



Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt  
Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation  
Prof. Dr.-Ing. André Borrmann

## Analyse von Überprüfungswerkzeugen der inhaltlichen Korrektheit von BIM-Modellen

---

**Katrina Templeton**

Bachelorthesis

für den Bachelor of Science Studiengang Umweltingenieurwesen

|                 |                               |
|-----------------|-------------------------------|
| Autor:          | Katrina Templeton             |
| Matrikelnummer: | ██████████                    |
| 1. Betreuer:    | Prof. Dr.-Ing. André Borrmann |
| 2. Betreuer:    | Cornelius Preidel, M.Sc.      |
| Ausgabedatum:   | 01. November 2015             |
| Abgabedatum:    | 29. März 2016                 |

## **Abstract**

There is a direct correlation between the quality of the planning documents and the success of a building project. Today, with the increasing digitalization in the building industry a change in the processes and coordination of building projects is required. This bachelor thesis describes the validation of Building Information Models on a theoretical basis as well as a detailed analysis of the model-checking tool Solibri Model Checker™.

In the BIM process, the geometric modelling of a building is usually performed with pre-fabricated building components. The geometry of these components is described using processes that are implicit or explicit. Additionally, the building components are associated with semantic information by setting object attributes in the model. The exchange of data as well as the subsequent processing of data from a Building Information Model requires a standardization of the data formats. The model validation process is comprised of multiple steps such as the preparation of the building model, the translation of the model rules into a machine-interpreted language, the model validation and the follow up of the results. The rules to be checked in the model checker can pertain to the model structure, the quality of the model as well as the model coordination. Some model validation tools also provide additional functionality, which allow verification of the adherence to building standards and guidelines. The Solibri Model Checker™ analyzed in this thesis is a model-checking platform, which provides this functionality. Another useful aspect of the Solibri Model Checker™ is the visualization of the model after the initial ingestion of the building model in the native data structure of the Solibri Model Checker™. Before a validation can be completed of the model, some components must be classified and some rules require parameterization. The results of model validation are presented in a list, which allows the user to select the problem and automatically navigate to the associated issue. Furthermore, a presentation tool is provided for the presentation of errors in the model. The Solibri Model Checker™ can be used for information and quantity takeoffs. This thesis presents an analysis of a BIM model checker based on several case studies. One of the buildings to be validated was initially modeled in Allplan. This model was then subsequently checked according to a predefined architecture model checking rule set, which include validation of the rooms, defect detection as well as conflicts between architectural components. Furthermore, an extended validation of the rooms and escape routes was performed. The last step involved model coordination between different discipline models such as architecture models and structural models.

## **Zusammenfassung**

Die Qualität von Planungsunterlagen im Bauwesen wirkt sich direkt auf den Ablauf des Planungsprozesses aus. Mit der zunehmenden Digitalisierung von Planungsprozessen nach der Building Information Modeling-Methode, werden veränderte Koordinations- und Ablaufprozesse gebraucht. In dieser Arbeit wurde die Überprüfung von BIM-Modellinhalten zunächst theoretisch beschrieben und anschließend das Überprüfungswerkzeug Solibri Model Checker™ vorgestellt.

Für die geometrische Modellierung des Bauwerks werden meist vorgefertigte Bauteile verwendet, die nach impliziten oder expliziten Verfahren erstellt wurden. Diesen Bauteilen werden semantische Informationen mittels zugewiesenen Objektattributen hinterlegt. Die Übergabe und Weiterverwendung modellierter Bauwerke erfordert standardisierte Dateiformate. Die Qualität von BIM-Modellen kann auf verschiedene Arten beeinträchtigt sein. Für die verschiedenen auftretenden Fehler von Modellen, werden meist unterschiedliche Werkzeuge verwendet. Der Modellüberprüfungsprozess besteht aus der Aufbereitung der Gebäudemodelle, der Übersetzung der gültigen und zugehörigen Regeln in eine maschineninterpretierbare Sprache, ebenso wie die Überprüfung selbst und die Nachbereitung der Ergebnisse. Die zu überprüfenden Regeln können beispielsweise die Modellstruktur, die Qualität der Modellierung sowie die Modellkoordination beschreiben. Einige Modellüberprüfungswerkzeuge besitzen des Weiteren die Fähigkeit Modelle auf deren Normen- und Richtlinienkonformität zu überprüfen. Der Solibri Model Checker™ ist eine Überprüfungsplattform für BIM-Modelle und besitzt unter anderem diese Fähigkeit. Nach dem Einlesen eines Modells in die native Datenstruktur des Solibri Model Checker™ erfolgt eine Visualisierung des Modells. Bevor eine Überprüfung durchgeführt werden kann, erfolgen meist Klassifikationen und Parameterzuweisungen. Die Überprüfungsergebnisse werden in einer Liste dargestellt und durch die Auswahl eines Problems wird dieses automatisch in einer Ansicht anvisiert. Für die Kommunikation von Problemen steht ein Präsentationserstellungswerkzeug zur Verfügung. Zusätzlich können im Solibri Model Checker™ in der Auswertungsfunktion Mengen ermittelt werden. Im Anschluss erfolgte eine Untersuchung an mehreren praktischen Fallbeispielen. Für die Betrachtung einer Architekturmodellüberprüfung wurde in Allplan ein Bauwerk modelliert. An diesem Gebäudemodell wurden allgemeine Überprüfungsregelsätze, wie die Überprüfung von Räumen, Mängelerkennung und Überschneidungen zwischen Architekturkomponenten durchgeführt. Es erfolgte auch eine erweiterte Überprüfung der Räume und eine Fluchtweganalyse. Im letzten Schritt wurde die Modellkoordination anhand verschiedener disziplinspezifischer Modelle erprobt.

# Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abstract .....   | 2  |
| Zusammenfassung .....  | 3  |
| 1 Einführung und Motivation .....  | 6  |
| 1.1 Einführung .....   | 6  |
| 1.2 Vorgehen .....   | 6  |
| 2 BIM – Building Information Modeling .....                                | 6  |
| 2.1 Historie von Building Information Modeling.....                        | 6  |
| 2.2 Begriffsdefinition.....  | 7  |
| 2.3 Verwendung von BIM .....   | 7  |
| 2.3.1 Geometrie .....  | 7  |
| 2.3.2 Semantik.....  | 7  |
| 2.3.3 Interoperabilität IFC Kollaboration BCF .....                        | 8  |
| 2.4 Entwicklung.....   | 9  |
| 3 Überprüfung von Modellinhalten.....                                      | 12 |
| 3.1 Historie der Modellüberprüfung .....                                   | 12 |
| 3.2 Hintergründe der Modellüberprüfung .....                               | 13 |
| 3.3 Prozessablauf der Modellüberprüfung.....                               | 15 |
| 3.3.1 Überprüfung eines Modells.....                                       | 17 |
| 3.3.2 Clash-Detection bzw. disziplinübergreifende Modellkoordination ..... | 18 |
| 4 Solibri Model Checker .....  | 19 |
| 4.1 Entwicklung.....   | 19 |
| 4.2 Aufbau und Funktionsweise .....  | 20 |
| 5 Szenarien .....  | 28 |
| 5.1 Architekturmodellüberprüfung .....                                     | 28 |
| 5.1.1 Allplan Modellierung IFC-Export.....                                 | 28 |
| 5.1.2 Überprüfung Fallstudie .....   | 29 |
| 5.2 Modelle unterschiedlicher Disziplin.....                               | 32 |
| 5.2.1 Arboleda IFC Vectorworks .....                                       | 32 |
| 5.2.2 Überprüfungen Architektur—Struktur und Architektur-Elektrik .....    | 32 |
| 6 Fazit.....   | 34 |
| Anhang A .....   | 36 |
| Anhang B.....  | 38 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| Anhang C.....             | 43 |
| Literaturverzeichnis..... | 44 |

---

# 1 Einführung und Motivation

## 1.1 Einführung

Ausgehend von der Reformkommission „Bau von Großprojekten“ und deren Handlungsempfehlungen wurde vom Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur „Aktionsplan Großprojekte“ ausgearbeitet. Einer der Gesichtspunkte des Aktionsplans ist die „Nutzung digitaler Methoden –Building Information Modeling“ (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2016). An weiteren Punkten des Aktionsplans könnte der Building Information Modeling (BIM) –Prozess Verwendung finden. So zum Beispiel unter dem Punkt „Erst planen, dann bauen“. Die BIM-Methode erfordert die virtuelle Erstellung eines Gebäudes, bevor dieses dann in Realität gebaut werden kann. Weiterhin ist noch der Punkt der „stärkeren Transparenz und Kontrolle“ anzuführen. So ermöglicht die Digitalisierung das automatisierte oder teilautomatisierte Ablaufen einiger Validierungsmechanismen. Und Qualitätskontrollen können häufiger und effizienter erfolgen. Jedoch weisen digitale Projektplanungs- und Koordinierungsprozesse andere Problematiken auf als konventionelle Planungsmethoden. Daher erfordern digitale Methoden abweichende Qualitätsvalidierungsmechanismen, die im Folgenden dargestellt werden sollen.

## 1.2 Vorgehen

Zu Beginn der Bachelorthesis wird im Kapitel 2 zunächst ein Überblick über die Planungsmethode des Building Information Modeling (BIM) gegeben. Es erfolgt ein kurzer Einblick in die Historie des BIM und anschließend eine umfassende Definition des Begriffs. Der nachfolgende Abschnitt beschreibt die grundlegenden Prinzipien der Building Information Modeling Prozess, die Geometrie, die Semantik und die Interoperabilität. Der Abschnitt Entwicklung verdeutlicht die Einführung des Prozesses im Allgemeinen sowie auf nationaler bzw. internationaler Ebene.

