROPERTYSET ,Parametric', welches über IFCRELDEFINESBYPROPERTIES mit IFCOPENING und über IFCRELFILLSELEMENT mit IFCWINDOW verbunden ist

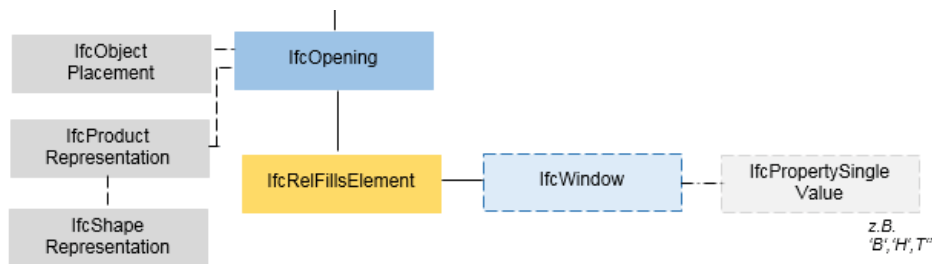
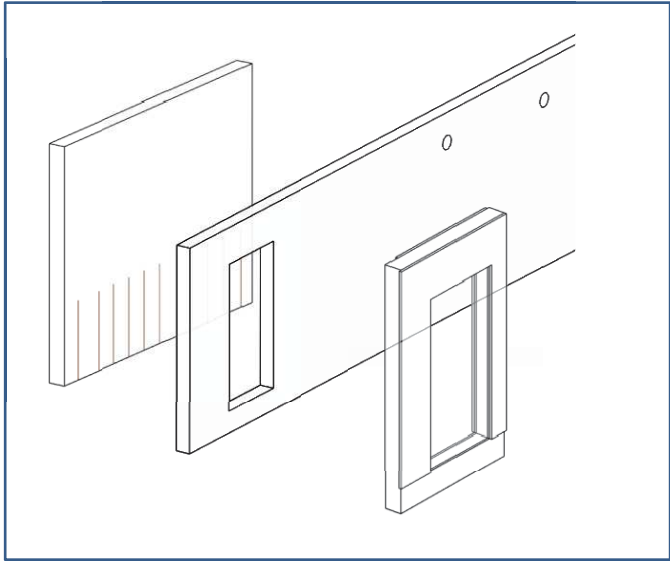
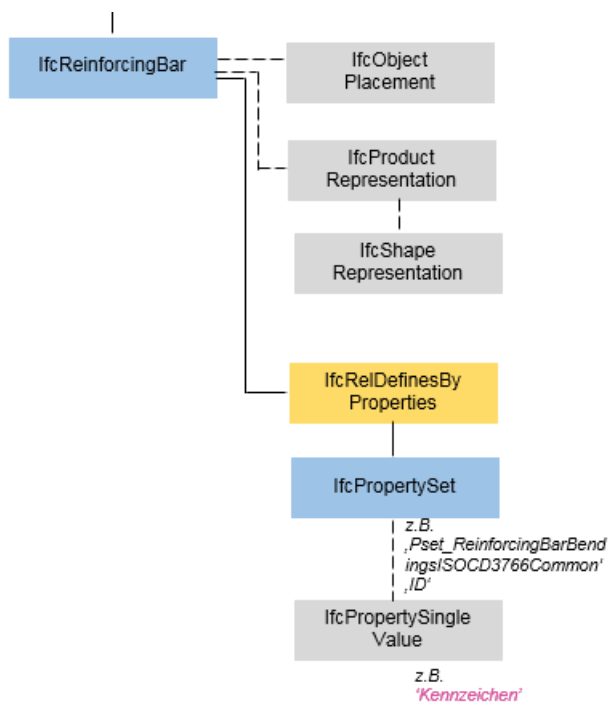
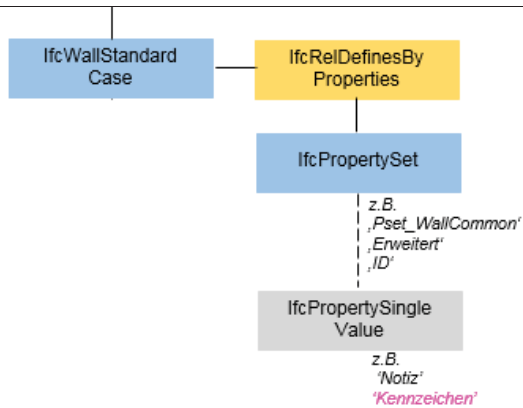


Tabelle 18 LOD350 - Stahlbetonwand IfcWall

LOD 350	
<p>Darstellung aller Durchbrüche</p> <p>Modellierung von Stürzen etc.</p> <p>Anschlussbewehrung, Bewehrung überlasteter Bereiche,..</p>	
<p>Darstellung kleiner Layer-schichten wie Putz, ...</p> <p>Exakte Mengen</p>	<p><i>Abbildung 36 LOD350 Stahlbetonwand</i></p>

- **Typisierung IfcReinforcingElement/Bar/Mesh, IfcTendon/TendonAnchor:** klassifiziert mit Mindestens Enthält die Klasse IFCREINFORCINGBAR/ELEMENT/MESH, IFCTENDON/TENDONANCHOR, welche über mithilfe des Attributs ‚Kennzeichen‘ mit IFCWALL verbunden ist





- **Durchbrüche:** klassifiziert mit Mindestens
Es können Öffnungen kleiner 76 cm, runde Öffnungen oder Schlitze enthalten sein (vgl. LOD200).
- **Bewehrungsgrad:** klassifiziert eindeutig
Die mit IFCWALL verbundene Menge an Elementen IFCREINFORCINGBAR liegt unter dem typischen Bewehrungsgehalt des Elements
Als Bewehrungsgehalt wurde hier angenommen(Wimmer 15.05.19):
- Wände 100-125 kg/m³

IF Bewehrungsgrad < 80: LOD 350
 IF Bewehrungsgrad >80 & < 100: mindestens LOD 350
 IF Bewehrungsgrad > 100: LOD 400

- **Wandschichten kleiner 3 cm:** Hinweisgebend
Es sind Wände enthalten, deren Dicke kleiner als 3 cm sind

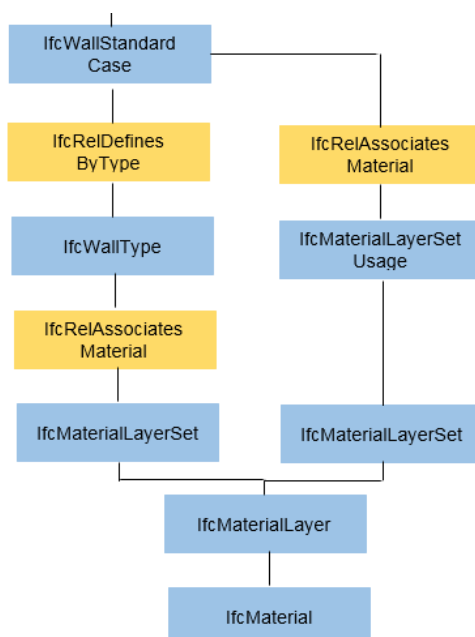
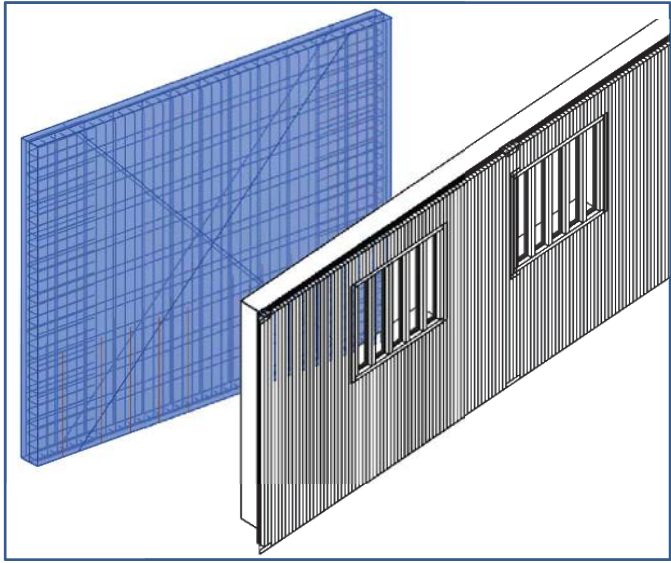
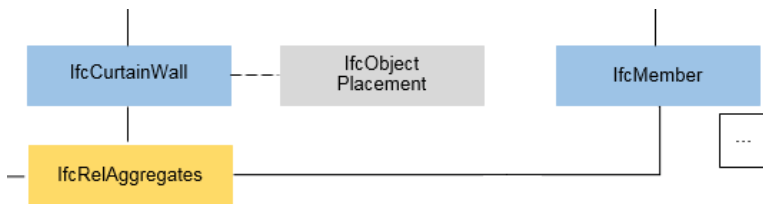


Tabelle 19 LOD400 - Stahlbetonwand IfcWall

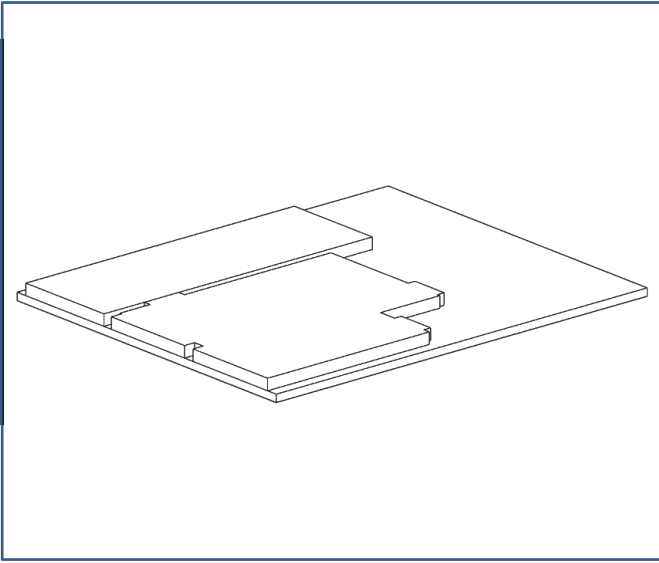
LOD 400	
<p>Volle Bewehrung der Tragwände</p> <p>Elementweise Darstellung von Fassaden</p>	
<p>Abbildung 37 LOD400 Stahlbetonwand</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Bewehrungsgrad: klassifiziert eindeutig Vgl. LOD350 - Herstellerangaben: klassifiziert eindeutig, aber nicht zwingend erforderlich Enthält IFCPROPERTY SINGLEVALUE ‚Manufacturer‘ des PROPERTYSET ‚Pset_ManufacturerTypeInfoInformation‘, welches über IFCRELDEFINESBYPROPERTY mit dem jeweiligen Element verbunden ist. - detaillierte Beschreibung der Fassadenelemente: klassifiziert eindeutig Enthält eine detaillierte Beschreibung einzelner Fassadenelemente, welche über IFCRELAGGREGATES mit ihren Bestandteilen verbunden sind. 	
	

5.3.6 Decken

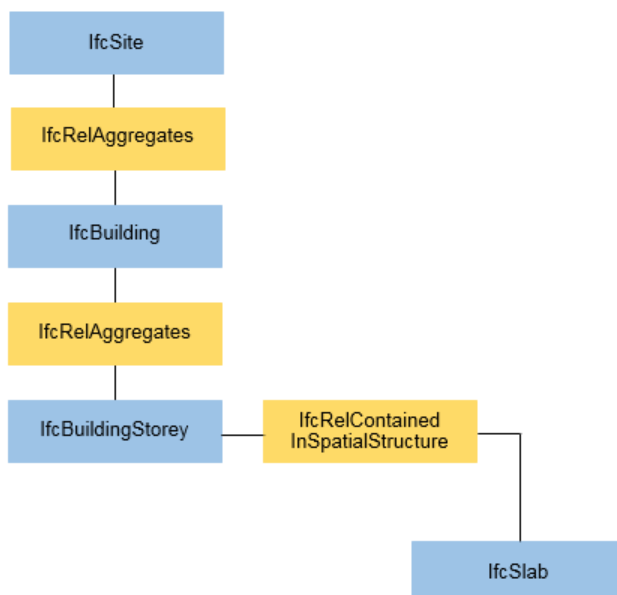
Die Objektfamilie Decken ähnelt den der Wände sehr, da sie ebenso in Revit als Systemfamilien abgespeichert sind und somit nicht als eigene ladbare Familie erstellt werden können (Autodesk GmbH 2018). Aus diesem Grund werden auch hier vorhandene Familien verwendet und angepasst. Es können jedoch auch hier keine Parameter zur

Definition der Veränderung der Parametrik erstellt und übergeben werden. Es wird unterteilt zwischen der tragenden Deckenstruktur und dem zugehörigen Fußbodenaufbau. Der Fußbodenaufbau kann von Raum zu Raum variieren, ist jedoch mit einer Decke verbunden. Somit werden die unterschiedlichen Baugruppen „Decke“ gegeneinander geprüft.

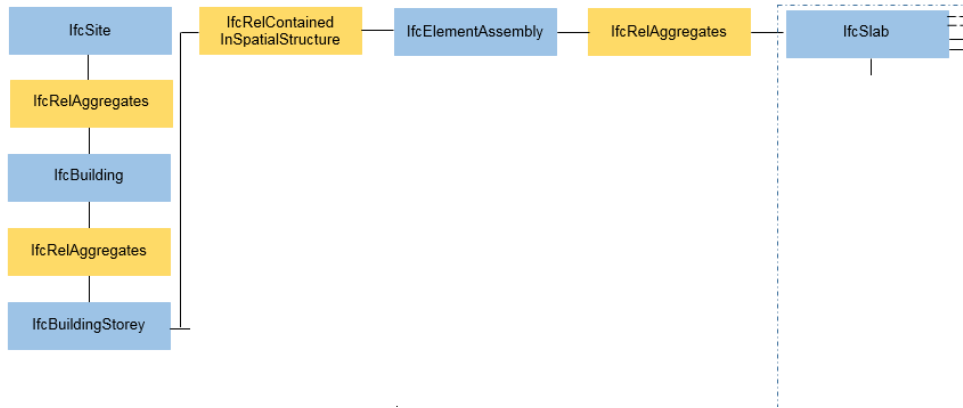
Tabelle 20 LOD200 – Stahlbetondecke IfcSlab

LOD 200	
<p>Allgemeine Deckenobjekte mit angenäherten Dicken</p> <p>Informationen zu Systemen (Fertigteil,...)</p> <p>Fußbodenbelag: allgemeine Materialien</p>	
<p>Fußbodenaufbau als eine Schicht</p>	
<p>Abbildung 38 LOD200 Stahlbetondecke mit Fußbodenbelag</p>	

- **Typisierung:** klassifiziert mit Mindestens Element IFCSLAB aus der Schematabelle *Shared Building Elements* aus Layer 3 ist vorhanden



- **Getrennte Darstellung Decke/FB:** klassifiziert mit Mindestens Enthält eine getrennte Darstellung von Fußbodenaufbau und Tragschicht, die Verbindung erfolgt über IFCRELAGGREGATES zu einer Baugruppe

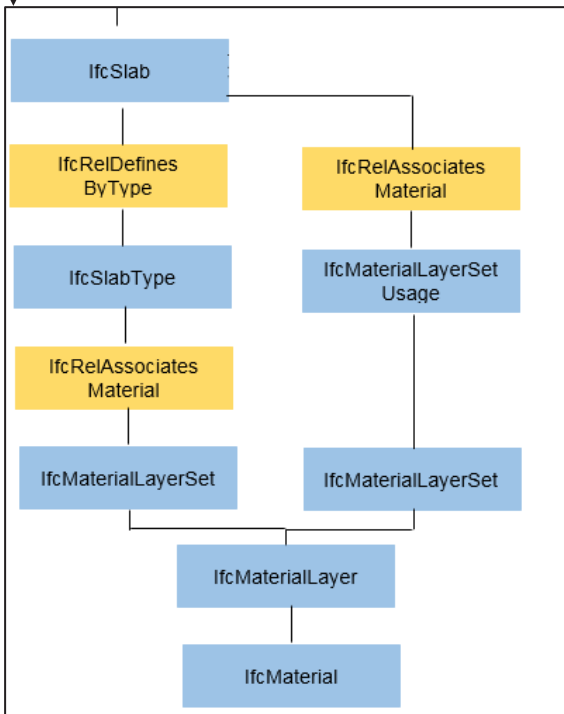


Materialangaben: klassifiziert mit Mindestens

Enthält IFCMATERIAL, welches über IFCMATERIALLAYERSET über IFCRELASSOCIATESMATERIAL mit IFCSLAB verbunden ist

eine Layerschicht: klassifiziert eindeutig

Enthält ein IFCMATERIALLAYER, welches über IFCMATERIALLAYERSET mit der IFCSLAB verbunden ist



- **Grafische Notizen:** klassifiziert eindeutig, ist aber nicht zwingend erforderlich
Enthält IFCPROPERTY SINGLEVALUE ‚Notiz‘ des PROPERTYSET ‚Erweitert‘, welches über IFCRELDEFINESBYPROPERTIES mit IFCSLAB verbunden ist

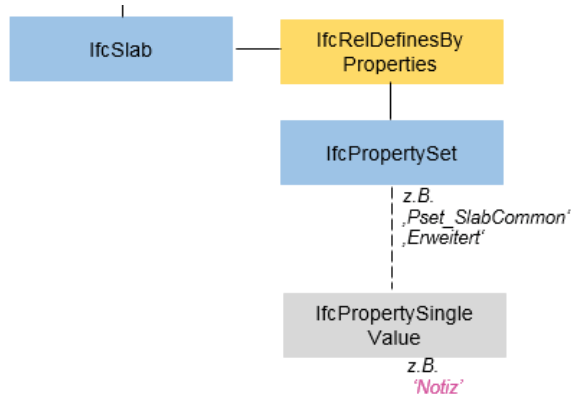


Tabelle 21 LOD300 – Stahlbetondecke IfcSlab

LOD 300

Genaue Abmessungen
Alle geneigten Flächen
Unterteilung Fußbodenaufbau
in Schichten mit spezifischer
Materialität

Fußbodenaufbau als mehrere
Layer

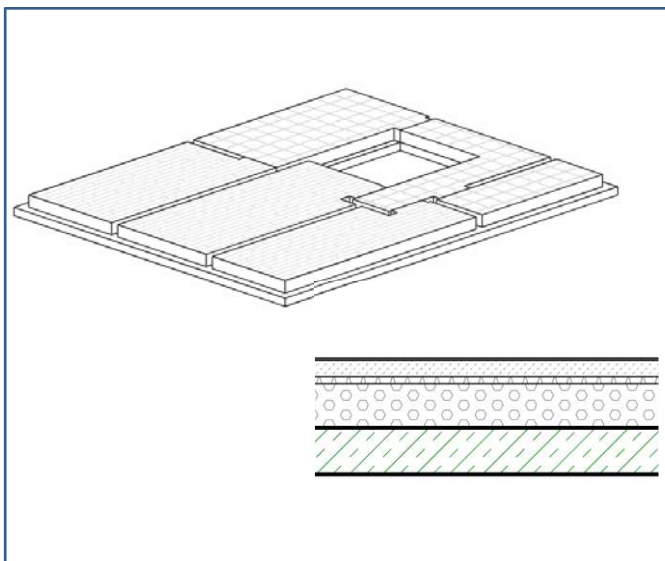


Abbildung 39 LOD300 Stahlbetondecke mit Fußbodenbelag

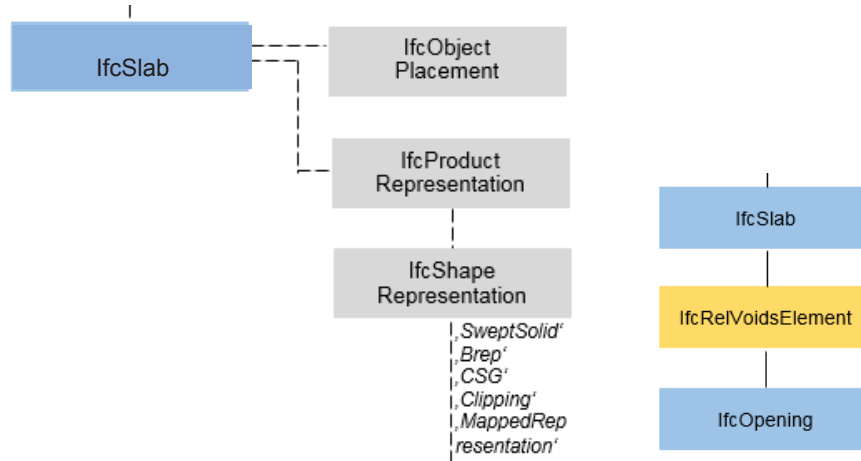
- **Detaillierte Oberflächenbeschreibung:** klassifiziert mit Mindestens, aber nicht zwingend erforderlich
Enthält mehrere Objekte, welche die Form des Elements beschreiben:
SweptSolid:
Aussparungen: Verbindung mit IFCOPENING über IFCRELVOIDSELEMENT
Profil: T-Träger: Beschreibung über mindestens 10 Punkte

Brep: Enthält mehr als 6 Außenflächen (Rechteck)

Enthält mehr als 12 Außenflächen (T-Profil)

MappedRepresentation

Clipping



- **Tragende Decke: eine Layerschicht:** klassifiziert mit Mindestens **Fußbodenaufbau (nicht tragend) kann mehrere Layerschichten enthalten**
Enthält eine/mehrere IFCMATERIALLAYER, welche über IFCMATERIAL-LAYERSET mit der IFCSLAB verbunden sind

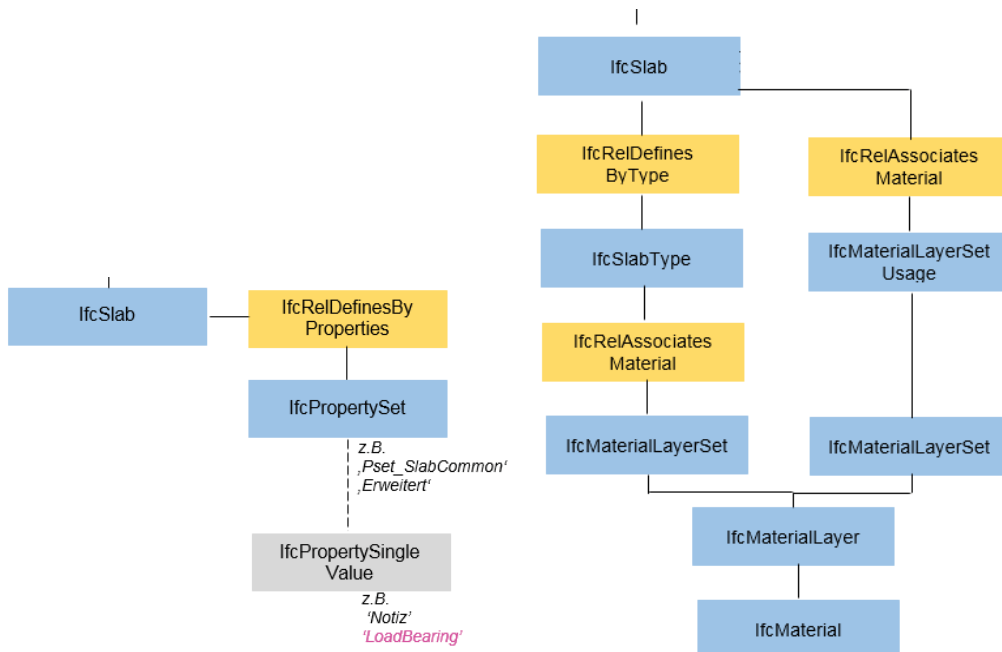


Tabelle 22 LOD350 - Stahlbetondecke IfcSlab

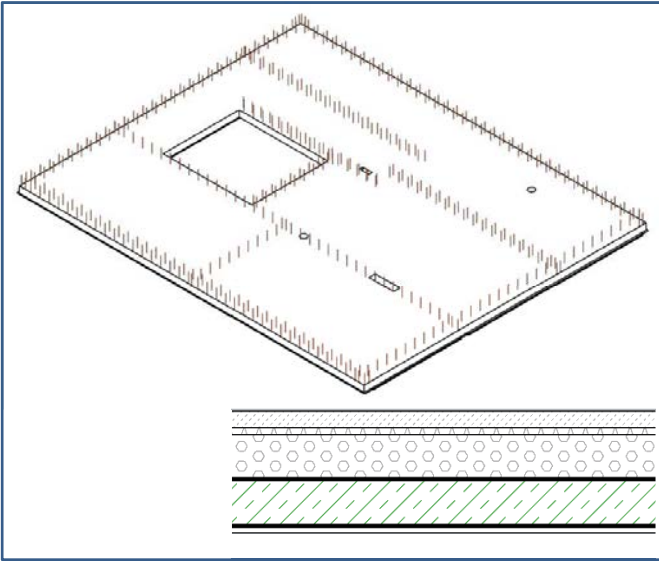
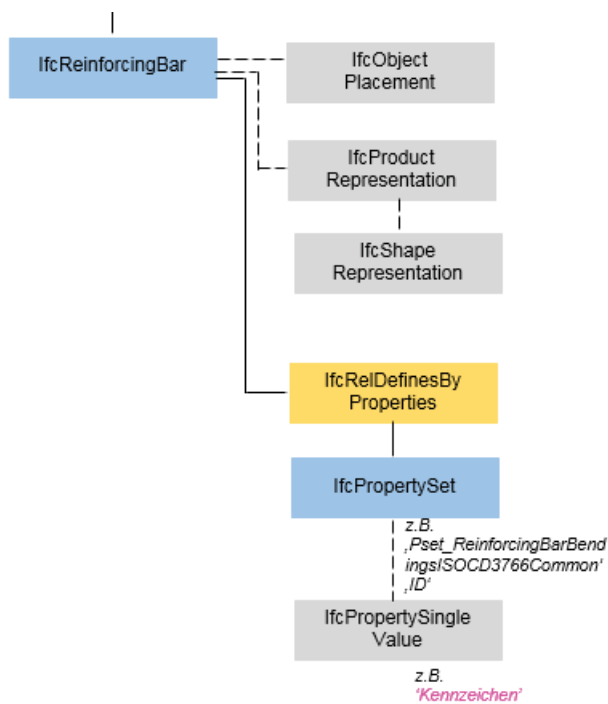
LOD 350	
Darstellung aller Durchbrüche Anschlussbewehrung, Bewehrung überlasteter Bereiche,..	
Darstellung kleiner Layer-schichten wie Putz, ... Exakte Mengen	

Abbildung 40 LOD350 Stahlbetondecke mit Fußbodenbelag

- Typisierung **IfcReinforcingElement/Bar/Mesh**, **IfcTendon/TendonAnchor**: klassifiziert mit Mindestens Enthält die Klasse **IFCREINFORCINGBAR/ELEMENT/MESH**, **IFCTENDON/TENDONANCHOR**, welche über mithilfe des Attributs ‚Kennzeichen‘ mit **IFCSLAB** verbunden ist.



- **Durchbrüche:** klassifiziert mit Mindestens
Öffnungen sind kleiner als z.B. Treppenhausmaße.
Annahme hier: < (1,5m x 2,0m)
- **Bewehrungsgrad:** klassifiziert eindeutig
Die mit IFCSLAB verbundene Menge an Elementen IFCREINFORCINGBAR
liegt unter dem typischen Bewehrungsgehalt des Elements
Als Bewehrungsgehalt wurde hier angenommen(Wimmer 15.05.19):
- Decken 120-140 kg/m³

IF Bewehrungsgrad < 100: LOD 350
IF Bewehrungsgrad >100 & < 120: mindestens LOD 350
IF Bewehrungsgrad > 120: LOD 400

- **Deckendicken kleiner 3 cm:** Hinweisgebend
Es sind Decken enthalten, deren Dicke kleiner als 3 cm sind

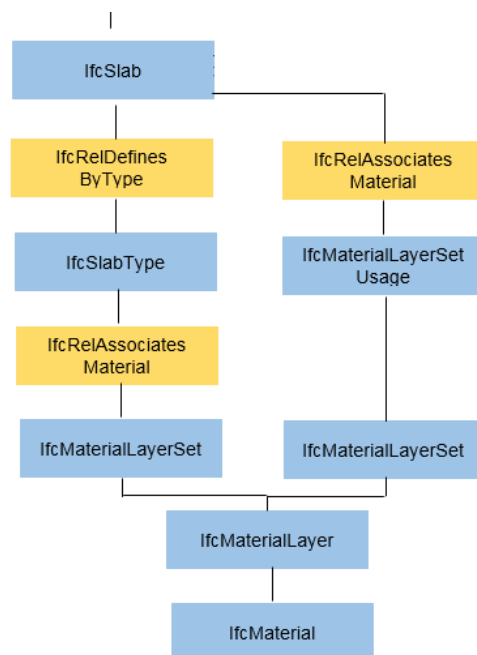
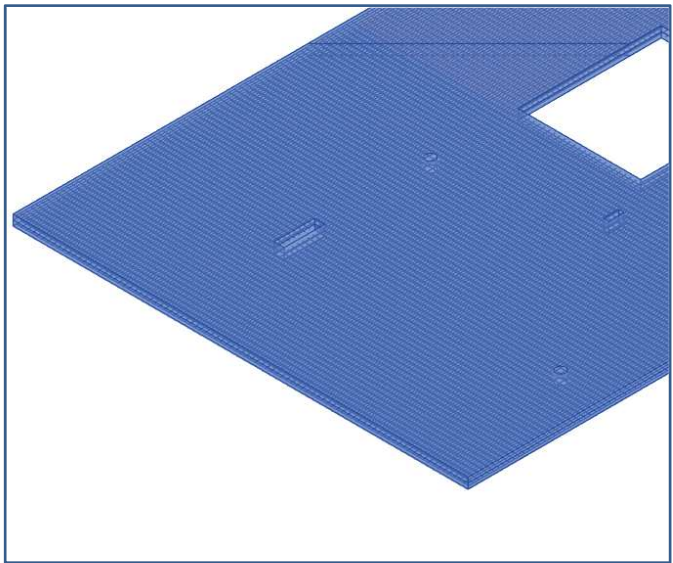


Tabelle 23 LOD400 - Stahlbetondecke IfcSlab

LOD 400	
<p>Volle Bewehrung der Deckenelemente</p>	
<p>Abbildung 41 LOD400 Stahlbetondecke mit Fußbodenbelag</p>	
<ul style="list-style-type: none">- Bewehrungsgrad: klassifiziert eindeutig Vgl. LOD350- Herstellerangaben: klassifiziert eindeutig, aber nicht zwingend erforderlich Enthält IFCPROPERTYSINGLEVALUE ‚Manufacturer‘ des PROPERTYSET ‚Pset_ManufacturerTypeInfoInformation‘, welches über IFCRELDEFINESBYP-ROPERTIES mit dem jeweiligen Element verbunden ist.	

Wie aus den vorangegangenen Regeldefinitionen ersichtlich wird, können die Prüfkriterien 1-5 aus Kapitel 5.1 direkt auf die einzelnen Bauteile angewandt werden und es ist möglich, einzelne Prüfregeleindeutigkeit zu definieren. Die Prüfebene 6 und 7 können hingegen nicht direkt auf einzelne Bauteile heruntergebrochen werden. Hierzu sind Erfahrungswerte notwendig, die einen Durchschnittswert zu den geforderten Mengenangaben aus mehreren Projekten bilden und mit deren Hilfe dann eine Zuordnung zu den entsprechenden Fertigstellungsgraden möglich wird. Diese Erfahrungswerte werden im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht. Da diese zusätzliche Differenzierung jedoch entscheidende Hinweise zu Fällen geben kann, bei denen eine eindeutige Zuordnung nicht erfolgen kann oder bei denen Bauteile vorhanden sind, die über die

Entwicklungsstufen hinweg eine gleichbleibende geometrische Detaillierung aufweisen, werden diese Punkte der Vollständigkeit halber aufgeführt. Die Prüfung von Modellinhalten erfolgt somit in vorliegender Arbeit auf den Prüfkriterien der Ebenen 1 bis 5. Ergebnisse, die sich aus den Mengen zu Beziehungen oder semantischen Inhalten ergeben, werden folglich nicht berücksichtigt.

5.3.7 Übersichtstabelle Prüfreden

In nachfolgender Abbildung werden die eben beschriebenen Regeln noch einmal übersichtlich dargestellt. Es ist zu erkennen, dass grundsätzlich zwischen Regeln unterschieden werden kann, die zwingend in einem bestimmten Fertigstellungsgrad vorliegen sollen, um ein Bauteil in diesem zu identifizieren, und solchen, die eventuell im Modell enthalten sein können. Weiterhin kann zwischen allgemein gültigen Regeln und bauteilbezogenen Festlegungen unterschieden werden. Hier wurden zum Beispiel einzelne Bauteile mit unterschiedlicher Materialität ergänzt.

Die allgemeingültigen Regeln sind für sämtliche weitere Bauteile anwendbar und identifizieren diese eindeutig in ihren Entwicklungsstufen. Die bauteilbezogenen Festlegungen sind wiederum abhängig von der Art des Bauteils, also wie hier von linienbasierten Elementen oder von ebenen-basierten Bauteilen mit Schichtaufbauten. Innerhalb einer Baugruppe ähneln sich die spezifischen Definitionen und können beliebig auf weitere Elemente dieses Typs angewandt werden. Es also möglich, anhand dieser Tabelle auch weitere Bauteile in ihren Fertigstellungsgraden eindeutig zu identifizieren. Es ist an dieser Stelle erneut zu nennen, dass lediglich Regeln getroffen wurden, die die Bauteile in ihrer allgemeinen Form beschreiben. Ob diese dann auf spezifische Details anwendbar sind, ist separat zu überprüfen.