Im nächsten Kapitel wird die Überprüfung von Modellinhalten behandelt. Dies erfolgt über einen Einblick in die Entwicklung. Ebenso wird die Korrektheit von Modellinhalten dargestellt und wie diese beeinträchtigt sein kann. Im letzten Abschnitt wird der Überprüfungsprozess selbst beleuchtet.

Weiterführend soll ein Einblick in die Softwarelösung der Firma „Nemetschek AG“ zur Modellvalidierung, der Überprüfungsplattform „Solibri Model Checker™“ gegeben werden.

Im Anschluss werden an mehreren Gebäudemodellen, die zuvor erläuterten Funktionen des Solibri Model Checker™ erprobt.

# 2 BIM – Building Information Modeling

## 2.1 Historie von Building Information Modeling

Bereits ab 1975 wurden die ersten Schritte in die Entwicklung der computerunterstützten Modellierung von Bauwerken durch Bijil/Shawcross und Eastman absolviert, doch waren zu

---

dieser Zeit die hierfür benötigte Rechenleistungen zu teuer und die Bauindustrie adaptierte erst mit der Zeit die computerunterstützten Zeichnungen (Computer Aided Design - CAD). Da trotzdem Forschung in Richtung dreidimensionaler objektorientierter parametrischer Modellierung von Gebäuden betrieben wurde, stehen uns heute diese hochentwickelten BIM-Tools zur Verfügung (Eastman, 2011).

## **2.2 Begriffsdefinition**

Building Information Modeling, oder kurz BIM ist ein Planungsprozess, basierend auf einem dreidimensionalen digitalen Modell eines Bauwerks. Mit diesem Modell können sämtliche, für die Planung, Ausführung und Bewirtschaftung relevanten Informationen zentral verwaltet werden, insofern diese bei der Modellerstellung eingepflegt wurden. Mit der Digitalisierung im Bauwesen erhofft man sich eine Vermeidung von Kostenexplosionen und bessere Planungssicherheit durch teilautomatisierter Modellüberprüfung.

Eine erste Differenzierung der praktischen Anwendungsmöglichkeiten, erfolgt über die Einteilung in „little BIM“ und „BIG BIM“. Unterschieden wird hier, ob das erstellte Bauwerksmodell für die Lösung eines spezifischen Problems oder über den gesamten Lebenszyklus für verschiedene Probleme genutzt werden kann. Des Weiteren wird differenziert, ob die Produkte eines Softwareherstellers genutzt werden, dann wird von „closed BIM“ gesprochen, oder ob die Produkte verschiedener Hersteller angewendet werden. Letzteres wird „open BIM“ genannt (Borrmann A., 2015). Beim Gebrauch von Applikationen multipler Hersteller ist ausschlaggebend, dass die Interoperabilität der Softwareprogramme gegeben ist. Das heißt, dass die Daten vollständig und fehlerfrei zwischen den Applikationen ausgetauscht werden können.

## **2.3 Verwendung von BIM**

### **2.3.1 Geometrie**

Die geometrische Modellierung kann über zwei verschiedene Ansätze erfolgen. Zum einen die expliziten Verfahren bei dem die 3D-Geometrie eines Körpers über seine Oberfläche beschrieben wird. Ein Beispiel für diese Arbeitsweise ist „Boundary Representation“. Bei diesem Verfahren besteht eine Kante aus zwei Punkten, mehrere Kanten beschreiben eine Fläche und mehrere Flächen bilden einen Körper. Eine andere Art einen Körper darzustellen, wird prozedural oder implizit genannt. Ein Körper wird durch seine Herstellungsschritte beschrieben. Unter Verwendung der booleschen Operatoren, also Vereinigung, Schnitt und Differenz, wird bei der „Constructive Solid Geometry“ über vorgegebene Grundkörper eine 3D-Geometrie erstellt. Ebenso können über Extrusion- und Rotationsverfahren 3D-Körper über das Entlangziehen einer 2D-Fläche über eine 3D-Kurve erstellt werden (Borrmann A., 2015).

### **2.3.2 Semantik**

Bei der Erstellung eines solchen Modells werden sämtliche Bauteile und Architekturelemente graphisch und geometrisch erzeugt. Zusätzlich können weitere Attribute wie zum Beispiel Bauteil-/Elementaufbau, Kosten und Herstellungsdauer der Objekte hinterlegt werden. Diese erweiterten Attribute werden als Semantik bezeichnet. Erleichtert wird der Modellierungsprozess mithilfe vordefinierter Bauteilen (Niedermaier & Bäck, 2015). Es

entsteht eine Art Datenbank, in der sämtliche für das Projekt relevante Information zentral verwaltet, koordiniert sowie aktualisiert werden können.

Den erstellten Geometrien werden Parameter und Bedingungen zugewiesen. Diese können geometrisch, sowie nicht geometrisch sein und können sich ebenso auf andere Objekte beziehen. Man spricht von der objektorientierten parametrischen Modellierung, da Objekte die Basis des Modellierungssystems bilden. In den verschiedenen BIM-Softwarelösungen stehen dem Nutzer Objektklassen zur Verfügung, die der Herstellung diverser Objektinstanzen dienen. Diversifiziert werden die Objekte über deren Attribute, Methoden und Beziehungen zu anderen Objekten. (Eastman, 2011)

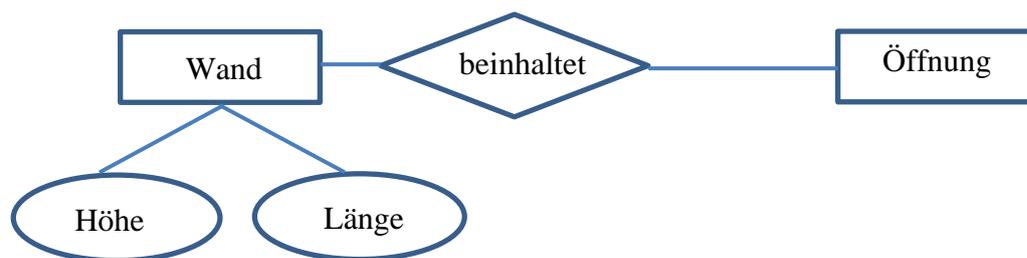


Abbildung 2-1: Entity-Relationship-Modell einer Wand

### 2.3.3 Interoperabilität IFC

Ausschlaggebend für Projekte, bei denen viele verschiedene Personen und Unternehmen an einem Objekt arbeiten, ist die Interoperabilität der Software. Besonders wenn Personen in unterschiedlichen Programmen oder Versionen arbeiten und Änderungen vornehmen. Hierfür wurde ein Dateiformat von der „International Alliance for Interoperability“ definiert. Die Allianz hat sich in „buildingSMART e.V.“ umbenannt und ist ein Zusammenschluss diverser Firmen, die es sich zum Ziel gemacht haben die Interoperabilität von Bausoftware zu gewährleisten. Dieses entwickelte Dateiformat heißt „Industry Foundation Classes“ (IFC) und ist in der in STEP-standardisierten Datenmodellierungssprache EXPRESS gehalten. Grundlage bildet ein herstellernerutrales objektorientiertes Datenmodell. In Schichten organisiert werden standardisiert die Bauteilbeziehungen, die Bauteileigenschaften, die Geometrie und die Metadaten weitergegeben.

Die grundlegenden Klassen des Modells, wie „IFC-Root“ und „IFC-Object“, sind im „Core-Layer“ angelegt. Den Basisinhalt des Core-Layers bildet der „Kernel“. Auf den Kernelklassen bauen die „Extensions“ auf, die „Product Extensions“ dienen der Beschreibung von physischen und räumlichen Klassen bzw. Objekten, die „Process Extensions“ beschreiben Prozesse und Abläufe und innerhalb der „Control Extensions“ erfolgt die Definition von Steuerungsobjekten und die Zuweisung dieser an physischen und räumlichen Objekten. Zwischen dem Core-Layer und der disziplinspezifischen „Domain-Layer“, liegt der „Shared-Layer“, durch den Bauteilklassen definiert werden und die baufachgebietsübergreifende Zusammenarbeit gewährleistet wird. Inhalt des Domain-Layers sind baufachspezifische Klassen, beispielsweise Architektur, Gebäudesteuerung, Bauausführung. Der vierte Layer heißt „Resource-Layer“ und dessen Klassen beschreiben die Basisdatenstruktur. Sie werden nicht aus IfcRoot abgeleitet und besitzen somit keine eigene „Global Unique ID“ (GUID), weshalb sie nicht autonom, ohne ein Referenzobjekt, im Datenschema IFC existieren können. Im Datenschema IFC werden Beziehungen über Objekte dargestellt, diese Beziehungsobjekte sind Teil der Klasse

IfcRelationship und heißen beispielsweise bei der Beschreibung eines Fensters: IfcVoidselement und IfcFillselement. Die dazu zusetzenden Attribute heißen related...Element und relating...Element. Die Geometriebeschreibung erfolgt nach den zuvor genannten Verfahren, jedoch meist über Boundary-Representation. Es wird zwischen der semantischen Beschreibung und der geometrischen Repräsentation getrennt. Im IFC-Datenschema werden hauptsächlich lokale Koordinatensysteme zu Platzierung der Elemente verwendet, hiervon ausgenommen ist IfcSite, da diese zur Bauplatzbeschreibung verwendet wird.