Allgemeingültig		Bauteilbezogen							
LOD	zwingende Regel	evtl. Regel	Unterzug_STB	Unterzug_Stahl	Stütze_STB	Stütze_Stahl	Wand_STB	Wand_MW	Decke_STB
200	Typisierung								
		Materialangaben							
			Parametrik L	keine Parametrik	keine Parametrik	mehrere Layer	mehrere Layer		Trennung Decker/FB eine Layerschicht
		grafische Notizen	Profilform	Profilart	Profilform	Profilart			
		keine grafische Notiz					Hauptöffnungen	Hauptöffnungen	
300		keine grafische Notiz	Parametrik L/B/H	Parametrik L/B/H	Parametrik B/T	Parametrik B/T			
		Formbeschreibung			Konsolen				
							Layerschicht	Layerschicht	Layerschicht
							Parametrik Öffnung	Parametrik Öffnung	
							Typisierung	Typisierung	
350	Typisierung		ifcReinforcing	ifcPlate	ifcReinforcing	ifcPlate	ifcReinforcing	ifcReinforcing	ifcReinforcing
			Bewehrungsgrad		Bewehrungsgrad		Bewehrungsgrad	Bewehrungsgrad	Bewehrungsgrad
		Durchbruch						Stürze,...	alle Schichten
			Bewehrungsgrad	Schrauben,...	Bewehrungsgrad	Schrauben,...	Bewehrungsgrad	Bewehrungsgrad	Bewehrungsgrad
		Herstellerangaben					Fassadendetails	Fassadendetails	
500	Attribut 'field verified'								

Legende
implementierungsspezifisch
modellierungsspezifisch
allgemein gültig

Abbildung 42 Übersichtstabelle Prüfregeln

5.4 Modellierungsergebnisse

Wie in Kapitel 5.2 beschrieben, wurden für die unterschiedlichen Entwicklungsstufen Modelle erstellt, die den Festlegungen aus Kapitel 5.3 folgen. Die Ergebnisse daraus sollen nun im vorliegenden Kapitel aufgeführt werden. Hierzu wurden die unterschiedlichen Modelle visualisiert, um die Entwicklung der Elemente direkt am Modell zu zeigen. Zum anderen wurden Pläne mit Grundrissen und Schnitten erstellt, um den Vergleich zu herkömmlichen Planungsweisen zu ermöglichen und somit die Anwendbarkeit der *LOD* - Definitionen anstatt des Maßstabswerkzeugs zu beweisen. Es ist anzumerken, dass hier lediglich Ausschnitte gezeigt werden. Die maßstabsgetreuen Ausführungen sind dem digitalen Anhang zu entnehmen (Anhang B).

Bei der visualisierten Darstellung der Modelle ist zu beachten, dass hier lediglich die Entwicklungsstufen LOD200 bis LOD400 dreidimensional dargestellt werden. Dies liegt darin begründet, dass - wie bereits erläutert - im Fertigstellungsgrad LOD100 nur Räume und keine spezifischen Bauteile vorliegen, die visualisiert werden könnten. In einem LOD500 Modell, in welchem lediglich ein Attribut an die jeweiligen Bauteile ergänzt wurde, kann folglich kein geometrischer Unterschied zu seinem zugrunde liegenden Modell festgestellt werden, weswegen die Darstellung hier ebenso nicht explizit aufgeführt wird.



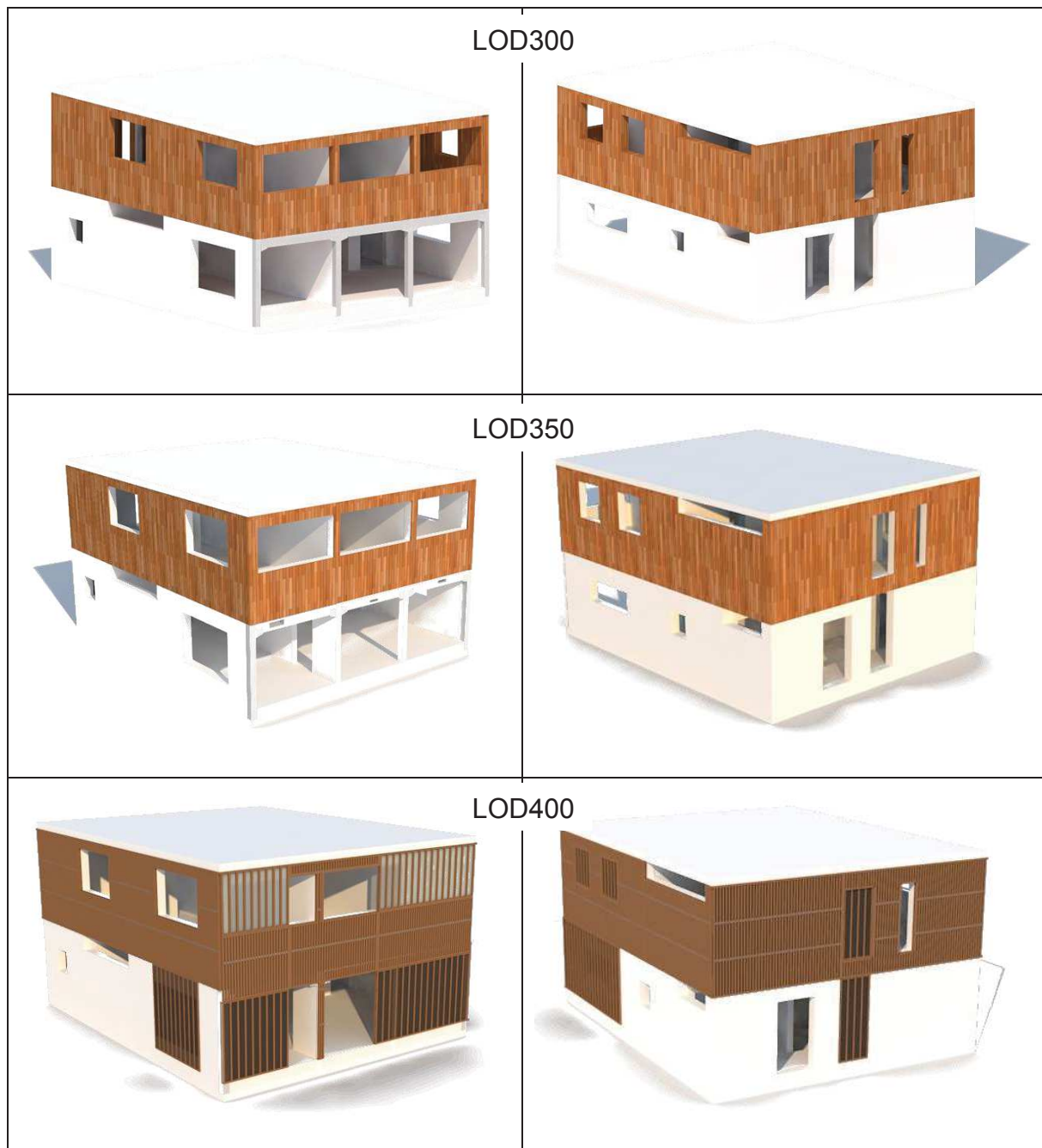


Abbildung 43 visuelle Darstellung der Fertigstellungsgrade

Wie aus obiger Abbildung zu erkennen ist, lassen sich die unterschiedlichen Modelle eindeutig ihren Entwicklungsstufen zuordnen. Ebenso wird rein bildlich klar, wie weit das vorliegende Modell durchdacht ist und inwiefern seine Informationen verlässlich übernommen werden können. Die Modelle folgen also den unterschiedlichen Planungsphasen und visualisieren diesen Weg. Ob sich dies nun auch in der zweidimensionalen Darstellung in Grundrissen und Schnitten widerspiegelt, soll nachfolgend untersucht werden.

Erdgeschoss, M1:200



3	Treppenhaus	7,28 m ²
4	Flur	13,87 m ²
5	Speis	6,55 m ²
6	Kochen/Essen	33,06 m ²
7	Wohnen	24,62 m ²
8	WC	9,12 m ²
18	Konstruktion	4,50 m ²

Abbildung 44 Planausschnitt LOD100, Vorentwurfsplanung V-01, nicht maßstabsgetreu

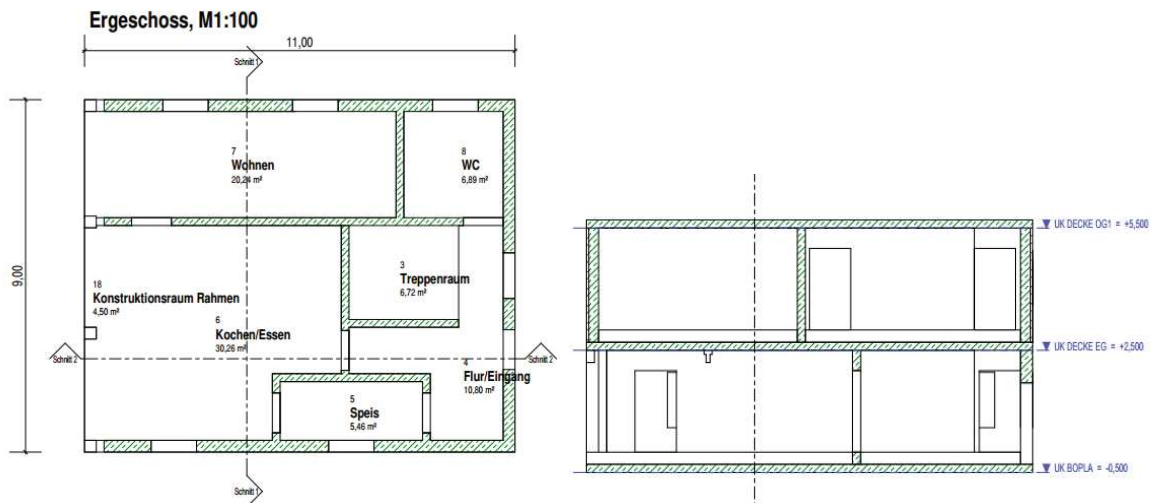


Abbildung 45 Planausschnitt LOD200, Entwurfsplanung E-01, nicht maßstabsgetreu

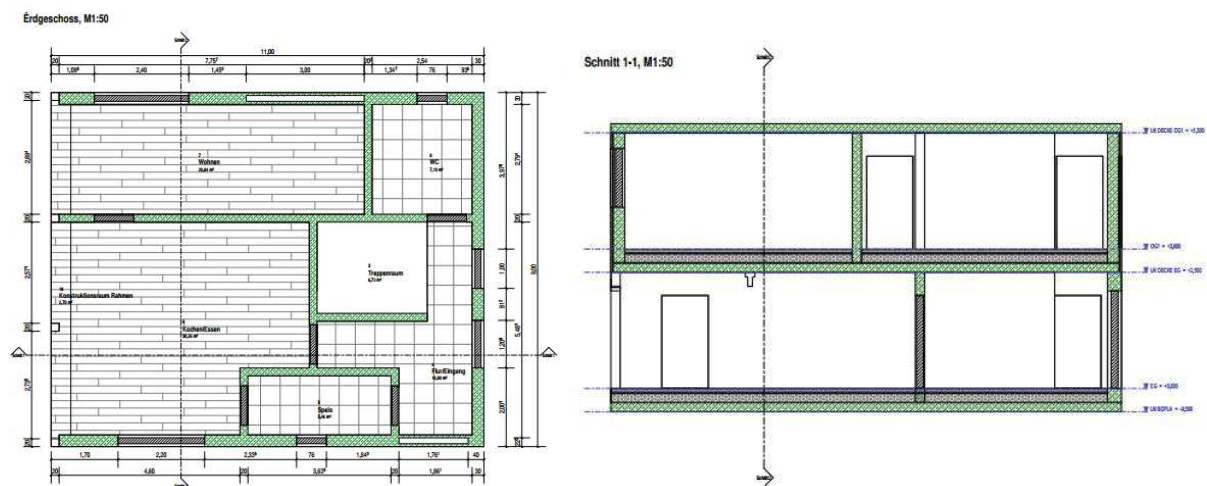


Abbildung 46 Planausschnitt LOD300, Ausführungsplanung AP-01, nicht maßstabsgetreu

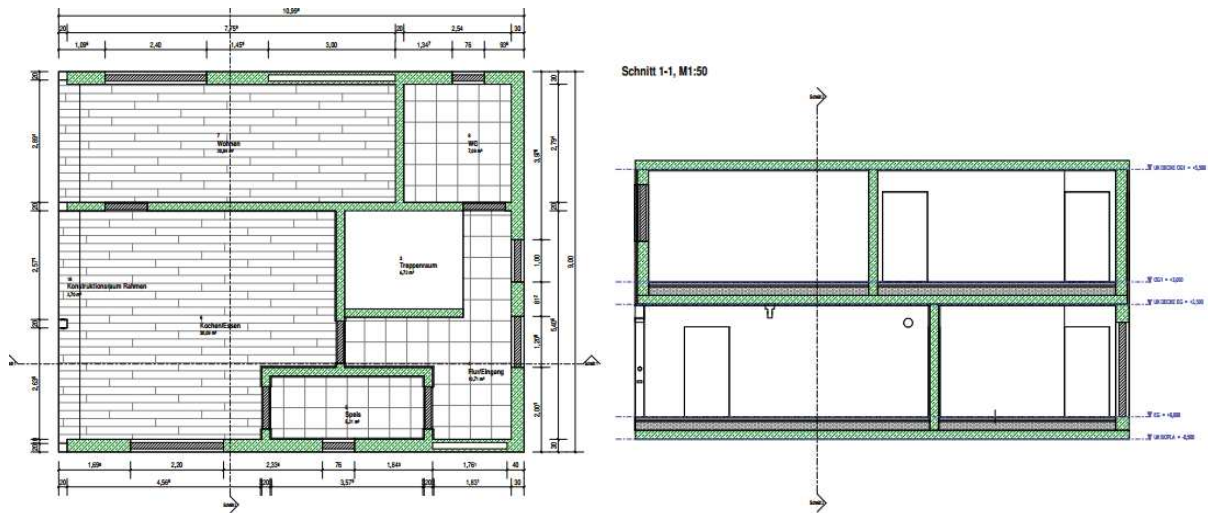


Abbildung 47 Planausschnitt LOD350, Ausführungsplanung AP-01, nicht maßstabsgetreu

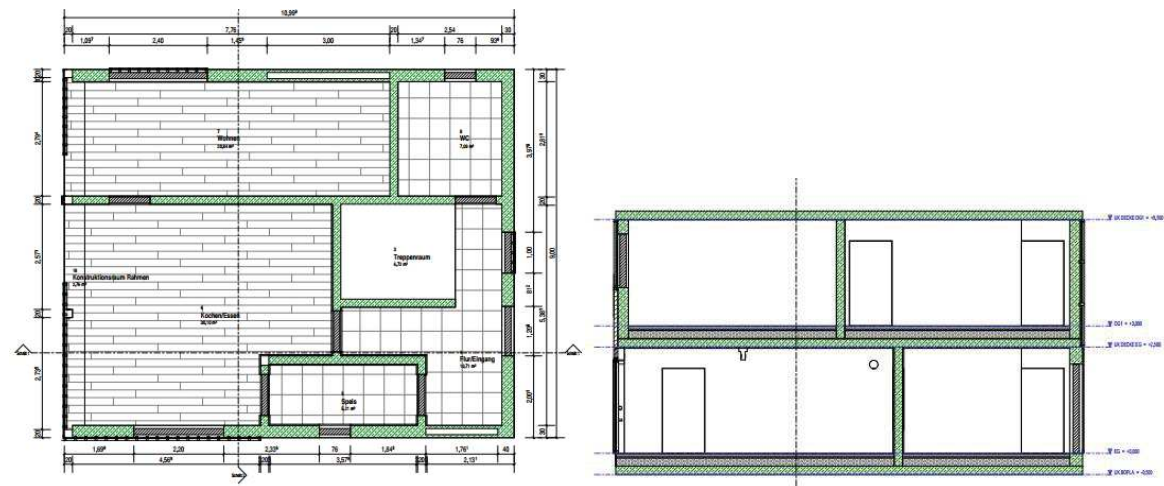


Abbildung 48 Planausschnitt LOD400, Werkplanung WP-01, nicht maßstabsgetreu

Wie bereits in der dreidimensionalen Abbildung ersichtlich wird, lässt sich auch in der zweidimensionalen Darstellung die Entwicklung der einzelnen Bauteile eindeutig erkennen. Vergleicht man diese Planausschnitte nun mit den Darstellungen der herkömmlichen Planungsweise in den jeweils zugeordneten Leistungsphasen (Kapitel 3.2.2), so lassen sich auch hier eindeutige Parallelen ziehen. Wie sich aus dem direkten Vergleich ergibt, können die zuvor beschriebenen Merkmale der unterschiedlichen Maßstäbe auch in der Darstellung mithilfe der *LOD* – Spezifikationen wiedergefunden werden. Somit lässt sich also das Maßstabs-Werkzeug der herkömmlichen Planung in die neuartige Arbeitsweise mittels der *LOD* – Definitionen integrieren.

6 Anwendung in XBIM

Nachdem nun die Bauteile in ihren Fertigstellungsgraden vormodelliert wurden und spezifische Regeldefinitionen, abgebildet auf die *IFC* - Datenstruktur getroffen wurden, soll nun eine automatisierte Überprüfung der unterschiedlichen Fertigstellungsgrade der Bauteile erfolgen. Die Prüfung selbst erfolgt anhand des exportierten *SPF* - Dokuments.

Mithilfe des *xBIM Toolkits* (abgekürzt für *eXtensible Building Information Modeling*) lassen sich die oben genannten Prüfregeln in die Praxis umsetzen. Das Werkzeug ist frei verfügbar und stellt Funktionen zur Verfügung, die es erlauben, mit dem buildingSMART Datenmodell *IFC* zu arbeiten. Es ermöglicht .NET-Entwicklern, *BIM* - Modelle im *IFC* - Format zu lesen, zu modifizieren oder sogar zu erstellen. Indem eigene Softwareapplikationen implementiert werden, kann die Funktionalität der übergebenen Daten verändert werden (*xBIM*).

Die Implementierung erfolgt in der Umgebung von Visual Studio in der Programmiersprache C#. Für die vorliegende Arbeit werden lediglich Abfragefunktionen aus dem Paket „*xBIM.Essentials*“ benötigt (*xBIM*). Diese sind explizit auf die *IFC* - Strukturen abgestimmt. In einer Konsolenanwendung werden die Regeln aus Kapitel 5.3 implementiert. Anschließend können verschiedene Dateien automatisiert geprüft werden.

Der Prüfzyklus folgt hierbei dem Schema aus Abbildung 49. So wird also das Gesamtdokument durchsucht, bis die beabsichtigte Bauelementgruppe wie *IfcBeam* oder *IfcWall* gefunden ist. Die Entitäten werden über die Bauelementinstanz und über die Verweisstruktur, bzw. Beziehungsklassen erreicht. Anschließend wird jedes einzelne Element dieses Typs nach den im Kapitel zuvor aufgeführten Prüfkriterien getestet. Hier gibt es Kriterien, die ein Objekt eindeutig zu einem Fertigstellungsgrad zuordnen, und Kriterien, die es zum Beispiel mit einem Mindest-*LOD* klassifizieren. So gibt es zum Beispiel Regeln, die nur eine Zuweisung zu einem bestimmten *LOD* zulassen. Ein Beispiel wären hier semantische, die Geometrie beschreibende Informationen. Ein Träger kann sehr detailliert gezeichnet sein (mit Aussparungen, Bewehrung, exakten Abmessungen, etc.). Ist dem Bauteil jedoch eine semantische Information angefügt, die zum Beispiel die geometrischen Abmessungen in freier Textform beschreiben, so ist das Bauteil immer dem *LOD200* zuzuweisen, da nachfolgende Bearbeiter nicht aus

dem Modell lesen können, ob nun die angefügten oder abgebildeten Informationen verlässlich sind. Anders ist es zum Beispiel mit der Zuweisung der Materialität. Sie ist ein eindeutiges Indiz, dass mindestens ein LOD200 erreicht wurde, hat jedoch keine Auswirkungen auf die geometrische Genauigkeit von Bauteilen. So kann ein Träger mit Aussparungen einen LOD300 erreichen, obwohl keine Materialität angegeben ist. Ist kein „Knock“-Out-Kriterium vorhanden, werden die Ergebnisse der einzelnen Prüfregeln miteinander verglichen, der höchste Fertigstellungsgrad wird dem einzelnen Bauteil zugewiesen. Ist das Bauelement Teil einer Baugruppe, so werden alle Elemente der Gruppe geprüft und erhalten anschließend einen gemeinsamen Fertigstellungsgrad. Anschließend werden die Instanzen eines Bauteiltyps miteinander verglichen. Sind unterschiedliche *LODs* vorhanden, so kann kein ganzheitlicher Fertigstellungsgrad für eine Bauelementgruppe gefunden werden.

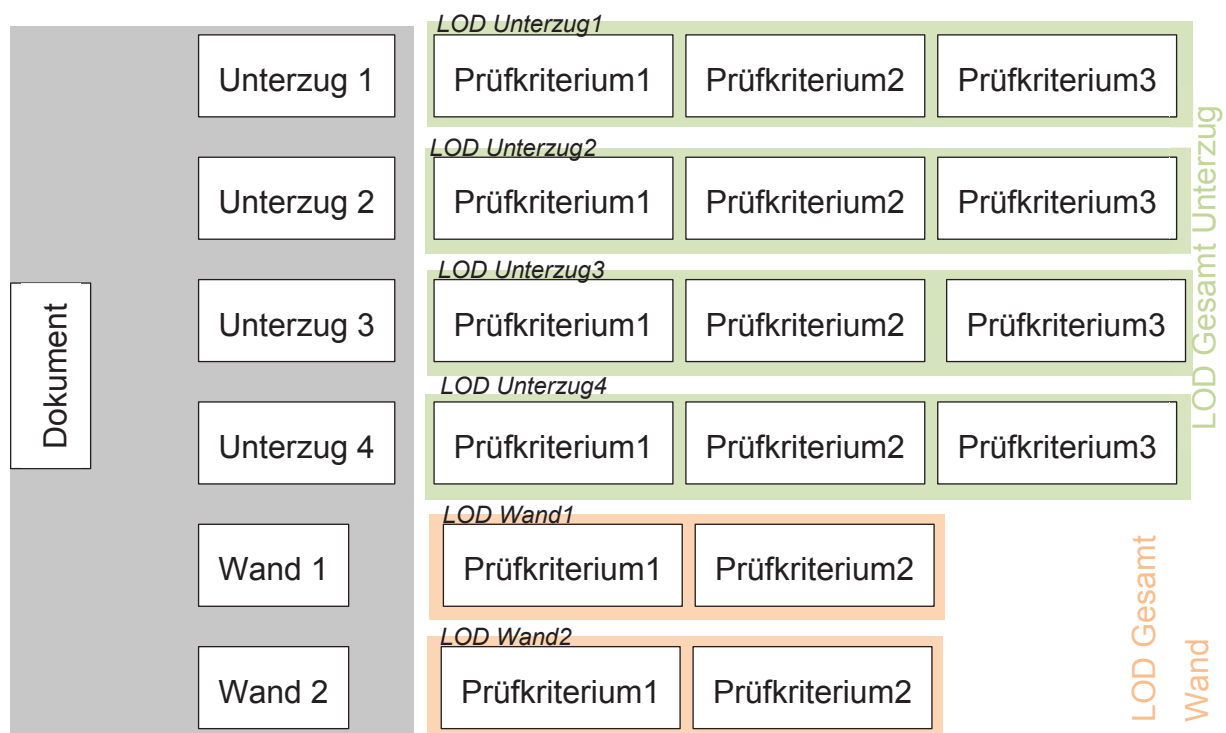


Abbildung 49 Prüfzyklus einer IFC-Datei

Nachfolgende Abbildungen zeigen Ausschnitte aus dem generierten Code, um bestimmte Themengebiete zu verdeutlichen. Der gesamte Code ist dem digitalen Anhang zu entnehmen.

```
//-----Element-Assembly-----
int is_in_assembly(IIfcObject element)
{
    var assemblies = model.Instances.OfType<IfcElementAssembly>();
    foreach (var assembly in assemblies)
    {
        var trei = assembly.IsDecomposedBy.ToList();
        var first = trei.First().RelatedObjects.ToList();
        for (int i = 0; i < first.Count; i++)
        {
            if (first[i].EntityLabel == element.EntityLabel) Result = 1;
        }
    }
    var Result1 = Result;
    Result = 0;
    return Result1;
}
```

Abbildung 50 Beispielcode: Funktion zur Bestimmung einer Gruppierung des Elements

```
string text = "";
if (control == 0)
{
    maxValue_c = Arr_Column.Max();
    if (maxValue_c == 1) { Console.WriteLine("LOD200"); text = "LOD200"; }
    else if (maxValue_c == 2) { Console.WriteLine("LOD300"); text = "LOD300"; }
    else if (maxValue_c == 3) { Console.WriteLine("LOD350"); text = "LOD350"; }
    else if (maxValue_c == 4) { Console.WriteLine("LOD400"); text = "LOD400"; }
    else if (maxValue_c == 5) { Console.WriteLine("LOD500"); text = "LOD500"; }
    else { Console.WriteLine("Error"); }
}

else if (control == 1)
{ text = "LOD200"; control = 0; maxValue_c = 1; }
else if (control == 2)
{ text = "LOD300"; control = 0; maxValue_c = 2; }
else if (control == 3)
{ text = "LOD350"; control = 0; maxValue_c = 3; }
else if (control == 4)
{ text = "LOD400"; control = 0; maxValue_c = 4; }
else if (control == 5)
{ text = "LOD500"; control = 0; maxValue_c = 5; }
return maxValue_c;
```

Abbildung 51 Beispielcode: Ermittlung Fertigstellungsgrad eines Bauteils

```
-----
Stütze:Stütze_300:Stütze_300:2402477
Alle Abmessungen sind parametrisiert. Mindestens LOD 300.
Das Attribut Profilform ist angeheftet. Mindestens LOD200.
Diese Stütze hat keine grafischen Notizen.
Das Element hat keine Aussparungen. Mindestens LOD 200.
Die Stütze ist aus mehreren Teilen zusammengesetzt. Mindestens LOD300.
Das Element ist unbewehrt.
LOD300
-----
Stütze:Konsole:Konsole:2403640
Angabe Materialität fehlt.
Alle Abmessungen sind parametrisiert. Mindestens LOD 300.
Das Attribut Profilform ist angeheftet. Mindestens LOD200.
Diese Stütze hat keine grafischen Notizen.
Das Element hat Aussparungen. Mindestens LOD 300.
Die Stütze ist aus mehreren Teilen zusammengesetzt. Mindestens LOD300.
Das Element ist unbewehrt.
LOD300
-----
Stütze:Konsole:Konsole:2403684
Angabe Materialität fehlt.
Alle Abmessungen sind parametrisiert. Mindestens LOD 300.
Das Attribut Profilform ist angeheftet. Mindestens LOD200.
Diese Stütze hat keine grafischen Notizen.
Das Element hat Aussparungen. Mindestens LOD 300.
Die Stütze ist aus mehreren Teilen zusammengesetzt. Mindestens LOD300.
Das Element ist unbewehrt.
LOD300
-----
LOD gesamt zusammengesetzter Stütze:2
-----
```

Abbildung 52 Konsolenausgabe einer geprüften Elementgruppe


```

-----
Stütze:Stütze_300:Stütze_300:2402789
508
Alle Abmessungen sind parametrisiert. Mindestens LOD 300.
Das Attribut Profilform ist angeheftet. Mindestens LOD200.
Diese Stütze hat keine grafischen Notizen.
Das Element hat keine Aussparungen. Mindestens LOD 200.
Das Bauteil hat Durchbrüche. Mindestens LOD 350.
Das Element ist unbewehrt.
LOD350
-----
Stütze:Konsole:Konsole:2403640_checked

Die Stütze wurde bereits geprüft.
-----

```

Abbildung 53 Konsolenausgabe einer bereits geprüften Stütze aus einer Elementgruppe

```

-----
Gesamtermittlung LOD Träger. Anzahl der Träger: 6
Es sind verschiedene LODs vorhanden!
Anzahl der Träger LOD 200:3
Anzahl der Träger LOD 300:0
Anzahl der Träger LOD 350:0
Anzahl der Träger LOD 400:3
Anzahl der Träger LOD 500:0
-----
Gesamtermittlung LOD Stützen. Anzahl der Stützen: 8
Es sind verschiedene LODs vorhanden!
Anzahl der Stützen LOD 200:5
Anzahl der Stützen LOD 300:2
Anzahl der Stützen LOD 350:1
Anzahl der Stützen LOD 400:0
Anzahl der Stützen LOD 500:0
-----
Gesamtermittlung LOD Wände. Anzahl der Wände: 6
Es sind verschiedene LODs vorhanden!
Anzahl der Wände LOD 200:5
Anzahl der Wände LOD 300:0
Anzahl der Wände LOD 350:0
Anzahl der Wände LOD 400:1
Anzahl der Wände LOD 500:0
-----
Gesamtermittlung LOD Decken. Anzahl der Decken: 4
Es sind verschiedene LODs vorhanden!
Anzahl der Decken LOD 200:3
Anzahl der Decken LOD 300:1
Anzahl der Decken LOD 350:0
Anzahl der Decken LOD 400:0
Anzahl der Decken LOD 500:0
-----

```

Abbildung 54 Konsolenausgabe zur Zusammenfassung des Endergebnisses

Es ist zu erwarten, dass einer Bauelementgruppe wie zum Beispiel Wänden oder Stützen nicht eindeutig ein allumfassender Fertigstellungsgrad zugewiesen werden kann. Dies liegt darin begründet, dass immer wieder einzelne Bauteile vorliegen werden, die sich über die Planungsphasen kaum verändern. So können zum Beispiel einschichtige Wände ohne Öffnungen, Anschlussbewehrung oder sonstigen Einbauteilen einem LOD200 entsprechen, obwohl die restlichen Wände bereits einen LOD350 vorweisen. In diesen Fällen gilt dann manuell zu prüfen, ob hier ein Fehler unterlaufen ist und die Wand mehr Details zeigen sollte, oder ob die Darstellung korrekt ist und lediglich die Beschaffenheit des Bauteils dieser Zuordnung geschuldet ist. Es kann also im Nachgang überprüft werden, ob die Bauteile dem vereinbarten Fertigstellungsgrad entsprechen bzw. aufgrund ihrer Beschaffenheit legitim einen anderen *LOD* vorweisen, oder ob gewisse Bauteile noch angepasst werden müssen.

Diese Prüfung gestaltet sich in der Umgebung der Konsolenanwendung äußerst aufwendig und langwierig, da zuerst das entsprechende Bauteil aus der Ausgabe in der Konsole manuell gesucht werden muss, um anschließend den zugeordneten Fertigstellungsgrad mit der entsprechenden Wand im 3D-Modell zu vergleichen. Dieser Vorgang kann intuitiver gestaltet werden, indem der entsprechende *LOD* des Bauteils direkt im 3D-Modell angezeigt wird. Hierzu wird im Prüfungstool eine Anwendung implementiert, welche den entsprechenden Fertigstellungsgrad als Attribut an das jeweilige Bauelement anheftet. Wird das neu erstellte Dokument anschließend in Prüfwerkzeugen wie Solibri eingelesen, können die entsprechenden Fertigstellungsgrade der Bauteile direkt im Gebäudemodell angezeigt werden.

```
var maxi = Arr_Assembly.Max();
Console.WriteLine("-----");
Console.WriteLine($"LOD gesamt zusammengesetzter Stütze:{maxi}");
for (int i = 0; i < Arr_LOD.Count(); i++)
{
    var text = "";
    if (maxi == 1) text = "LOD200";
    else if (maxi == 2) text = "LOD300";
    else if (maxi == 3) text = "LOD350";
    else if (maxi == 4) text = "LOD400";
    else if (maxi == 5) text = "LOD500";
    var column_add = model.Instances.FirstOrDefault<IfcColumn>(d => d.EntityLabel == Arr_LOD[i]);
    using (var txn = model.BeginTransaction("Columns modification"))
    {
        var pSetRel = model.Instances.New<IfcRelDefinesByProperties>(r =>
        {
            // r.GlobalId = Guid.NewGuid();
            r.RelatingPropertyDefinition = model.Instances.New<IfcPropertySet>(pSet =>
            {
                pSet.Name = "checking";
                pSet.HasProperties.Add(model.Instances.New<IfcPropertySingleValue>(g =>
                {
                    g.Name = "LOD";
                    g.NominalValue = new IfcLabel(text);
                }));
                pSet.HasProperties.Add(model.Instances.New<IfcPropertySingleValue>(g =>
                {
                    g.Name = "is_correct";
                    g.NominalValue = new IfcBoolean(true);
                }));
            });
        });
    }
};
```

Abbildung 55 Ausschnitt aus dem Code zum Anfügen von Attributen

Diese Visualisierung kann in Solibri zum Beispiel mithilfe der Klassifikation verwirklicht werden. Anhand bestimmter Werte werden benutzerspezifische Regelsets erstellt, die eine automatisierte Filterung der jeweiligen Bauteile ermöglichen. So können zum Beispiel Wände aufgrund ihres Attributs „Feuerwiderstand XY“ als Brandwände klassifiziert werden. Durch die Filterung des Klassifikationsmanagers werden dann anschließend die festgelegten Klassifikationen einer bestimmten Farbe zugeordnet. Es können so auf einen Blick die entsprechenden Klassifikationsgruppen gefunden werden, sie können jedoch auch separat angezeigt werden (Graphisoft 2019).

Es ist also zum Beispiel möglich, nur diese Wände in einer bestimmten Farbe anzuzeigen, die die Kriterien für eine Brandwand erfüllen. Die Erstellung einer bestimmten Klassifikation ist in nachfolgenden Abbildungen abgebildet.