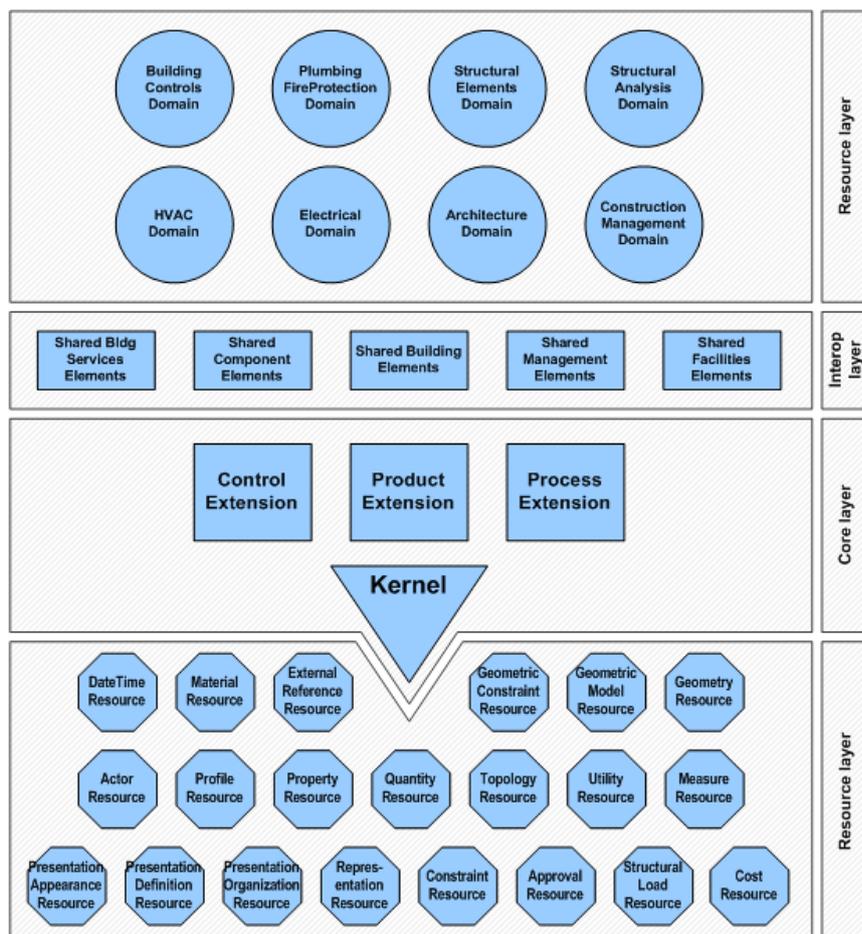


Abbildung 2-2: IFC-Schema aus der IFC (buildingSMART E.V., kein Datum)

Je nach Softwarehersteller werden BIM-Modelle in eigenen Dateiformaten verwendet, beispielsweise werden in Allplan Dateien im Format .ndw gespeichert und können dann in eine IFC-Datei exportiert werden.

## 2.4 Entwicklung

Je nach Einführungsgrad der Building Information Model Methode ist eine Reifegradstufe von der Britischen BIM Task Group definiert worden. In der Stufe 0 wird in 2D mit CAD Zeichnungen gearbeitet und der Datenaustausch erfolgt mit auf Plänen gedruckten 2D Zeichnungen.

|   | Level 0     | Level 1                      | Level 2  | Level 3  |
|---|-------------|------------------------------|--|--|
| Austauschformate                                | CAD         | Proprietäre Formate<br>2D/3D | BIMs   | iBIM (IDM, IFC, IFD)<br>ISO-<br>Standards                          |
| Datenqualität                                   | Zeichnungen | Geometrische Modelle         | Disziplinspezifische BIM-Modelle                               | Integriertes, interoperables BIM-Modell über gesamten Lebenszyklus |
| Datenaustausch. Koordination der Zusammenarbeit | Papier      | Austausch einzelner Daten    | Zentrale Verwaltung von Dateien, gemeinsame Objektbibliotheken | Cloud-basierte Modellverwaltung                                    |

Tabelle 2-1: BIM-Reifegradstufen nach der britischen BIM Task Group in Anlehnung an (Borrmann A., 2015)

Mit der 1 Stufe folgt eine erste Einführung der Visualisierung komplexer Bereiche in 3D, der Großteil der Pläne wird jedoch in 2D gehalten. In dieser Stufe existiert keine zentrale Projektplattform, die Daten werden einzeln ausgetauscht. In der Stufe 2 wird dann mit einem Building Information Model gearbeitet, jedoch verwenden die Projektanten eigens entwickelte Modelle. Durch gemeinsame Objektbibliotheken und eine zentral gehaltene Datenverwaltung können die jeweiligen BIM-Modelle ausgetauscht und abgeglichen werden. Dem Bauherrn werden in gewissen Zeitabständen in der neutralen Tabellenblätterstruktur „Construction Operations Building Information Exchange“ (COBie), relevante Gebäudeinformationen zur Verfügung gestellt. Die Einführung von ISO-Standards für den Datenaustausch erfolgt mit der Stufe 3. Mit diesen Standards kann die Verwendung sämtlicher BIM-Softwaretools die unterschiedlichen Herstellern entstammen erfolgen, ohne dass die Datenumwandlung erhebliche Probleme verursacht. Die Bauwerksmodelle werden über den gesamten Lebenszyklus der Gebäude verwendet, somit ist man bei dem Big Open BIM angekommen. Ebenso werden in dieser Stufe integrierte und interoperable Bauwerksmodelle cloud-basiert verwaltet. Mit der Reifegradstufe steigt die Effizienz der Projektarbeit (Borrmann A., 2015). Im folgendem wird der Einführungsgrad der Building Information Modeling Methode national und international beschrieben.

Gegenwärtig ist in Deutschland noch die Nutzung von 2D-CAD Zeichnungen zur Projektkoordination üblich. Mit der Verfügbarkeit durchdachter BIM-Softwaretools und der voranschreitenden Standardisierung, wird die Einführung der BIM-Methode in Deutschland ermöglicht. 2013 wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Rahmen der Forschungsinitiative „ZukunftBAU“ die Erstellung eines BIM-Leitfadens in Auftrag gegeben (Forschungsinitiative ZukunftBAU, 2013). Mit dem „Stufenplan digitales Bauen“, wird die Einführung des Building Information Modeling bei Infrastrukturprojekten angeführt. Bis 2017 dauert noch die Projektvorbereitungsphase an, während der die Standardisierung der benötigten Projektabläufe sowie die Durchführung einiger Pionierprojekte, erfolgen. Ab Mitte 2017 ist die Einführung des Leistungsniveau 1 vorgesehen. Leistungsniveau 1 beinhaltet drei Säulen, Daten-, Prozess-, Qualifikationsanforderungen. Zeitpunkt und Inhalt der Datenübergabe wird mittels der Auftraggeber-Informations-Anforderungen geregelt. Der Prozessablauf wird über einen BIM-Execution- oder BIM-

---

Ausführungsplan (BEP/BAP) koordiniert. Die Qualifikationsanforderungen richten sich an die Ausführenden und deren vorhandene BIM-Kompetenzen, die gewährleistet sein sollte.

Ab 2020 setzt das Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur, als Bauherr für seine Projekte die Nutzung von BIM nach dem Leistungsniveau 1, voraus (planen-bauen 4.0 GmbH, 2015). Die Deutsche Bahn AG setzt als einer der vom Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur Pilotprojekte die BIM Methode zur Abwicklung des Neubaus des Tunnels Rastatt in Baden Württemberg ein. Am Tunnel Rastatt wird der Bauablaufsfortschritt auch digital festgehalten. Bisher hat die DB AG durchweg positive Erfahrungen gemacht, sodass in Zukunft bei sämtlichen Großprojekten mit der BIM-Methode gearbeitet wird (Deutsche Bahn AG, 2016).

Auf der internationalen Ebene sind bereits von einigen Regierungen Richtlinien und Standards für den BIM-Prozess veröffentlicht worden. Der nachfolgende Absatz behandelt die Einführung im Vereinigten Königreich und in den Vereinigten Staaten.

Ausgehend von der 2011 veröffentlichten „Construction Strategy“, die im Vereinigten Königreich eine Kostenreduktion von bis zu 20% bei öffentlichen Bauvorhaben und eine Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um bis zu 50 % über die BIM-Methode anstrebt, wurde für Großbritannien eine Implementierungsstrategie entwickelt (BIM Task Group, 2013). Unterstützt wird diese Implementierung durch die BIM Task Group, über die ein erheblicher Teil des BIM-Knowhows kommuniziert wird. Unter der Schirmherrschaft der British Standards Institution wurden einige Projektdokumente veröffentlicht, unter anderem die COBie-UK-2012 und die „Employer’s Information Requirements“. Zu diesen Dokumenten gehört auch die „Public Available Standards“ (PAS) 1192-2, in den spezifischen Richtlinien für das Informationsmanagement thematisiert werden, sodass der Informationsaustausch in konsistenter und strukturierter Weise abläuft. Ab 2016 müssen in allen von der Regierung getragenen Bauvorhaben BIM-Modelle der Reifegradstufe 2 verwendet werden. Die Abgabe der digitalen Planungsunterlagen sowie die Kollaboration erfolgt über PDFs, die nativen BIM-Dateiformate und der herstellereutralen COBie Tabellenblätterstruktur. Auf den zuvor entwickelten Methoden baut die „Digital Built Britain“ Initiative auf, die 2015 von der BIM Task Group ins Leben gerufen wurde und dessen Ziel die Implementierung von BIM in der dritten Reifegradstufe ist (BIM Task Group, 2015).