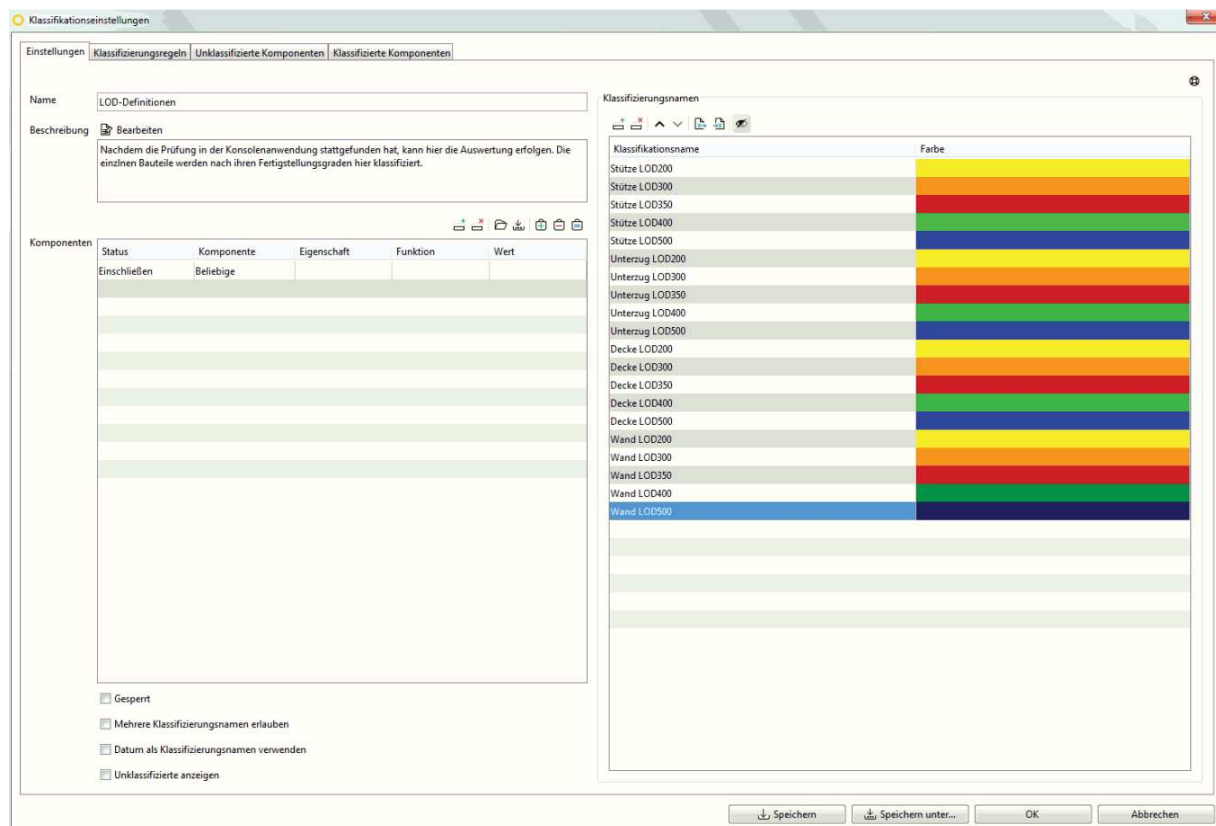


Abbildung 56 Erstellung von Klassifikationen und einheitliche Zuordnung eines Farbschemas in Solibri

Wie aus dieser Abbildung ersichtlich wird, wurde in vorliegendem Beispiel ein Klassifikationsschema erstellt, mit dessen Hilfe die einzelnen Bauelementgruppen anhand ihres Entwicklungsgrades unterschieden werden sollen (vgl. Anhang B). Hierzu wurde ein einheitliches Farbschema definiert, das die unterschiedlichen Fertigstellungsgrade repräsentiert. Somit werden Bauelemente im LOD200 immer gelb dargestellt, der LOD350 erhält die Farbe Rot. Mit diesem Farbschema ist es anschließend möglich, die unterschiedlichen Fertigstellungsgrade auf einen Blick zu erkennen. Wie Abbildung 57 zeigt, werden die Klassifikationskomponenten aufgrund ihrer Attribute „LOD“ aus dem Propertyset „checking“ definiert. Diese Eigenschaften wurden - wie bereits beschrieben - mit dem Durchlauf des Checkingtools an das jeweilige Element geheftet und spiegeln das Prüfergebnis wider.

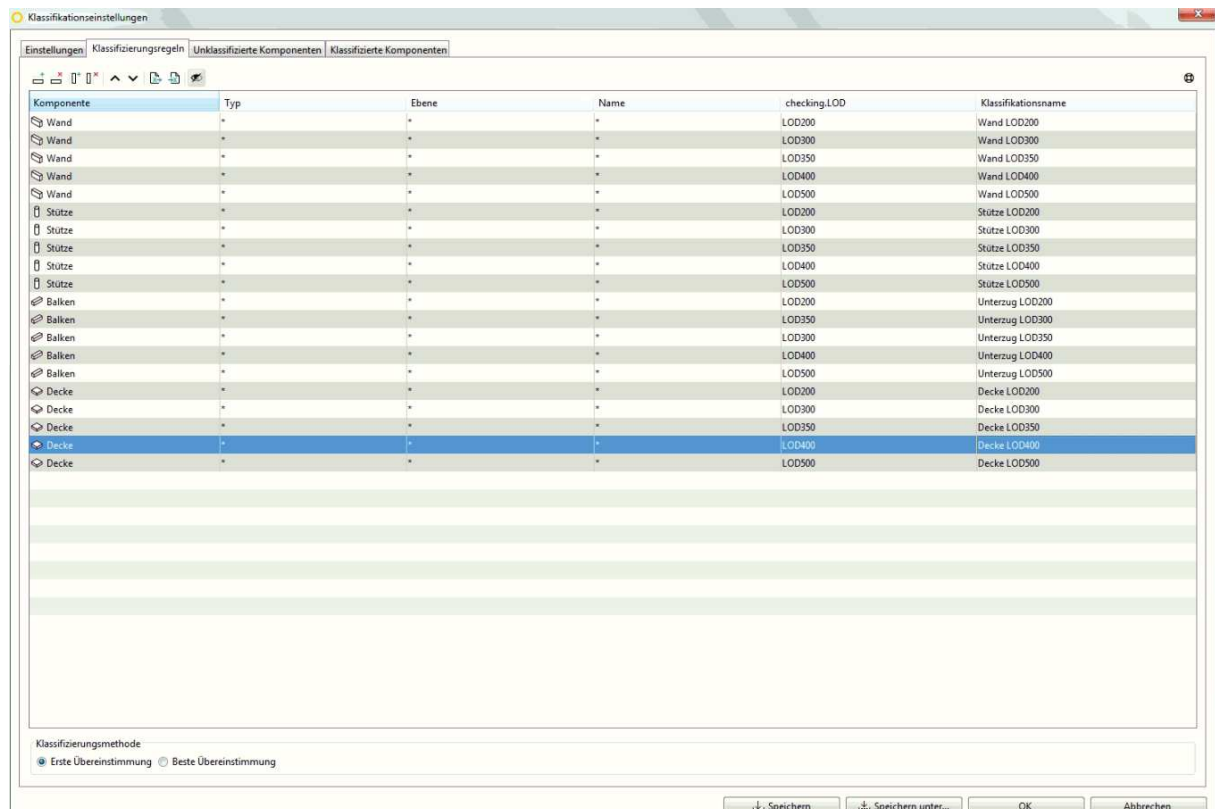


Abbildung 57 Erstellung von Regeln zur Bestimmung bestimmter Klassifikationskomponenten in Solibri

Wenn dieses Klassifikationsschema anschließend auf die importierte IFC - Datei angewandt wird, kann die Kontrolle des Prüfergebnisses visuell erfolgen.

Um die implementierten Regeln ausführlich auf ihre einwandfreie Funktionalität zu testen, wurde ein Gebäude in Autodesk Revit 2019 modelliert, in welchem die im Kapitel zuvor untersuchten Bauelemente in den unterschiedlichsten Entwicklungsgraden vorliegen. So lassen sich zum Beispiel Stützen mit Aussparungen, Durchbrüchen oder als Stützengruppe vorliegende Bauteile finden, ebenso wie bewehrte oder unbewehrte Elemente. Hier wurde darauf geachtet, die Bauteile so zu erstellen, dass die unterschiedlichsten Prüfkriterien gegeneinander getestet werden können, um die Funktionalität der implementierten Festlegungen zu untersuchen.

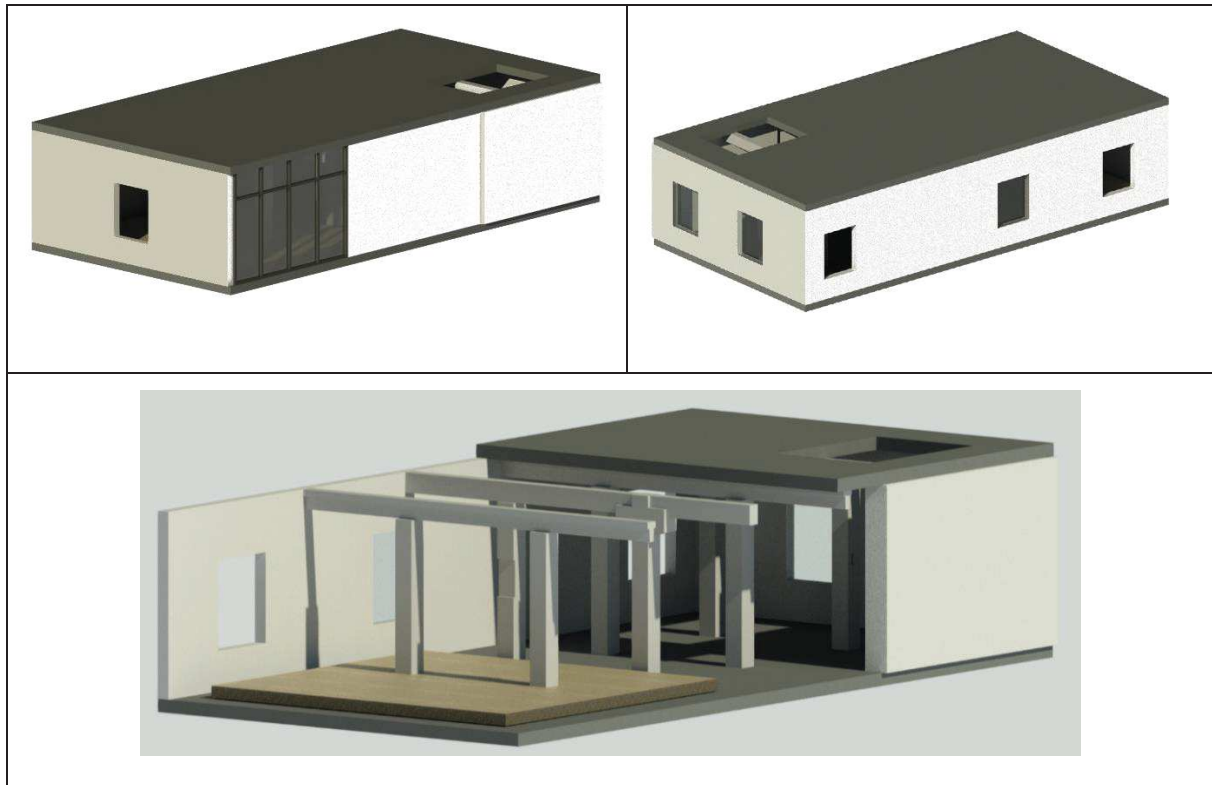


Abbildung 58 Darstellung des zu prüfenden Modells

Nach dem Export der *IFC* - Datei aus Revit und nach anschließendem Prüfvorgang im Checkingtool wurde die somit erstellte neue Datei in den Solibri Model Checker importiert. Nach Anwendung der Klassifizierungsdefinition zeigt sich folgendes Ergebnis.

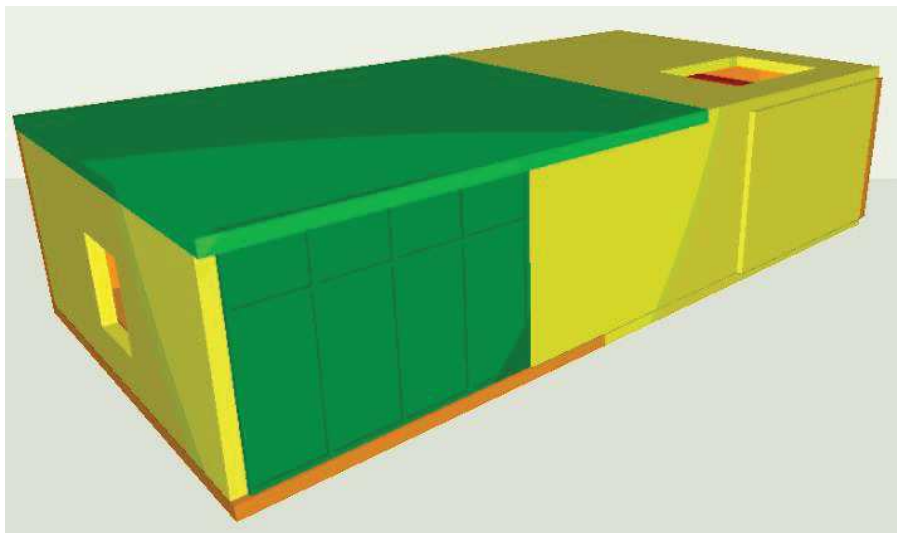


Abbildung 59 Gesamtgebäude im Klassifizierungsmanager in Solibri

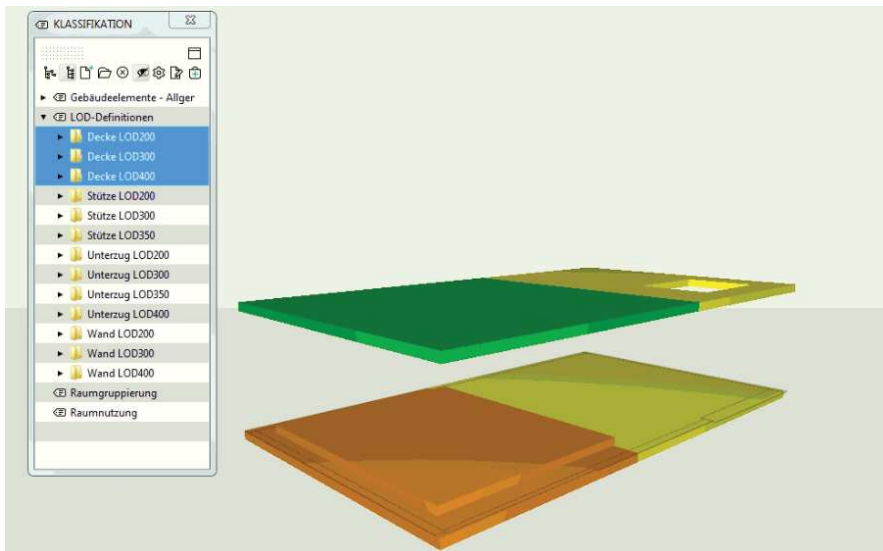


Abbildung 60 Darstellung der klassifizierten Decken

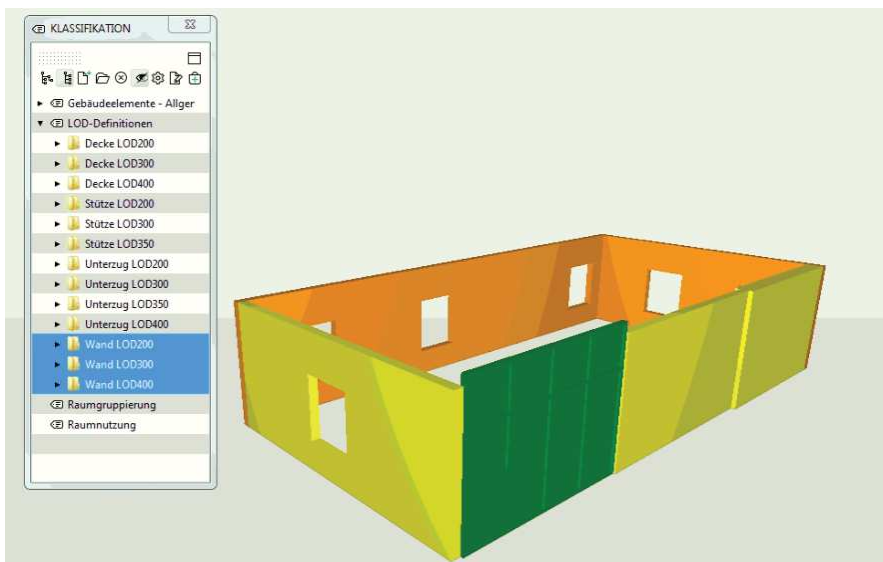


Abbildung 61 Darstellung der klassifizierten Wände

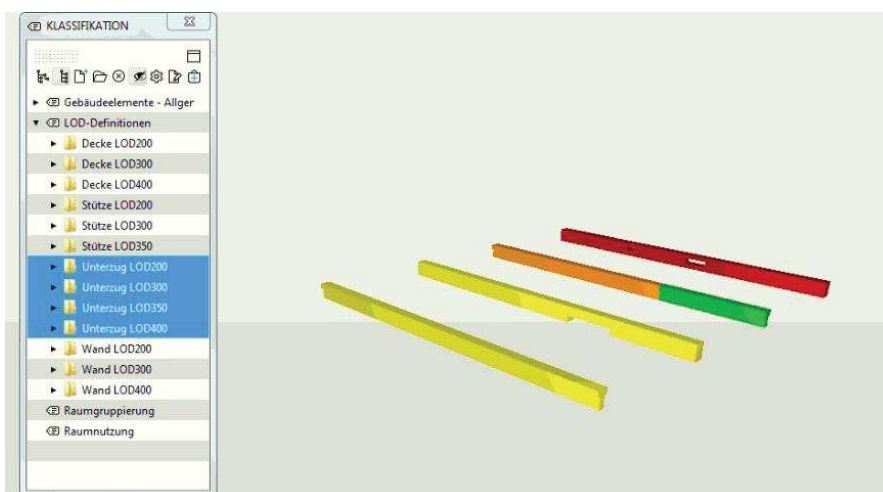


Abbildung 62 Darstellung der klassifizierten Träger

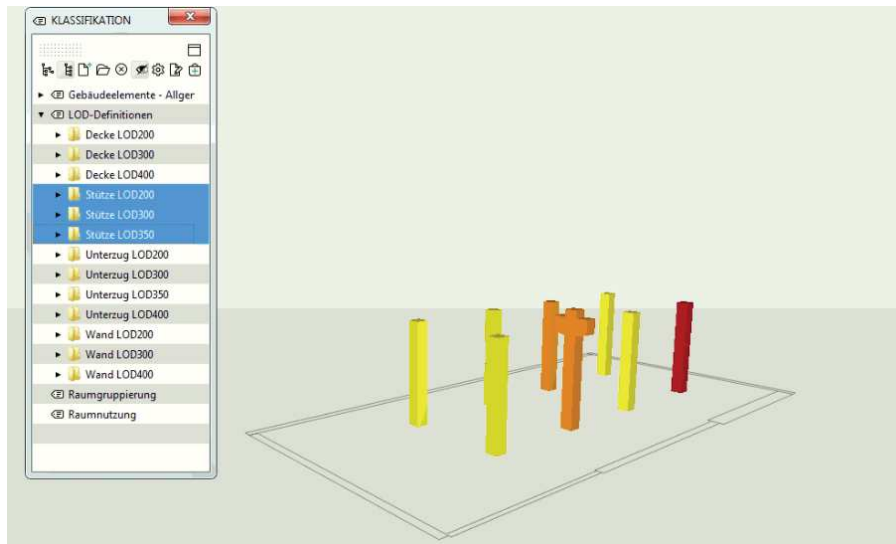


Abbildung 63 Darstellung der klassifizierten Stützen

Wie mithilfe der Abbildungen 55-59 deutlich gemacht wird, ist nun eine übersichtliche visuelle Überprüfung der Ergebnisse möglich. Bei Unklarheiten kann zusätzlich die Ausgabe der Konsolenanwendung hinzugezogen werden.