Mit dem „National Building Information Standard“ wurde vom „Facility Information Council“ eine Standardisierung und strukturweisende Schrift für die breite US-amerikanische Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Seit dem Jahr 2008 wurden drei Versionen dieses Standards veröffentlicht, zuletzt 2015. Inhalt des offenen Konsensstandards, der mit Hilfe zahlreicher Baufachprojektanten erstellt wurde, sind 19 verschiedene Referenzstandards, -bedingungen, und -definitionen. Zusätzlich enthält der Standard noch 9 unterschiedliche Informationsaustauschstandards, darunter auch der zuvor genannte COBie Standard, und 8 Leitlinien die den Nutzer in der Implementierung von BIM unterstützen (buildingSMART alliance, 2015). Das „US Army Corps of Engineers“ hat für alle seine in Deutschland geplanten und zu bauenden Objekte die Verwendung von BIM vorgesehen. Die „General Service Administration“ hat für seine in Auftrag gegebene Projekte BIM-Modell vorausgesetzt, an denen die automatisierte Modellvalidierung möglich ist (Eastman, 2011).

### 3 Überprüfung von Modellinhalten

Bei der Erstellung eines korrekten Gebäudemodells, welches Normen- und Richtlinien konform ist, kann mit der Nutzung digitaler Methoden zur Modellvalidierung erhebliche Zeit- und Aufwandsersparnis erfolgen. Gegenwärtig ist die Konformitätsüberprüfung eines Gebäudes meist ein manueller Prozess. Die zu beachtenden Vorschriften innerhalb des Bauwesens variieren von Region zu Region und weisen auch im fachlichen Geltungsbereich Unterschiede auf. Da die zur Modellierung verwendeten Werkzeuge hoch entwickelt sind und eine Vielzahl an Aktivitäten ermöglichen, ist auch die Komplexität des Modellierungsprozesses selbst nicht zu unterschätzen. Bei der Überprüfung auf Modellierungsfehler und der Normen- und Richtlinienkonformität sollte zusätzlich eine manuelle Plausibilitätsüberprüfung erfolgen, weswegen der Prozess nicht als vollständig automatisierbar zu erachten ist. Im nachfolgenden Kapitel wird zunächst auf die Entwicklung teilautomatisierter Überprüfungsprozesse eingegangen, welche Aspekte die Korrektheit eines Gebäudemodells ausmachen und der Ablauf einer Modellüberprüfungsprozesses dargestellt.

#### 3.1 Historie der Modellüberprüfung

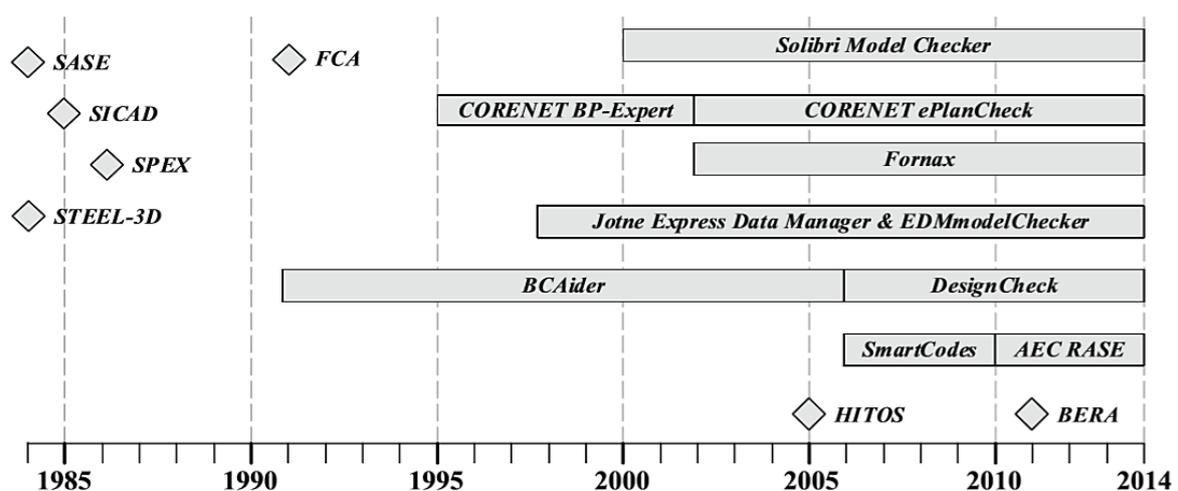
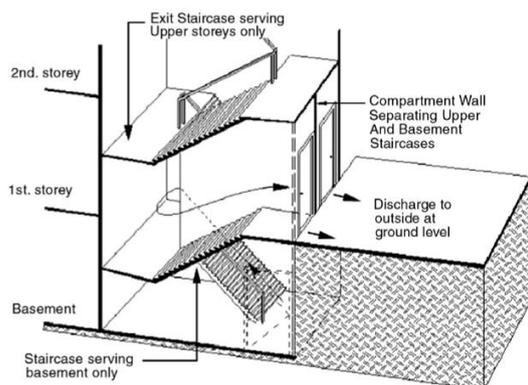


Abbildung 3-1 (Borrmann A., 2015)

Als erste Entwicklung im Bereich der teilautomatisierten Konformitätsüberprüfung sahen Eastman et al. (2009) die Verbesserung der logischen Struktur von Richtlinien. Die Inkorporation von Richtlinien in Entscheidungstabellen und die Entwicklung von Softwaretools für das Richtlinienmanagement wird als ein weiterer Schritt gesehen. So zum Beispiel das „SASE-Datenmodell“, eine Sammlung von Entscheidungstabellen für das Bauwesen, welche regelbasiert und von organisatorischer Perspektive ausgelegt sind und vorerst die automatisierte Überprüfung der interpretierten Regeln außen vorließen (Eastman, et al., 2009). Die SASE-Entscheidungstabellensammlung fand im Verlauf der Zeit weitere Verwendungen, so auch in STEEL-3D (Preidel, 2014).

Automatisierte Modellvalidierung ist in Singapur einer der Hauptmerkmale der BIM-Verwendung. Mit dem „CORENET“ hat Singapur weltweit die erste e-Submission, also

digitale Abgabe von Bauwerksunterlagen zur Normenkonformitätsprüfung geschaffen. Schon 1995 wurde die teilautomatisierte Konformitätsprüfung von 2D Bauwerkszeichnungen initiiert und 1998 erfolgte dann der Wechsel der Eingangsinformationen zu IFC Gebäudemodelldaten (Eatsman, et al., 2009). Im Jahr 2010 wurde die e-Submission von architektonischen BIM-Modellen an 9 regulatorischen Behörden eingeführt und ist seitdem durch die Einführung der Abgabe von mechanischen, elektrischen und sanitären Modellen erweitert worden. Der CORENET e-plancheck ermöglicht anschließend die automatisierte Modellüberprüfung, an denen im IFC-Format abgegebenen Planungsunterlagen (Building and Construction Authority, 2011). Diese Überprüfung erfolgt über FORNAX Objekte, deren Definition die Semantik einer Norm- oder Richtlinie erfasst.



| ExistStaircaseShaft       |  |
|---------------------------|--|
| Methods                   | Description  |
| <b>IsPressurized</b>      | Check if this exit staircase shaft requires pressurization   |
| <b>GetFireRating</b>      | Get the fire-rating of this exit staircase shaft.  |
| <b>GetDischargeLevels</b> | Fetch all discharge levels from this shaft. Calculate the nearest discharge level through this shaft for a given storey. |
| <b>MinStaircaseWidth</b>  | Calculate the minimum width of the staircase in this shaft between any two storeys which this shaft serves.              |
| <b>SwingDirection</b>     | Calculate the swing direction relative to this shaft for a given door.   |

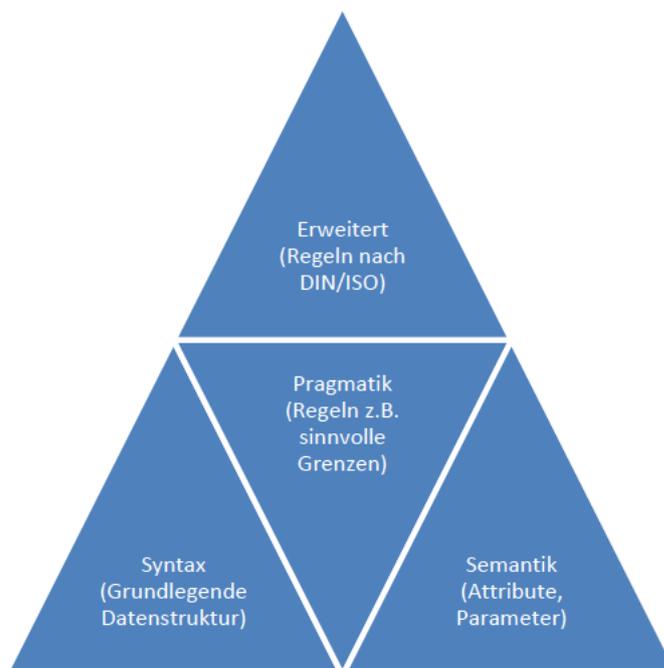
Abbildung 3-2: FORNAX Objekt ExistStaircaseShaft (Eatsman, et al., 2009)

Im Gegensatz dazu erfolgt bei dem „EDModelChecker<sup>TM</sup>“ eine Validierung der Datenstruktur, bei der überprüft wird ob diese dem IFC Schema entspricht.

Die Vielzahl an Softwarelösungen, die in den letzten Jahren entwickelt wurden, unterscheiden sich auch oftmals in ihren Funktionen. Im nachfolgenden Kapitel wird dargestellt wie vielschichtig die Modellqualität beeinträchtigt werden kann.

### 3.2 Hintergründe der Modellüberprüfung

Zu den Aspekten der Modellqualität gehören die Modellaktualität, die Modelldatengenauigkeit und die Korrektheit von Modellinhalten mit der die Richtigkeit, die Konsistenz und Vollständigkeit von Modelldaten beschrieben wird. Bei der digitalen Modellierung eines Bauwerks kann auf verschiedenen Ebenen des Datenmodells die Korrektheit eines Modells beeinträchtigt werden.



**Abbildung 3-3: Fehler innerhalb eines BIM-Gebäudemodells**

Wenn die grundlegende Datenstruktur fehlerbehaftet ist wird die „well-formedness“, damit ist die Korrektheit der Form, beziehungsweise die Korrektheit der formalen Kriterien des Modells, beeinträchtigt und man spricht von Fehlern auf der syntaktischen Ebene. Diese Fehler stammen meist aus der Übertragung von Daten, die aus ihrer eigenen heterogenen und nativen Datenstruktur in das IFC-System übersetzt wurden (Yong-Cheol, et al., 2015).

Aufbauend darauf erfolgen Fehler in der semantischen Ebene während der Eingabe des Nutzers. Die inkorrekte Verwendung der Modellierungssoftware, zum Beispiel die Verwendung falscher Attributwerte und Entitätstypen, fehlerhafte Vererbungsbeziehungen, Widersprüchlichkeiten mit der zugrundeliegenden Datenstruktur und vorhandene Redundanzen (Yong-Cheol, et al., 2015) können zu schwerwiegenden semantischen Fehlern führen.

Um der Existenz überflüssiger Informationen entgegenzuwirken werden „Model Views“ und „Level of Developments“ definiert. Mit dem Level of Development eines Gebäudemodells wird der Inhalt und die Zuverlässigkeit dieser Inhalte spezifiziert. Die Model Views definieren im Gegensatz dazu eine Untereinheit von Informationen, die in einem disziplinspezifischen Modell enthalten sein müssen (Solihin & Eastman, 2015).

Auf der pragmatischen Modellebene wird die Richtigkeit der Interpretation des zuvor modellierten Inhalts angesprochen. Von Fehlern spricht man hier wenn in einem Modell Inkonsistenzen existieren oder gesetzte Attribute sinnvollen Grenzen widersprechen. Beispielweise ist für eine Wand innerhalb eines Gebäudemodells die Wandlänge auf 10 mm eingestellt worden. Es handelt sich hier um Modellierungsfehler da in den Regesätzen definiert wurde, dass eine Wand erst ab einer Länge von 200 mm sinnvoll ist.

Die erweiterte Modellebene umfasst Widersprüchlichkeiten bezüglich Baumormen, lokalen Bestimmungen oder den vom Bauherrn geforderten Funktionen. Äußere Randbedingungen und Anforderungen an das Modell können meist erst nach einer Aufbereitung der Modellinhalte

überprüft werden. Ein Beispiel von Yong-Cheol, et al. (2015), bei denen Fehler auf dieser erweiterten Ebene „Design programming requirement errors“ genannt werden, sind die öffentlich und nichtöffentlich zugänglichen Bereiche eines Krankenhauses. Besucher sollten auf einfachem und direktem Weg, ohne beispielsweise Behandlungsbereiche zu durchqueren, einen Patienten besuchen können.

Der zeitgleiche Zugriff und Veränderung von Informationen innerhalb des Bauwerksmodells beeinträchtigt die Korrektheit des Modells über einen bestimmten Zeitraum. Um solche Inkonsistenzen zu vermeiden, sollte der Umgang mit BIM-Modellen einem geregelten Ablauf folgen, wie er zum Beispiel in der PAS 1192-2 der britischen BIM-Task Group beschrieben wird

### 3.3 Prozessablauf der Modellüberprüfung

Qualitätskontrollen erfolgen im BIM-Prozess über Modellierungsrichtlinien, auf die sich im Vorfeld innerhalb des BEP geeinigt wurde. Die zuvor genannte PAS 1192-2 (British Standards Institution, 2013) ist eine Richtlinie für den Umgang und die Abgabe von BIM-Modellen.

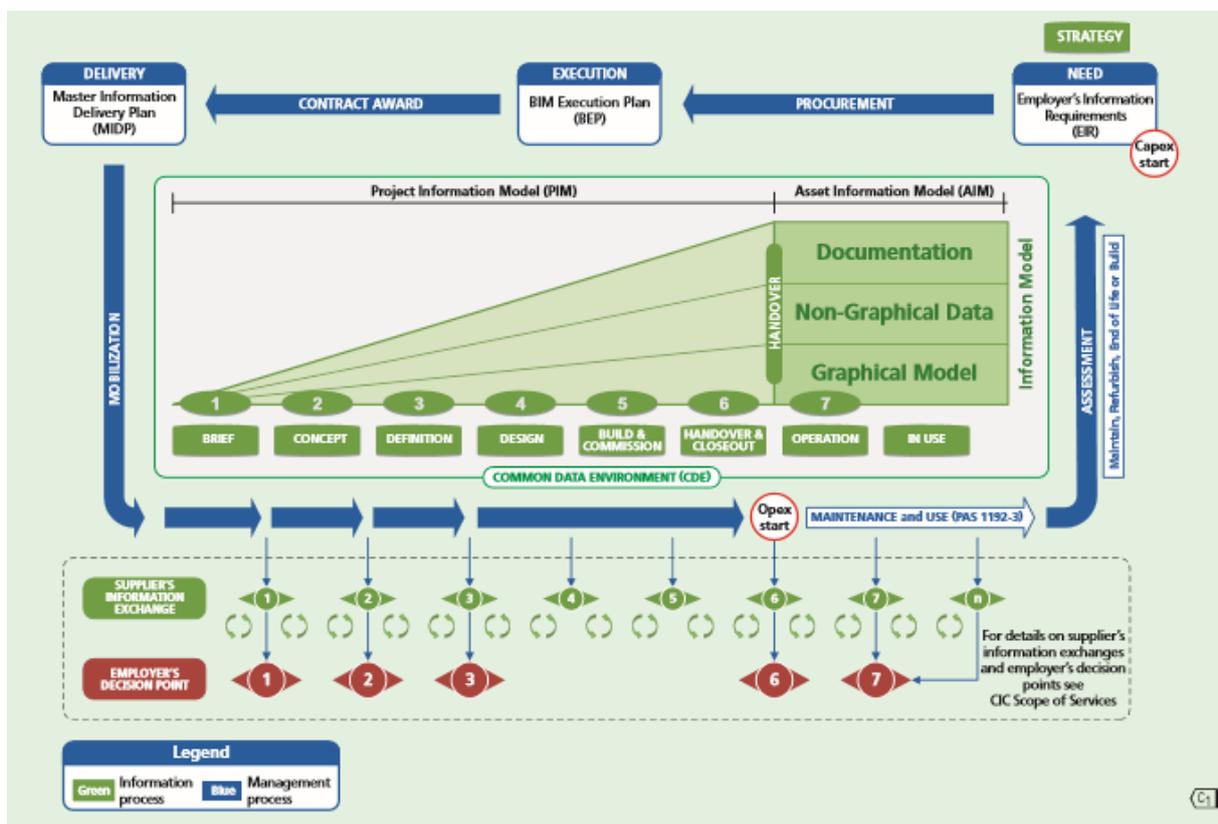


Abbildung 3-4 Information Delivery Cycle (British Standards Institution, 2013)

Die „Common Data Environment“ (CDE) ist die Umgebung in welcher der Kollaborationsprozess stattfindet. Zu Beginn eines Projektes werden über „Employer's Information Requirements“ (EIR) und dem BEP grundlegende Rahmenbedingungen bezüglich der Informationsübergabe, der Standardisierung und den verwendeten Prozesse festgelegt. Der EIR umfasst die Anforderungen des Auftraggebers an das Informationsmanagement seines Projektes. Solche Anforderungen können den Detailgenauigkeitsgrad, die Aufteilung der Arbeit und der Daten oder auch Bestimmungen für die Modellkoordination wie beispielsweise in

welcher Häufigkeit eine Kollisionserkennung durchgeführt werden soll, erfassen. Im Laufe eines Projektes sammeln sich in der CDE neben dem immer umfangreicher werdenden grafischen Modell, auch nichtgrafische Modellinformationen sowie Dokumentation. Die Projektinformationen bleiben im Besitz des Urhebers, der als einziger die Rechte besitzt diese zu verändern. Aber die Informationen können trotzdem von weiteren Nutzern geteilt und wiederverwendet werden. Wie in Abbildung 3-5 dargestellt gibt es verschiedene „Gates“ die durchschritten werden müssen. Bevor Dateien in den „SHARED“ Bereich, also dem gemeinsamen digitalen Ablageort, gelangen, erfolgt über „Approved Gate“ eine Reihe von Überprüfungs- und Abnahmeprozessen. Hier wird ein einzelnes Modell auf dessen Geeignetheit, auf den technischen Inhalt, die Verwendung der standardisierten Methoden und Prozesse, die COBie-Vollständigkeit überprüft und muss über einen Task Team Manager zugelassen werden. Um den „Authorized Gate“ zu passieren muss die Projektinformation von dem Projektleiter oder seinem Stellvertreter autorisiert werden. Dies erfolgt über eine Überprüfung der Konformität mit dem EIR und den „Plain Language Questions“. Wie man sieht ist in der PAS1192-2 (British Standards Institution, 2013) die Modellüberprüfung an einigen Stellen innerhalb des Koordinationsprozesses vorgesehen. Im Folgenden wird zunächst auf die Überprüfung eines einzelnen Modells und dann auf die Kollisionserkennung zwischen mehreren Teilmodellen eingegangen.