7 Zusammenfassung und Fazit

Mit der Einführung der Arbeitsmethode *BIM* stehen viele Ingenieur- und Planungsbüros vor der Herausforderung, nicht nur die Art und Weise des Planens und Modellierens sowie bestehende Prozessabläufe anzupassen, es gehen auch Werkzeuge verloren, für die die Planungsbeteiligten über die Jahre hinweg ein vertieftes Verständnis entwickelt haben. So müssen alternative Wege gefunden werden, um die herkömmlichen Arbeitsweisen auf die neue Methode anzupassen. Ein zu nennendes Beispiel ist hier die Anzeige von Informationstiefen im Modell. Wo in herkömmlichen Planungsweisen Maßstäbe die Darstellung von Elementdetaillierungen festgelegt haben, soll nun die Einführung von Fertigstellungsgraden eine Aussage über die Zuverlässigkeit der im Modell enthaltenen Informationen ermöglichen.

Wie die Betrachtung der Entwicklungsgeschichte von Detaillierungsgraden ergab, war diese Thematik Gegenstand intensiver Betrachtungen von Firmen in ausländischen Gebieten und so entwickelten sich daraus Standards, die die Beschreibung der Fertigstellungsgrade beinhalten. Hier haben sich für den Begriff *LOD* zwei unterschiedliche Übersetzungen ergeben, welche zwar den gleichen Namen besitzen, jedoch zwei komplett verschiedene Bedeutungen beinhalten. In Deutschland sind keine verbindlichen Festlegungen zur Thematik der *LODs* vorhanden. Mehrheitlich wird unter der Abkürzung jedoch die Beschreibung von Fertigstellungsgraden verstanden und setzt sich aus der getrennten Beschreibung von Geometrie und Semantik eines Bauteils zusammen. Bei der Definition der einzelnen Fertigstellungsgrade wird überwiegend der Standard des BIMForum's herangezogen, in welchem die einzelnen Elemente textlich als auch bildlich in den unterschiedlichen Stufen beschrieben werden.

Um die Gültigkeit dieses Standards in Deutschland zu verifizieren, wird das Konzept der Fertigstellungsgrade auf die bestehenden Planungsphasen abgebildet, indem die *LOD*-Stufen den herkömmlichen Leistungsphasendefinitionen zugeordnet werden. Daraus entstehen anschließend Anforderungen an die Beschreibung der Fertigstellungsgrade. Im nächsten Schritt werden weitere Definitionen aus den den Leistungsphasen zugehörigen Maßstäben abgeleitet und den *LOD* - Definitionen zugeordnet. Eine umfassende Tabelle fasst die Erkenntnisse zusammen und soll die bestehenden

Spezifikationen des BIMForum's untermauern und gegebenenfalls ergänzen. Vergleicht man diese Ergebnisse mit den Festlegungen des BIMForum's, so wird deutlich, dass eine Zuordnung von Fertigstellungsgraden auf bestehende Leistungsphasen durchaus umsetzbar ist und die Spezifikation somit ohne Bedenken Anwendung in Deutschland finden kann.

Bei der Umsetzung von *BIM* im Projekt gibt es verschiedene Ansätze. Hier unterscheidet man grundsätzlich zwischen der „closed BIM“ - Methode, was den herstellerspezifischen Datenaustausch beinhaltet, und der „open BIM“ - Methode, also der herstellerunabhängige Datentransfer über die offene Schnittstelle *IFC*. Vor diesem Hintergrund wurde herausgearbeitet, wie die verschiedenen Aspekte von Bauelementen im Datenmodell *IFC* repräsentiert werden. Eine Untersuchung der Modellierweisen von *BIM* - Modellelementen ergab, dass zur Umsetzung der Definitionen der Fertigstellungsgrade eigene Objektbibliotheken angelegt werden müssen, da die vorangelegten Bibliothekselemente in Modellierwerkzeugen meist zu detailliert vorliegen. Um prüfbare Inhalte zu verifizieren, wird die Umsetzung der *IFC* - Struktur eines beispielhaften Modellelements gezeigt und analysiert. Hier liegt der Fokus zum Beispiel auf den unterschiedlichen Arten der Geometrirepräsentation oder auch der Ausbildung von Beziehungen zwischen Elementen. Anhand dieser ausführlichen Analyse können dann inhaltliche Prüfebene abgeleitet werden.

Die Studie, die die unterschiedlichen Implementierungsweisen verschiedener Softwareprodukte untersucht, zeigt, dass die Schnittstellenimplementierung der Version *IFC* 4 bei den meisten Softwareprodukten noch nicht vollständig ausgereift vorliegt. Die Verwendung von Geometrirepräsentationen ist außerdem stark abhängig von der Modellierungsweise der Elemente, sowie von den verwendeten Model Views bzw. der verwendeten Software. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte die *IFC* - Analyse auf Grundlage von Dateien, die in Autodesk Revit 2019 erstellt wurden und über die Model View Coordination View 2.0 exportiert wurden. Die Analyse von Prüfwerkzeugen ergab, dass die anschließende Prüfung in erster Linie auf Basis der *IFC* - Dateien selbst erfolgen soll. Beim Import in bekannte Prüfungstools wie zum Beispiel Solibri Model Checker geht durch Umwandlung geometrischer Daten die *IFC* - Datenstruktur verloren und ermöglicht somit keine umfassende Prüfung geometrischer Details. Des Weiteren soll die Philosophie der Herstellerunabhängigkeit weiter verfolgt werden.

Aufbauend auf diese theoretischen Grundlagen konnten im Rahmen dieser Arbeit Prüfkriterien erarbeitet werden, nach denen beispielhafte Bauelemente untersucht wurden. Diese Regeln basieren in erster Linie auf den Festlegungen des BIMForum's. Hier konnten Kriterien aufgestellt werden, die zwingend zur Definition von Fertigstellungsgraden vorliegen sollen oder die eventuell vorliegen können. Außerdem wurde zwischen allgemeingültigen oder bauteilspezifischen Regeln unterschieden. Bei der Bearbeitung dieser Themen wurde deutlich, dass zur eindeutigen Definition von Modellinhalten Regeln notwendig sind, die abhängig von der Implementierung der verwendeten Schnittstelle der Modellierungssoftware sind. Implementierungsspezifische Regeln betreffen hier überwiegend Festlegungen zur geometrischen Darstellung der Elemente. Da diese Kriterien jedoch meist ausschlaggebende Hinweise auf die Einordnung in Fertigstellungsgraden liefern, wurde versucht, dessen Festlegungen auf alle möglichen Fälle auszuweiten. Dennoch können bei spezifischen Geometrien Fälle auftreten, bei denen die Gültigkeit der Regeldefinitionen nicht mehr vorhanden ist. Aus diesem Grund gilt es, den Grundsatz dieser charakteristischen Festlegungen aufzunehmen und auf alle möglichen auftretenden Fälle anzuwenden. Zudem treten Kriterien auf, die nur erfüllt werden können, wenn spezifische Regeln zur Modellierung eingehalten werden. Es ist jedoch hier zu berücksichtigen, dass diese Inhalte lediglich Definitionen repräsentieren, die durch den Export über *IFC* verloren gegangen sind. Des Weiteren wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht alle aufgezählten Prüfkriterien behandelt. Dies liegt darin begründet, dass für die verlässliche Aussage zu sich verändernden Modellinhalten zu z. B. semantischen Inhalten eine gewisse Anzahl an Vergleichswerten vorhanden sein muss. Liegen diese vor, können diese Prüfkriterien jedoch äußerst präzise Hinweise zur Einordnung bestimmter Bauteile liefern.

Auch wenn sich diese Arbeit auf eine Teilgruppe von Bauelementen begrenzt, sind die Grundstrukturen auf alle Bauteile anwendbar und durch spezifische Details zu erweitern. Somit liefern die allgemein gültigen Regeln die Grundlagen zur Einordnung in eine bestimmte Stufe, implementierungs-, modellierungs- und bauteilspezifische Inhaltsdefinitionen erlauben eine exakte Zuordnung ohne Streuung.

Mit der Ableitung von zweidimensionalen Plänen aus den LOD XY-Modellen wurde ersichtlich, dass bei einer Modellierung gemäß den *LOD* - Spezifikationen das herkömmliche bekannte Maßstabswerkzeug in die neue Arbeitsmethode transferiert werden kann. Die allseits bekannten Definitionen zu den in den jeweiligen Maßstäben gezeigten Inhalten sind somit weiterhin gültig und geben somit entscheidende Hinweise

auf die Verlässlichkeit der gezeigten Informationen. Durch die automatisierte Prüfung der beschriebenen Inhalte und mithilfe der anschließenden visuellen Überprüfung der Resultate ist zu erwarten, dass sich ähnlich zum Maßstabswerkzeug auch das Gespür für die *LOD* - Spezifikationen bei den am Bau Beteiligten schnell entwickeln wird.

Diese vorliegende Arbeit beweist also, dass die konsequente Umsetzung der bekannten *LOD* - Spezifikationen dazu beiträgt, die Arbeitsmethode *BIM* greifbarer dem Anwender entgegenzubringen und die Kluft zwischen herkömmlichen Arbeitsweisen und der Arbeit mit digitalen Gebäudemodellen reduziert, indem das bekannte Werkzeug des Maßstabs auf die dreidimensionale Planung abgebildet wird. Zudem wird ein wesentlicher Grundstein zur Qualitätssicherung in Modellen geschaffen.

Literaturverzeichnis

- American Institute of Architects (2008): AIA Document E202 - Building Information Modeling Protocol Exhibit.
- Anderl, R.; Trippner, D. (2000): STEP. Standard for the exchange of product model data ; eine Einführung in die Entwicklung, Implementierung und industrielle Nutzung der Normenreihe ISO 10303 (STEP). Stuttgart, Leipzig: Teubner.
- Autodesk GmbH: Autodesk Knowledge. Online verfügbar unter <https://knowledge.autodesk.com/de/>, zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- Autodesk GmbH (2018): Revit IFC Handbuch. Online verfügbar unter <https://www.autodesk.de/campaigns/interoperability/ifc-handbuch>.
- Baldwin, Mark; e.V., DIN.; AG, Mensch und Maschine Schweiz (2018): Der BIM-Manager. Praktische Anleitung für das BIM-Projektmanagement. 1st ed. Berlin: Beuth Verlag (Beuth Innovation).
- BIM4INFRA2020 (2018): Umsetzung des Stufenplans "Digitales Planen und Bauen". AP 1.2 "Szenariendefinition" AP 1.3 "Empfehlung". Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2018/09/AP1.2-AP1.3_BIM4INFRA_Bericht-Stufenplan.pdf, zuletzt geprüft am 21.04.2019.
- BimForum (2018): LOD Specification 2019 Part I. Richtlinie. Online verfügbar unter <https://bimforum.org/2018/12/04/2019-draft-lod-specification-released-for-public-comment/>, zuletzt aktualisiert am 04.12.2018.
- BMVI (2015): Stufenplan digitales Planen und Bauen. Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile.
- Bolpagni, Marzia (2016): BIMThinkSpace - The Many Faces of 'LOD'. Hg. v. BIMThinkSpace. Online verfügbar unter <https://www.bimthinkspace.com/2016/07/the-many-faces-of-lod.html>, zuletzt geprüft am 27.04.2019.

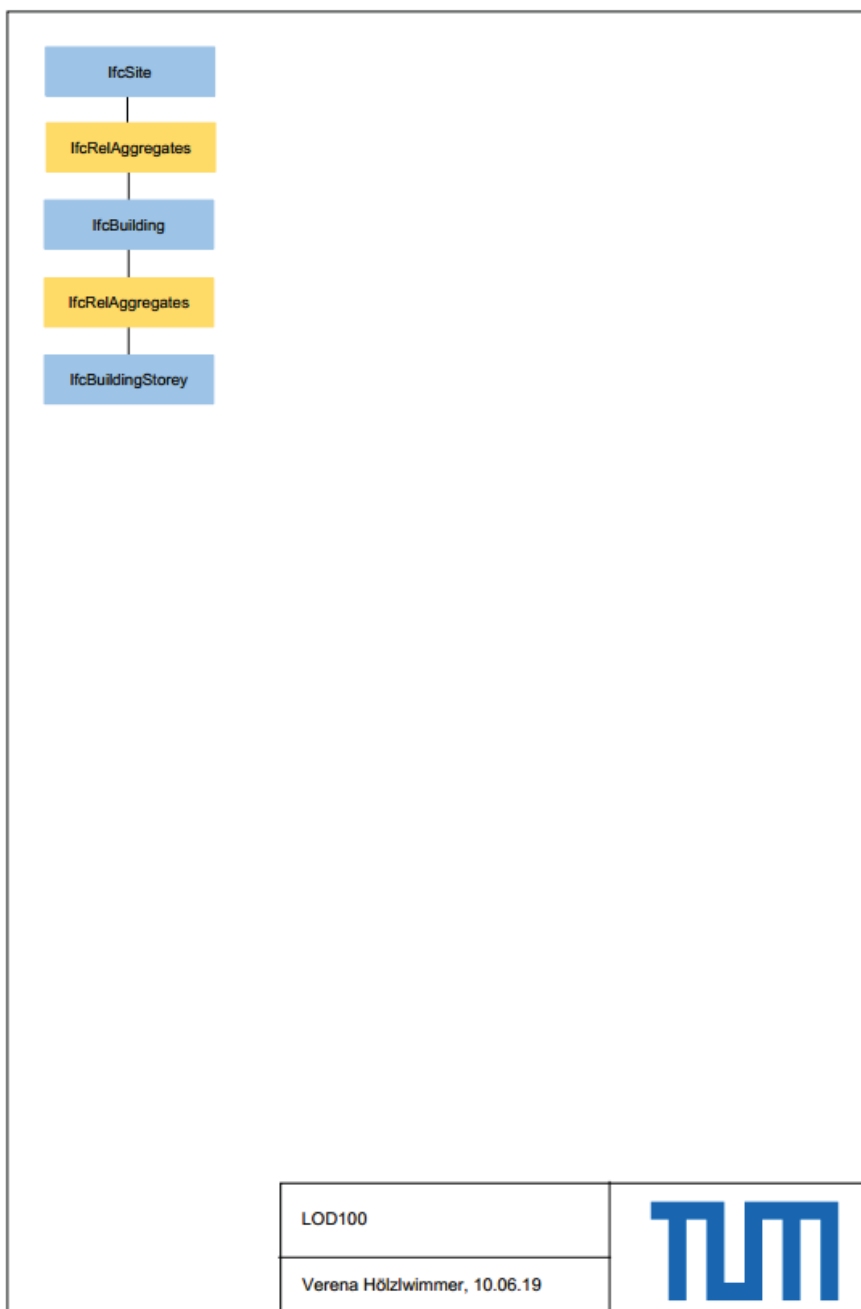
- Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob (2015): Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden: Springer Vieweg (VDI-Buch).
- buildingSMART.de (2019): buildingSMART e.V./DE. Online verfügbar unter <https://www.buildingsmart.de/>, zuletzt geprüft am 16.04.2019.
- buildingSMART.org (2019): buildingSMART - The Home of BIM. Online verfügbar unter <https://www.buildingsmart.org/>, zuletzt geprüft am 16.04.2019.
- buildingSMART-Tech: IFC 2x3 Documentation. Online verfügbar unter <http://www.buildingsmart-tech.org/>, zuletzt geprüft am 18.04.2019.
- Depenbrock, Franz Hermann (2019): Leistungen Building Information Modeling - Die BIM-Methode im Planungsprozess der HOAI. AHO Heft 11. 1. Auflage. Köln: Bundesanzeiger (Schriftenreihe des AHO, 11).
- Drobnik, Miachel; Riegas, Steffen (2015): Zwischen BIM und Bleistift. Werk und Werkzeug. In: *Schweizerische Bauzeitung TEC21*, 2015, S. 28–31.
- Eastman, Charles M. (2011): BIM handbook. A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. 2nd ed. Hoboken, N.J: Wiley.
- Egger, Martin; Hausknecht, Kerstin; Liebich, Thomas; Przybylo, Jakob (2013): BIM-Leitfaden für Deutschland. Information und Ratgeber. Endbericht. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bim-leitfaden-deu.pdf?__blob=publicationFile.
- Fehrenbach, Andreas (2018): Definition von Modellinhalten für BIM-Modelle von Schleusenbauwerken für ausgewählte BIM-Anwendungsfälle der Planung. MasterThesis. TU München.
- Graphisoft (2019): Solibri Model Checker. Online verfügbar unter <https://www.graphisoft.de/solibri/>, zuletzt geprüft am 03.05.2019.
- Hanses, Katrin: Skript MB 6.1 Baukonstruktion I.1. Darstellung. Skript. Universität Siegen. Online verfügbar unter http://wirtz.architektur.uni-siegen.de/wp-content/uploads/Darstellung_Skript.pdf.
- Hausknecht, Kerstin; Liebich, Thomas (2016): BIM-Kompendium. Building Information Modeling als neue Planungsmethode. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