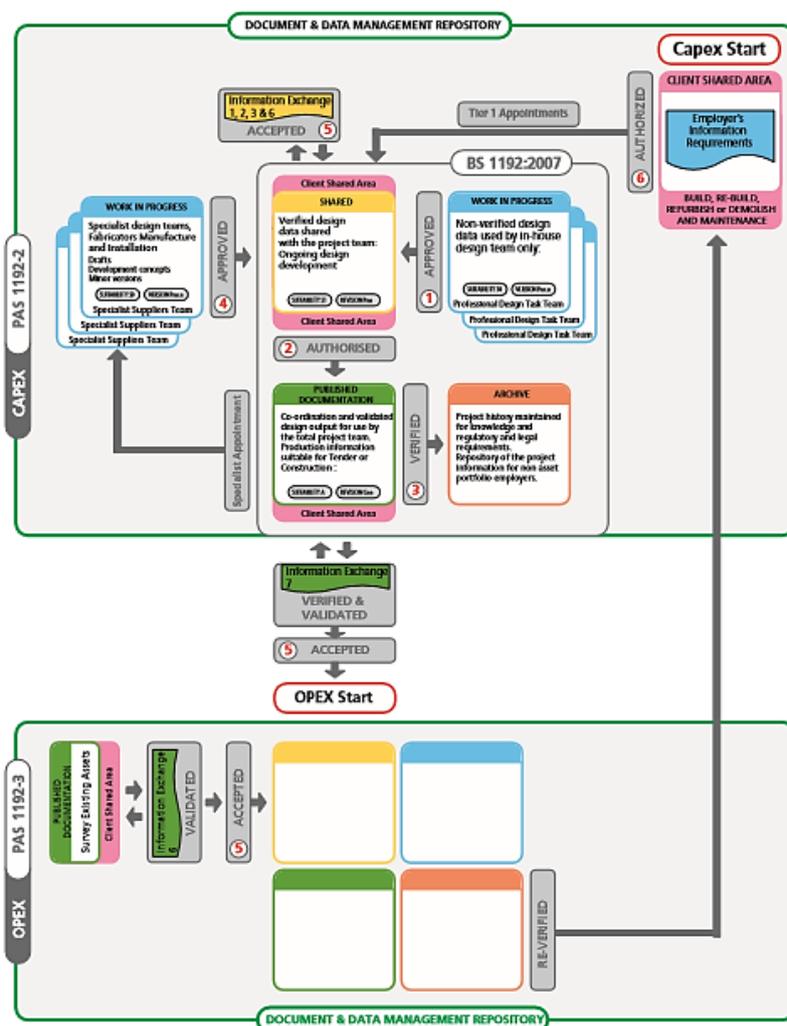


Abbildung 3-5 (British Standards Institution, 2013)

### 3.3.1 Überprüfung eines Modells

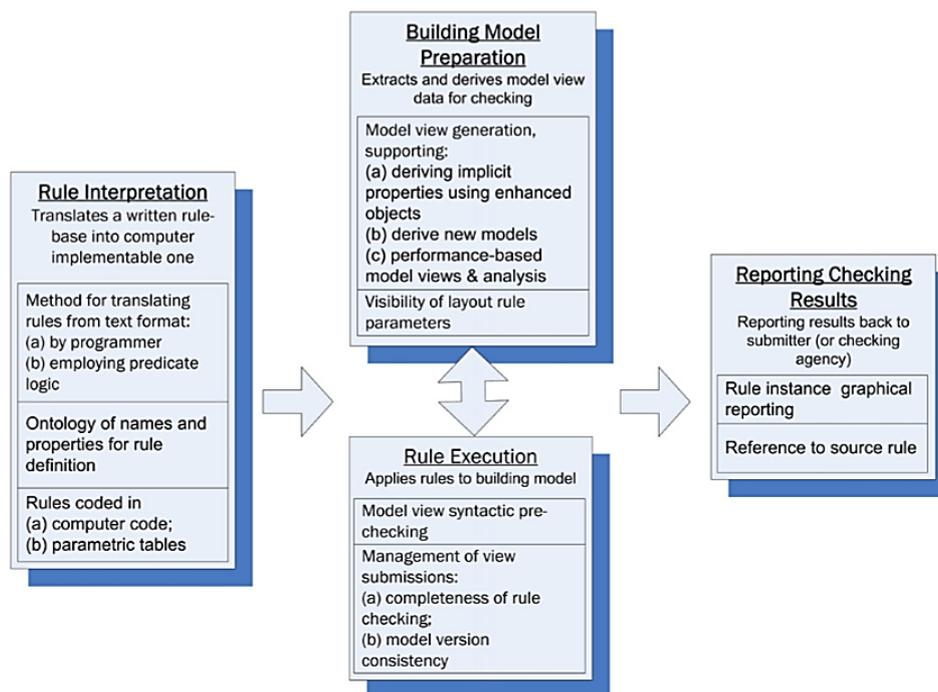


Abbildung 3-6 Überprüfungsprozess nach (Eatsman, et al., 2009)

Die teilautomatisierte Konformitätsüberprüfung besteht aus vier Schritten. Zunächst einmal müssen die Regelwerke, in eine für den Computer verständliche Sprache übersetzt werden. Da in Regelwerken Sachverhalte auf vielfältige Art und Weise dargestellt werden, beispielsweise als Fließtext, Zeichnung oder Tabelle, ist diese Übersetzung ein komplexer und aufwändiger Prozess. Nach Eastman et al. (2009) wird zwischen zwei Interpretationsmethoden differenziert, zum einen der zuvor genannte logikbasierte Ansatz und zum anderen eine Interpretation durch einen „programmer“.

Bei der Prädikatenlogik, der logikbasierten Methode, wird eine wohldefinierte Funktion auch Prädikat genannt auf wahr oder falsch geprüft. Es erfolgt auch eine Quantifizierung, bei der entschieden wird ob eine Bedingung nur existiert oder auf alle Instanzen zutrifft (Eatsman, et al., 2009). Diese Methode zur Interpretation ist zwar für einen Anwender verständlicher, kann aber bei komplexeren Sachverhalten schnell an Übersichtlichkeit verlieren. Die Übersetzung von Regelungen in Maschinencode durch einem „programmer“ ist in ihrer Implementierung direkter, erfordert aber ein hohes Maß an Kompetenz bei der Definition, Niederschrift und Aufrechterhaltung (Eatsman, et al., 2009).

Die Aufbereitung des Gebäudemodells erfolgt über die Erstellung der Model Views. Um den Überprüfungsprozess effizient zu gestalten werden Untereinheiten eines Building Information Models generiert, welche für die zu überprüfende Regel spezifische Informationen beinhalten (Eatsman, et al., 2009).

Vor der Regelüberprüfung sollte nachgewiesen sein, dass die für die Regel benötigten Informationen auch alle vorhanden sind. Eastman et al. (2009) sprechen hier von der „Model view syntactic pre-checking“. Der Überprüfungsprozess selbst wird als geradliniger Prozess

beschrieben, sofern die Regeln konsistent mit deren Funktionen interpretiert wurden und diese Funktionen den Fähigkeiten und Informationen des Gebäudemodells entsprechen. Solihin und Eastman (2015) differenzieren zu überprüfende Regelungen nach den benötigten Eingangsdaten.

1. Regeln die nur einzelne oder einen geringen Anteil von Informationen erfordern
2. Regeln die einfache abgeleitete Informationen erfordern.
3. Regeln die eine erweiterte Datenstruktur erfordern
4. Regeln die ein Lösung erfordern

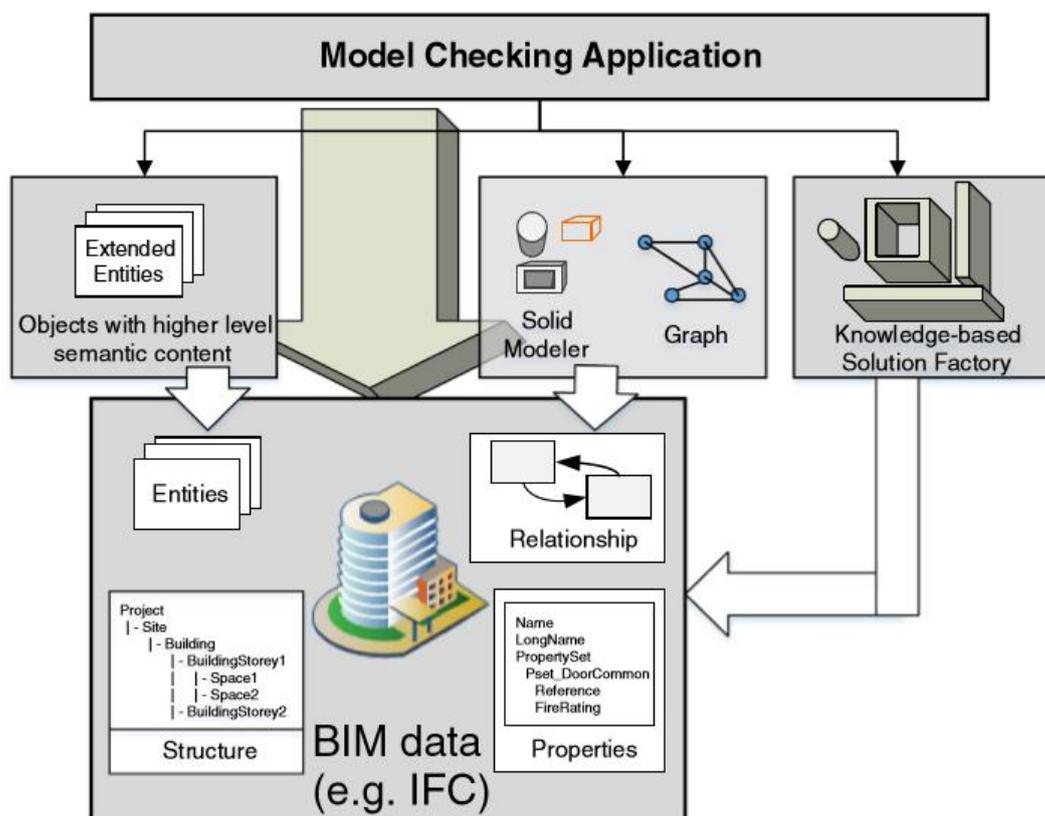


Abbildung 3-7: Modellüberprüfungsplattform welche sämtliche Regeln überprüfen kann (Solihin & Eastman, 2015)

Mit der Aufbereitung der Ergebnisse des Prozesses wird der gesamte Prozess dokumentiert. Die Dokumentation von Konflikten erfolgt graphisch, zum Beispiel wird der Blickpunkt auf die Konfliktregion geleitet. Die Regel über den der Konflikt entstanden ist, wird auch festgehalten.

### 3.3.2 Clash-Detection bzw. disziplinübergreifende Modellkoordination

Mit der Clash Detection wird die automatisierte Erkennung von Kollisionen, also die Erfassung geometrischer Durchdringungen und Konflikte beschrieben. Dabei können sich die Konflikte innerhalb eines einzelnen Modells befinden oder bei der gegeneinander Prüfung mehrerer Modelle entstehen. Diese Funktion spielt eine entscheidende Rolle bei der Zeit-, Kosten- und Aufwandsersparnis. Softwaretools, wie der Solibri Model Checker, beinhalten Clash Detection und sorgen damit für eine verbesserte Konsistenz der Gebäudeteilmodelle und steigern die

Nachvollziehbarkeit des Modellierungs- und Koordinationsprozesses für alle Beteiligte (Borrmann A., 2015). Das nachfolgende Kapitel beschäftigt sich mit dem Solibri Model Checker™. Zu dessen Funktionen die „Clash-Detection“ gehört, diese jedoch auch mit Hilfe semantischer Informationen bewerten kann.

## 4 Solibri Model Checker

### 4.1 Entwicklung

Der Solibri Model Checker™ (im Folgenden auch SMC™ genannt) ist eine java-basierte Plattform die zur Überprüfung der -Qualität von Gebäudemodellen entwickelt wurde. In den Anfängen entwickelte die finnische Technologiefirma Solibri Inc. ein Werkzeug zur automatischen Mengenermittlung. Da die Qualität der verwendeten Gebäudemodelle ausschlaggebend für die Korrektheit der Mengenermittlung ist, wurde ein Qualitätsmanagement-Werkzeug entwickelt (Asmera, kein Datum). Seit seiner Veröffentlichung im Jahr 2000, wurde der SMC™ sowohl bezüglich seines Funktionalitätsumfangs als auch seines Userinterfaces weiterentwickelt. Die Software wird derzeit in mehr als 70 Ländern verwendet (Nemetschek AG, 2016). Unter anderem von der US General Services Administration, die den SMC in seinem Building Information Modeling Programm inkorporiert hat und mit dessen Hilfe die Konformität eines Gebäudes auf deren Anforderungen überprüft wird. Solibri Inc. wurde 2015 von der Nemetschek AG erworben. Aktuell ist der SMC™ in der Version 9.6 erhältlich (Solibri Inc., A Nemetschek Company, 2016).

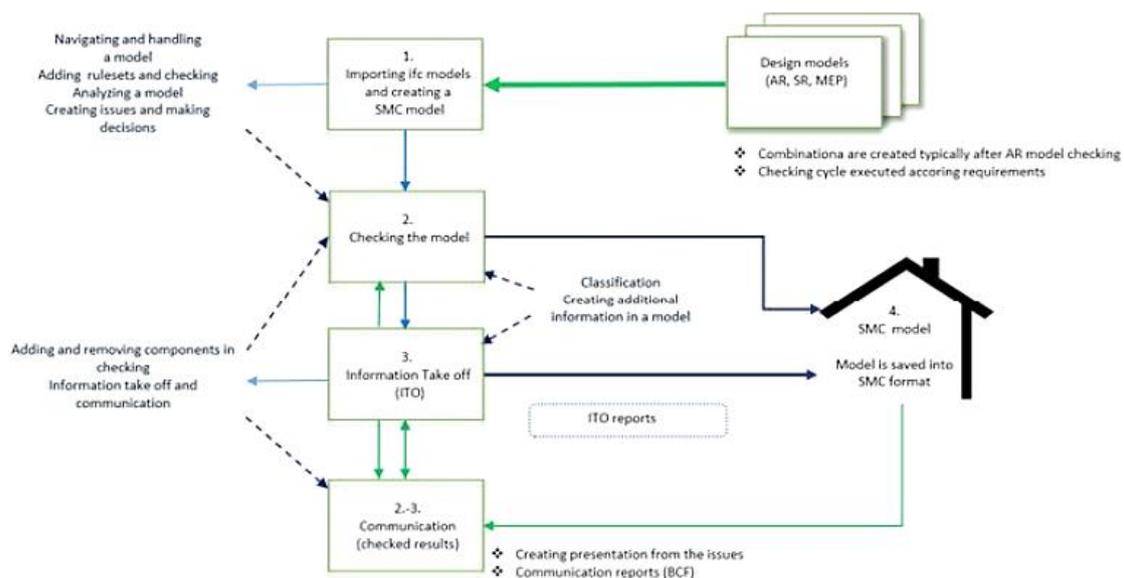


Abbildung 4-1: Die Funktionen des SMC™ (Solibri Inc., A Nemetschek Company, 2016)

## 4.2 Aufbau und Funktionsweise

In den SMC™ kann man Modelle im IFC-Format, im komprimierten IFC-Format und im DWG-Format importieren. Diese Daten werden in einem eigenen internen Datenmodell abgebildet, welches die Gebäudegeometrie, sämtliche Eigenschaften und Beziehungen, Regelsätze für die Überprüfung und deren Ergebnisse, sowie vom Nutzer definierte Abschnitte und Entscheidungen beinhaltet. Der SMC™ ist als Werkzeug für die Qualitätskontrolle, für die Konformitätsüberprüfung und zur Unterstützung der Designanalyse konzipiert worden. Die Funktionen des SMC™ werden über eine grafische Benutzeroberfläche bedient.



Abbildung 4-2 Hauptsymboleiste des SMC

In der Hauptsymboleiste des SMC wurden die Registerkarten Datei, Modell, Überprüfen, Kommunikation und Auswertung integriert. Diese fünf Reiter umfassen die standardisierten Fenster-Layouts mit denen der SMC bedient werden kann. Inhalt des Layouts bilden ausgewählte Ansichtsfenster. Um die Funktionen des SMC zu erläutern, werden zunächst die Standardlayouts vorgestellt und einige der funktionellen Ansichtsfenster beschrieben.

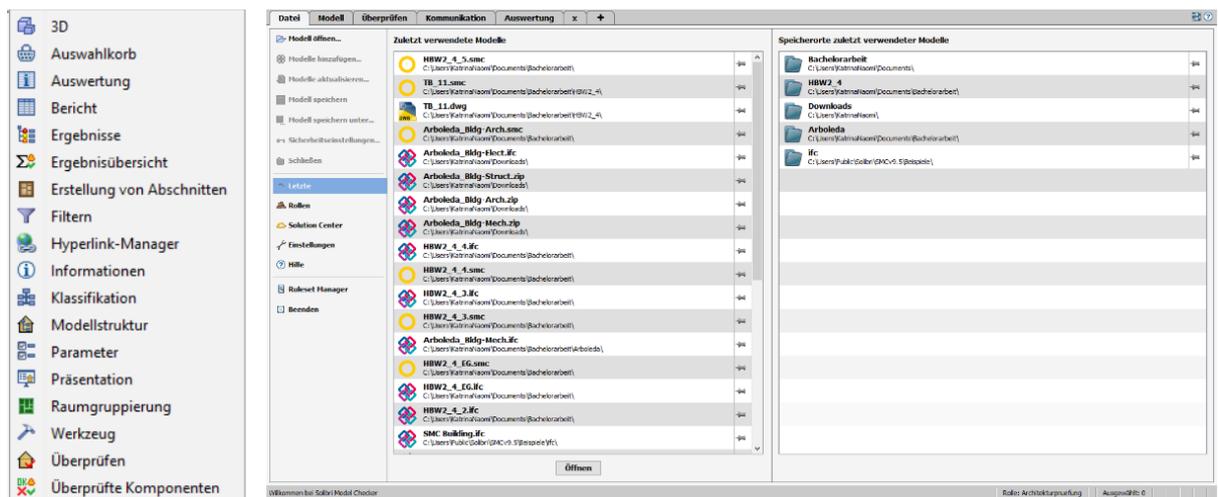


Abbildung 4-3 links: verschiedenen Ansichtsfenster, rechts: Standardlayout Datei

Der Standardlayout Datei ist schreibgeschützt und kann nicht verändert werden, da hier auf die allgemeinen Befehle für die Datenverwaltung zugegriffen wird.