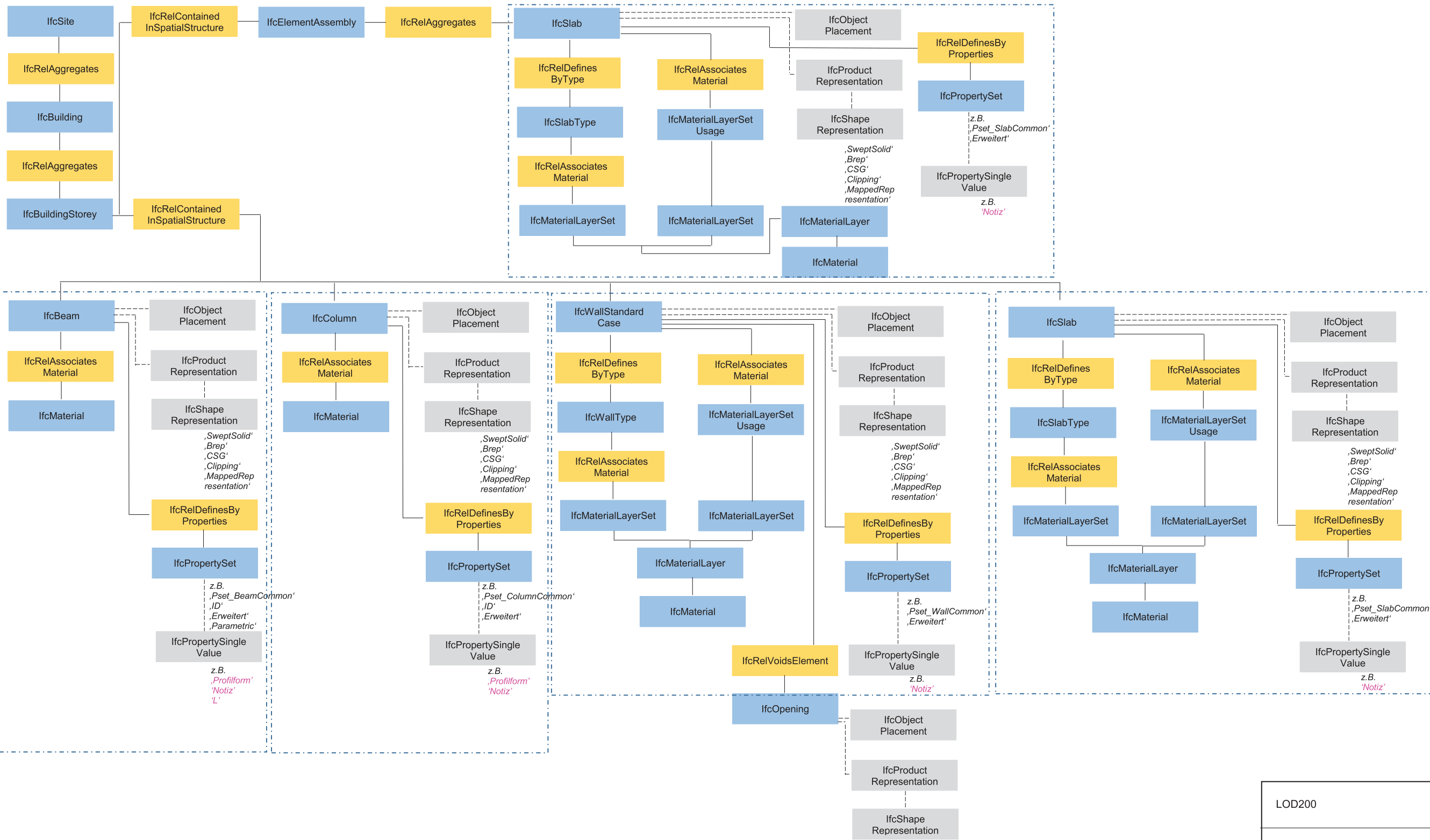
- Hemmerling, Marco; Tiggemann, Anke (2010): Digitales Entwerfen. Computer Aided Design in Architektur und Innenarchitektur. 1. Aufl. Paderborn, Stuttgart: Fink; UTB (utb-studi-e-book, 8415).
- Mini, Franziska (2016): Entwicklung eines LoD Konzepts für digitale Bauwerksmodelle von Brücken und dessen Implementierung. Masterthesis. TU München.
- NBS National BIM Library (2019): NBS BIM Object Standard. Online verfügbar unter <https://www.nationalbimlibrary.com/en/nbs-bim-object-standard>, zuletzt geprüft am 03.05.2019.
- Niedermaier, Anke; Bäck, Robert (2015): Allplan BIM-Kompendium. Theorie und Praxis. Hg. v. Allplan GmbH. Online verfügbar unter http://autoupdate.allplan.com/TLDs/downloads/Allplan_BIM_Kompendium.pdf.
- Siegl & Albert GbR (2005): Projekt Marienhöher Weg. Online verfügbar unter <https://freiearchitekten.de/Marienhoeher%20Weg/start.html>, zuletzt aktualisiert am 11.12.2005, zuletzt geprüft am 17.06.2019.
- Trimble Navigation Limited (2013): Project Progression Planning with MPS 3.0. Online verfügbar unter <http://support.vicosoftware.com/FlareFiles/Content/KB/Trimble%20-%20Progression%20Planning%20V15.pdf>.
- Verband Beratender Ingenieure (2016): BIM-Leitfaden für die Planerpraxis. Empfehlungen für planende und beratende Ingenieure. Online verfügbar unter https://www.vbi.de/fileadmin/redaktion/Dokumente/Infopool/Downloads/VBI_BIM-Leitfaden_0916-final.pdf.
- Wimmer, Christian (15.05.19): Bewehrungsgrad von Bauteilen, 15.05.19. E-Mail an Verena Hölzlwimmer.
- xBIM: xBIM Toolkit. eXtensible Building Information Modeling. Online verfügbar unter <http://docs.xbim.net/>, zuletzt geprüft am 20.05.2019.

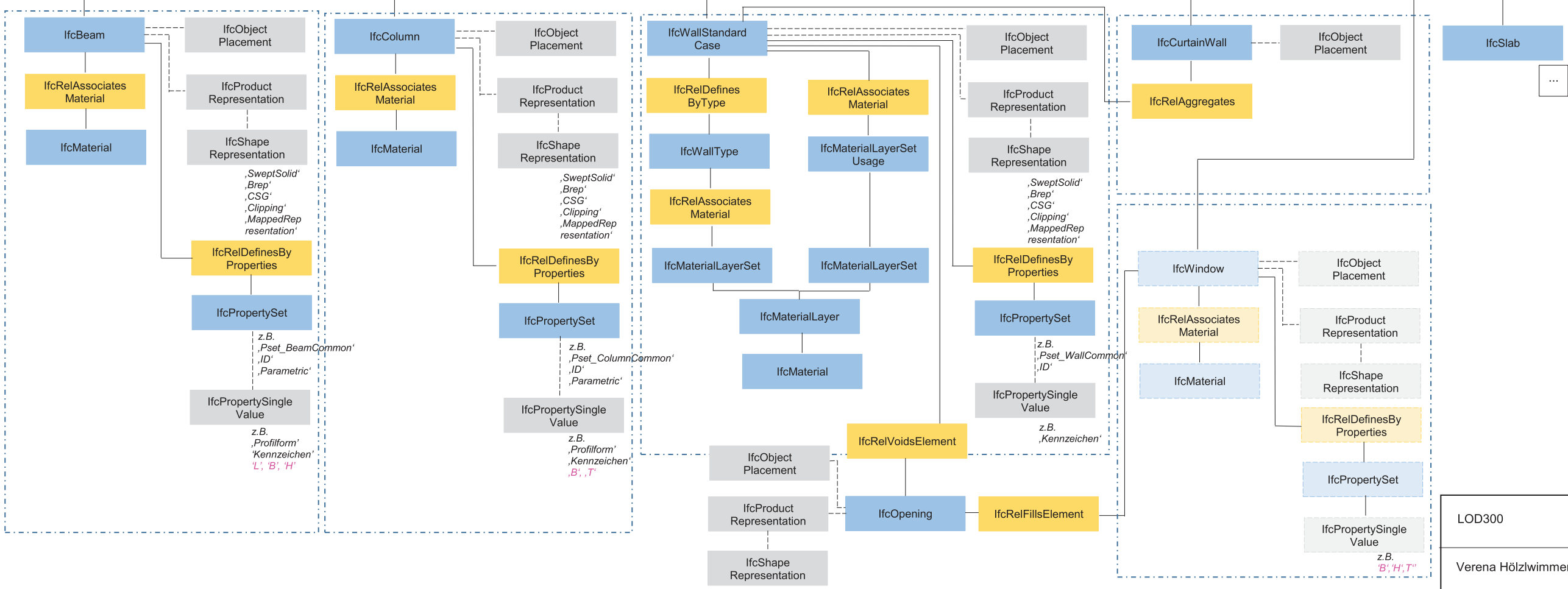
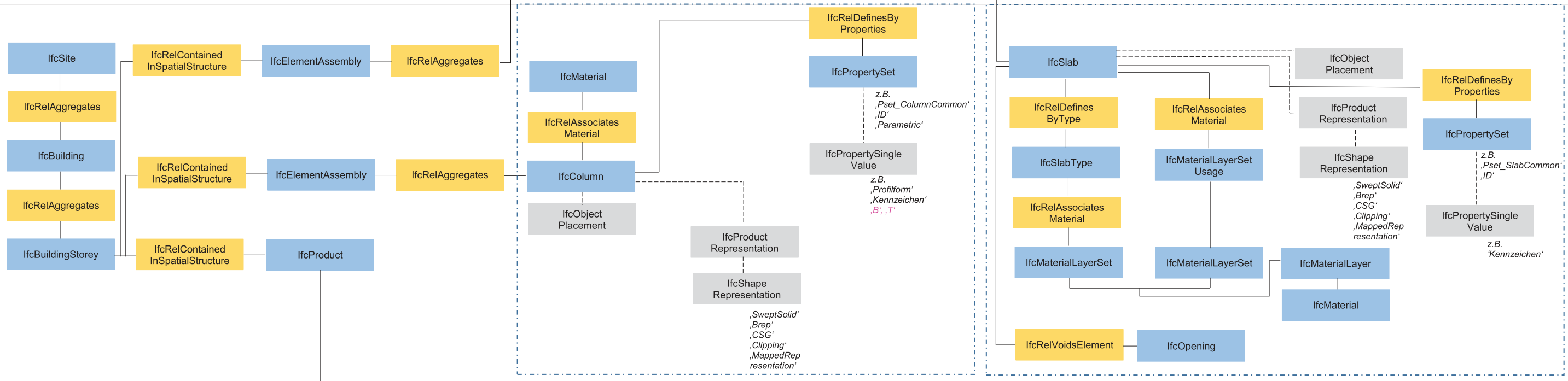
Anhang A

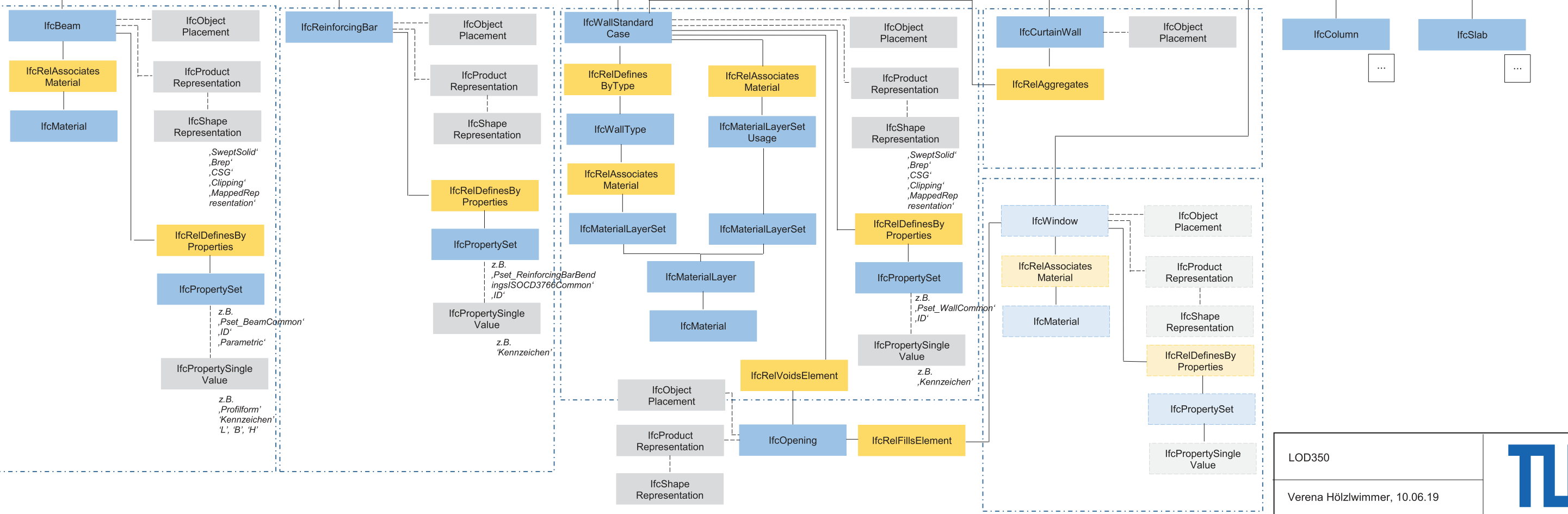
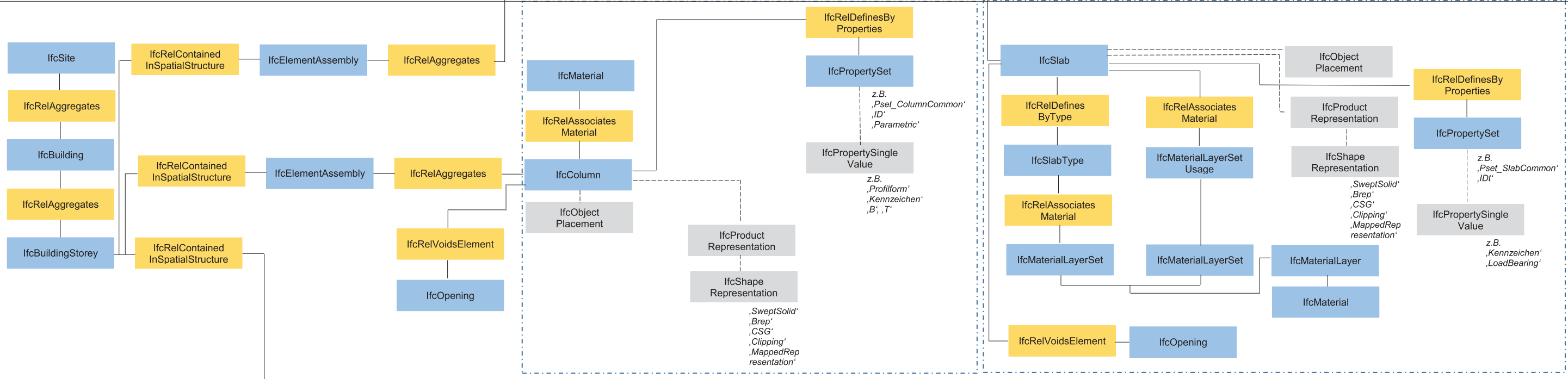
Pläne und Bilder

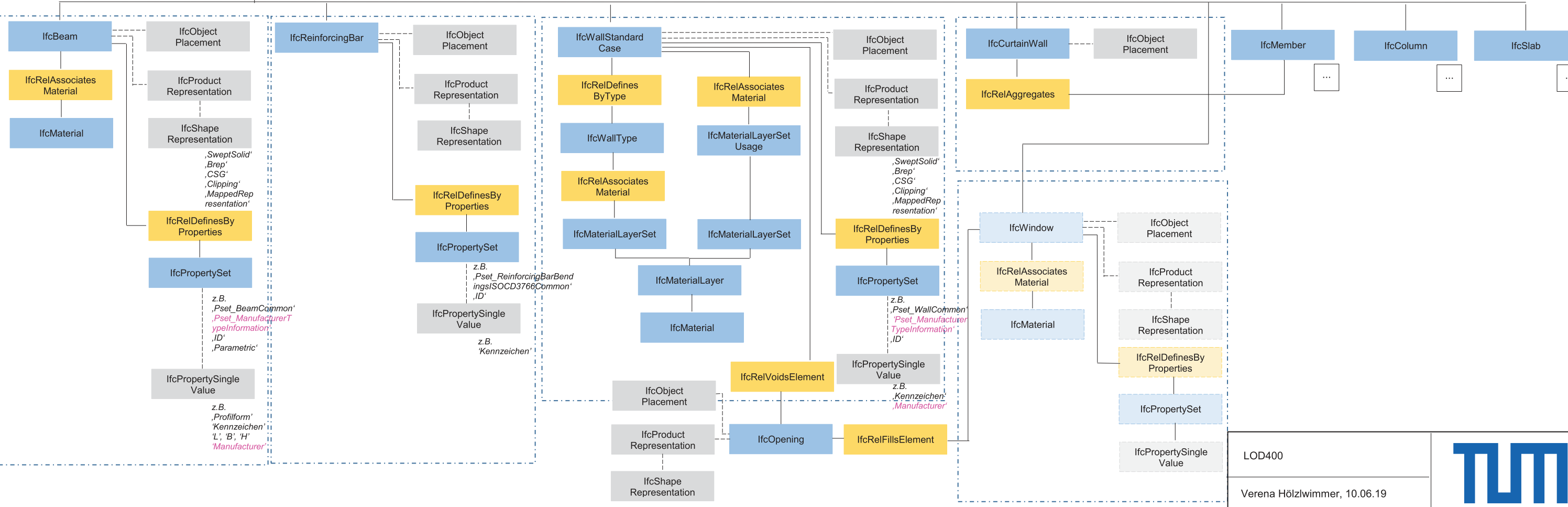
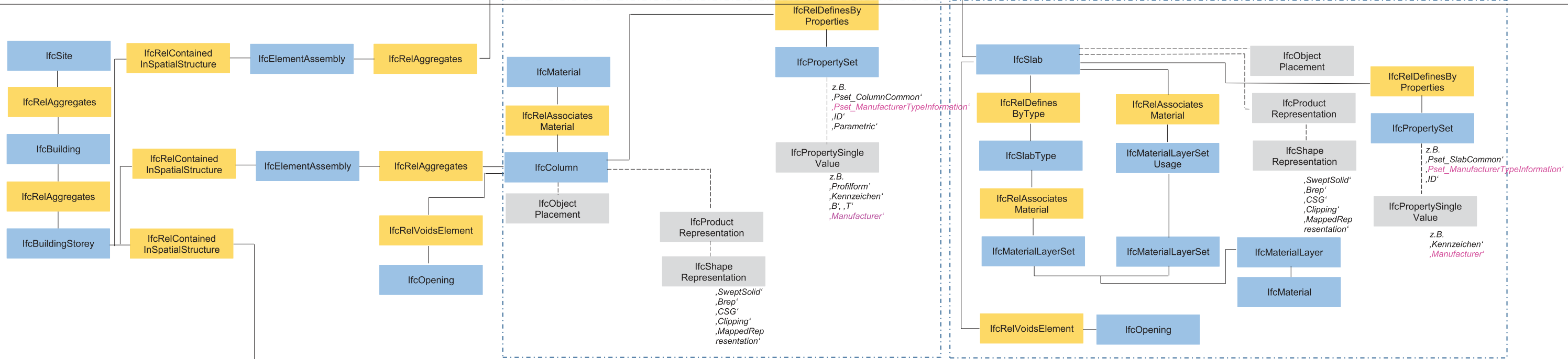
A.2 Übersichtstabellen IFC-Schemata

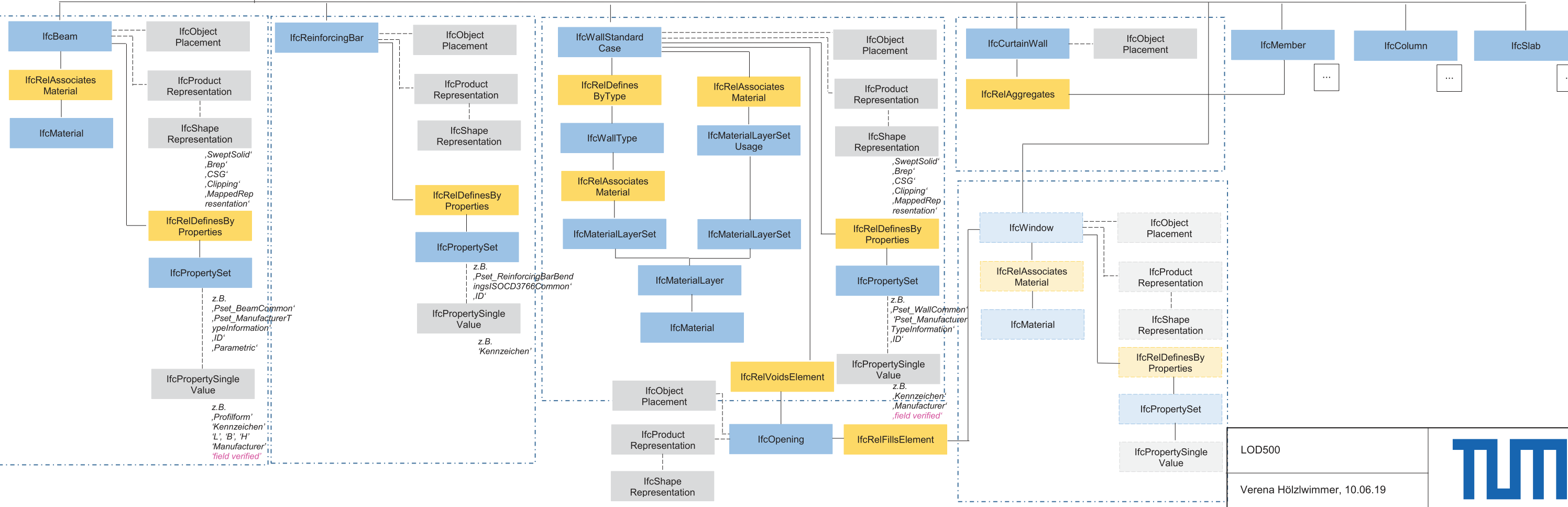
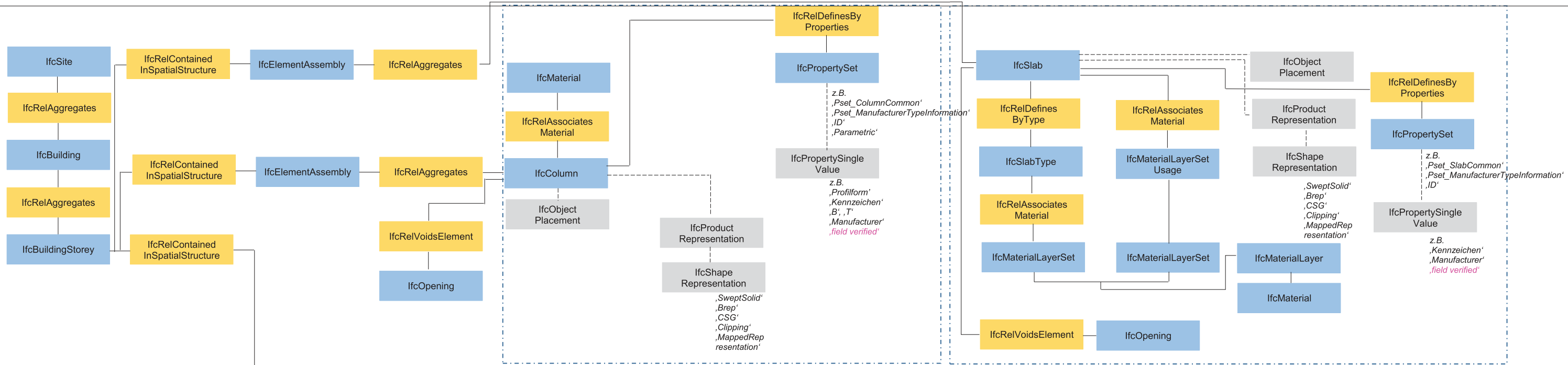






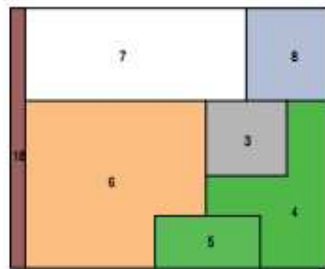






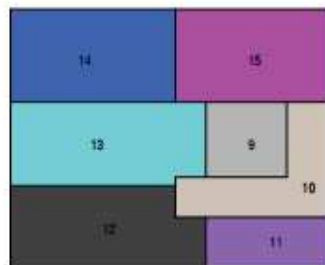
A.2 Generierte Pläne – nicht maßstabsgetreu

Erdgeschoss, M1:200



3	Treppenhaus	7,28 m ²
4	Flur	13,87 m ²
5	Speis	6,55 m ²
6	Kochen/Essen	33,06 m ²
7	Wohnen	24,62 m ²
8	WC	9,12 m ²
18	Konstruktion	4,50 m ²

Obergeschoss, M1:200



9	Treppenhaus	4,28 m ²
10	Flur	11,09 m ²
11	Kinderbad	7,63 m ²
12	Kind1	18,36 m ²
13	Kind2	19,29 m ²
14	Schlafen Eltern	18,32 m ²
15	Bad/HWR	17,03 m ²

Einfamilienhaus LOD100

Vorplanung 1 : 200

PROJNR:
MasterThesisPLANNR:
VE-01DATUM:
12.06.19GEZ:
Verena Hölzlwimmer

C:\Users\Verena\Documents\MasterThesis\Projekt\LOD100-1.rvt



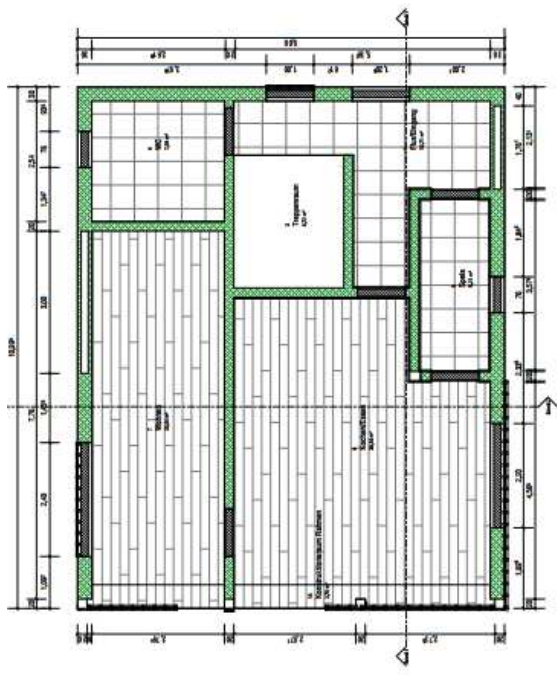
TU München

Arcisstraße 21
80333 München0,210 ± 0,027 = 0,06 m²

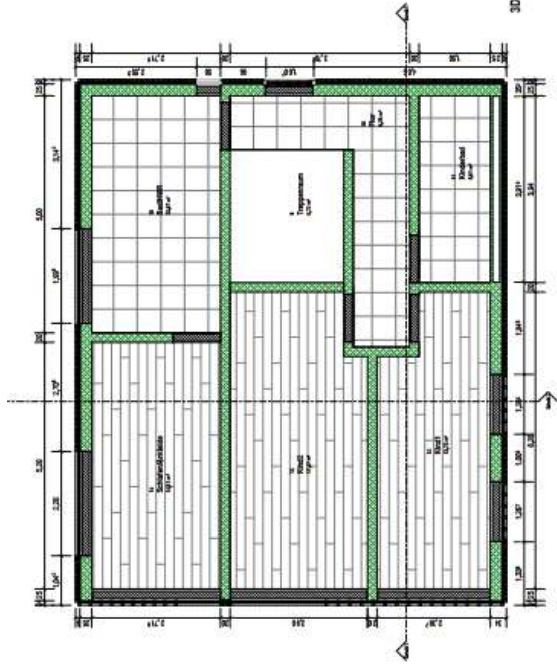
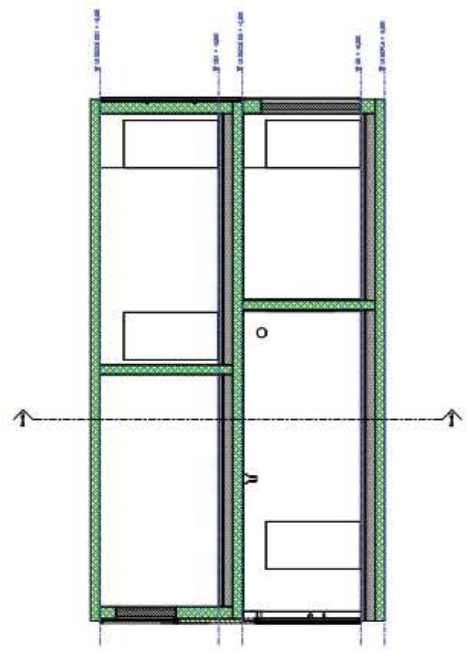
DER AUSFÜHRENDE IST VERPFLICHTET, ALLE BESTANDSMASSE UND PLANKOTEN VOR ARBEITSBEGINN ZU ÜBERPRÜFEN. DIESE ZEICHNUNG IST UNSER GEISTIGES EIGENTUM UND UNTERLIEGT DEM URHEBERRECHT. EINE VERMÜLTIGUNG, AUSHÄNDIGUNG AN DRITTE PERSONEN ODER ÜBERLASSUNG AN KONKURRENZFIRMEN IST UNTERSAGT.



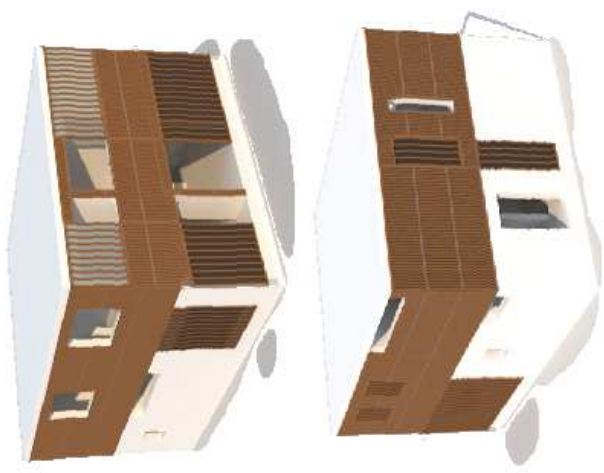
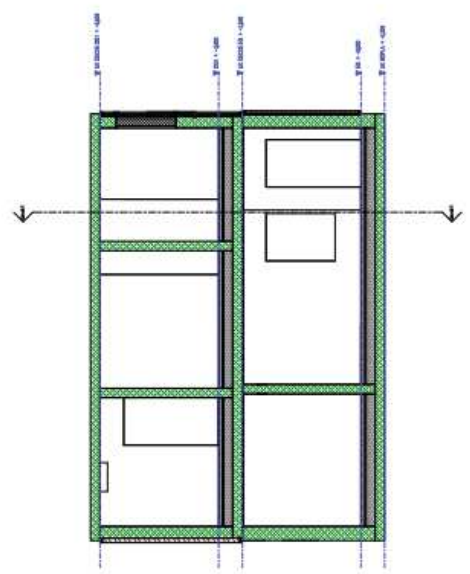
Einfamilienhaus LOD360		TU München	
Architekt	1:100	Blatt	1/10
Standort	13.03.19	Blatt	1/10
Objekt	13.03.19	Blatt	1/10
Zeichner	13.03.19	Blatt	1/10
Gezeichnet	13.03.19	Blatt	1/10
Geprüft	13.03.19	Blatt	1/10
Freigegeben	13.03.19	Blatt	1/10
<small> Die Zeichnung ist urheberrechtlich geschützt durch die TU München. Die Weitergabe oder die Nutzung der Zeichnung ohne schriftliche Genehmigung der TU München ist ausdrücklich untersagt. </small>			



Schnitt 1-1, MT:50



Schnitt 2-2, MT:50



3D Rendering

Einflügelhaus - LOD000		TU München	
Architekt	Prof. Dr. ...	Standort	München
Projekt	...	Blatt	114
Skala	1:50	Zeichner	...
Gezeichnet	...	Geprüft	...
<small>Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, Vervielfältigung und Verbreitung, auch auszugsweise, ist ohne schriftliche Genehmigung der TU München. Die Haftung für Schäden jeglicher Art bleibt unberührt.</small>			

Anhang B

Auf beigefügtem USB-Stick befindet sich folgender Inhalt:

- Der schriftliche Teil der Arbeit als Worddokument und PDF-Datei
- Das Dokument ExchangeRequirements Revit
- Die Grundrisspläne als PDF
- Die Revit-Projektdateien, sowie zugehörige IFC der LOD XY Modelle
- Die Revit-Projektdatei, sowie zugehörige IFC von Projekt1_gemischte LOD
- Alle erstellten Revit-Familien
- Die IFC-Dateien der Untersuchung Schnittstellenimplementierung
- Die IFC-Datei der Untersuchung SPF- IfcWall
- Die Konsolenanwendung LOD-Prüfung

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Master-Thesis selbstständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ich versichere außerdem, dass die vorliegende Arbeit noch nicht einem anderen Prüfungsverfahren zugrunde gelegen hat.

München, 25. Juni 2019

Verena Hölzlwimmer

Verena Hölzlwimmer

████████████████████

████████████████

██