Zu Beginn wählt der Nutzer eine Rolle. Diese Rolle kann etwa Architekturregelüberprüfung oder BIM-Koordination sein. Diese Rollen beinhalten dann auf den Nutzer zugeschnittene Regelsets, Klassifikationen und Auswertungseinstellungen. Diese Einstellung kann mit der Auswahlmöglichkeit „Rollen“ verändert werden.

Im „Solution Center“ können weitere Anwendungen und Erweiterungen heruntergeladen werden. Beispielsweise die Anwendung „IFC-Optimizer“, der die Komprimierung von IFC-Daten unterstützt, oder die „Finnish BIM-Requirements“, eine Regel- und Klassifikationserweiterung nach den finnischen BIM-Anforderungen.

---

Mit dem „Ruleset Manager“ kann ein Benutzer neue Regelsätze erstellen und vorhandene Regeln bearbeiten (Solibri Inc. A Nemetschek Company, 2014). Für den SMC™ stehen einige Überprüfungsregelsätze per Voreinstellung zur Verfügung, diese sind:

Beispielregeln für das Erlernen des SMC™:

46 verschiedene Regeln um den Umgang mit den SMC™-Regeln zu erlernen, darunter Regeln für die Barrierefreiheit und für Etagenabstand

Architekturregelüberprüfung für die grundlegende Untersuchung der Architektur:

Allgemeine Überprüfung von Räumen; BIM-Überprüfung, Erweiterte Überprüfung von Räumen; Fluchtweganalyse; Gebäudeeffizienz; Mengenermittlung; Projektspezifische Typen und Namen; Raumprogramm; Überprüfung von Einrichtung und anderen Objekten; Überschneidungen zwischen Architekturkomponenten; Vergleich von Modellüberarbeitungen; Vorüberprüfung für die Energieanalysen

Regeln für Mechanik, Elektrik und Sanitär:

Bemessungswerte in MagiCAD; BIM-Überprüfung – Mechanik, Elektrik, Sanitär; Modelle für Mechanik, Elektrik, Sanitär und Architekturmodell; Modelle für Mechanik, Elektrik, Sanitär und Strukturmodellüberprüfung; Überschneidungen in Modellen für Mechanik, Elektrik, Sanitär; Vergleich von Modellüberarbeitungen

Strukturregeln: BIM-Überprüfung - Struktur; Überschneidungen zwischen Strukturkomponenten; Vergleich von Modellüberarbeitungen - Struktur; Vergleich von Struktur- und Architekturmodellen

Das Standardlayout „Modell“ beinhalten die Ansichtsfenster 3D, Modellstruktur und Information:

In dem Fenster Modellstruktur lässt sich das Gebäudemodell nach dessen Hierarchie, Komponenten und Ebenen untergliedert darstellen. So können einzelne Objekte oder auch Komponenten ausgewählt werden, um dann im 3D-Ansichtsfenster visualisiert zu werden. Objekte wählt man aus, indem man diese zu dem Auswahlkorb hinzufügt. Um nur die Fenster und Türen im 3D-Ansichtsfenster zu sehen, kann man über den „Pluszeichen-Button“ ein Objekt dem Auswahlkorb zuweisen, folglich wird über den „Minuszeichen-Button“ das Objekt aus dem Auswahlkorb entfernt. Mittels des „Ist-gleich-Buttons“ werden im 3D-Ansichtsfenster die dem Auswahlkorb zugewiesenen Objekte angezeigt.

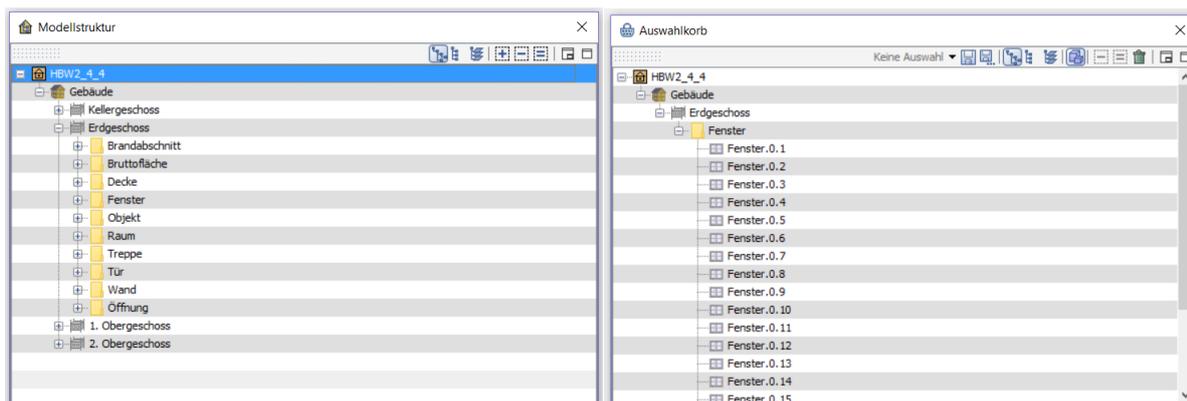


Abbildung 4-4: links: Ansichtsfenster der Modellstruktur

Abbildung 4-5: rechts: Ansichtsfenster des Auswahlkorbes

Das 3D-Ansichtsfenster des SMC<sup>TM</sup> ist ein multifunktionales Werkzeug für die Visualisierung eines Gebäudemodells. Nach dem Öffnen eines Modells, ist dieses zunächst einmal nach den Grundeinstellungen dargestellt. Das Ansichtsfenster kann über die Symbolleiste im linken oberen Eck, oder aber über das Pop-up-Menü bedient werden. Objekte können in vielfältigen Weisen dargestellt und visualisiert werden. Möglich ist hierbei eine Veränderung der farblichen Darstellung ebenso wie die transparente Einfärbung bestehender Bauteile. Der SMC<sup>TM</sup> bietet den Benutzern auch die Einnahme einer anderen Perspektive, durch diese dann wie in einem Computerspiel navigiert werden kann.

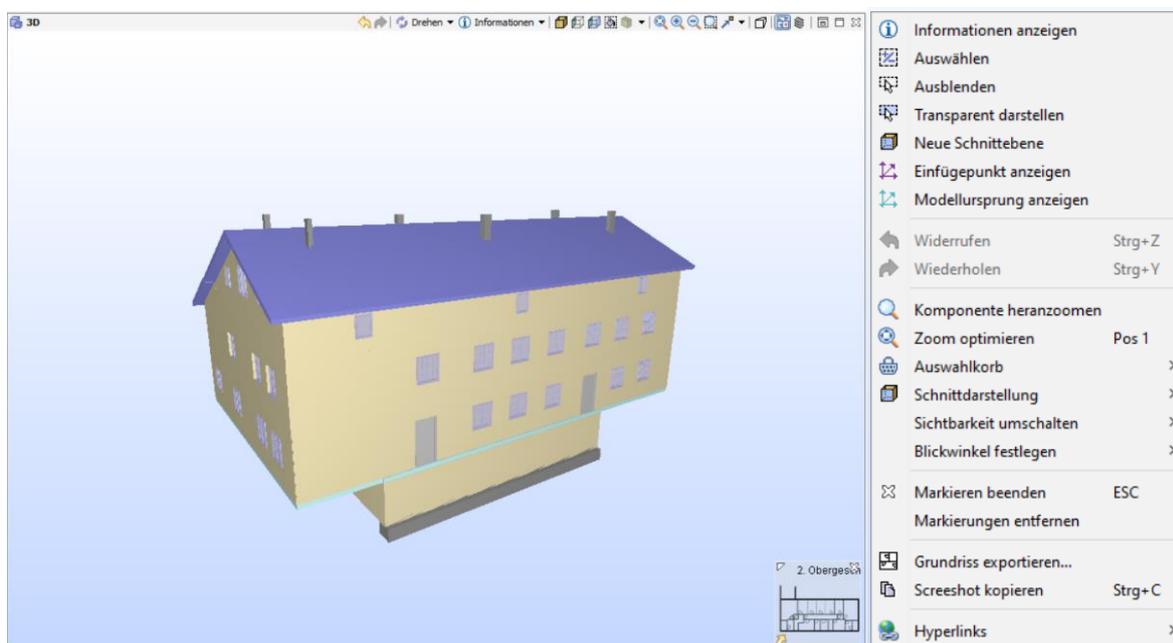


Abbildung 4-6: links: 3D-Ansichtsfenster

Abbildung 4-7: rechts: Pop-up-Menü des 3D-Ansichtsfensters

Im Standardlayout „Modell“ ist außerdem das Ansichtsfenster „Information“ vorhanden. Hier werden Informationen zu dem zuletzt ausgewählten Objekt angezeigt. Dieses Objekt muss kein Teil des Modells sein, es werden auch Informationen zu ausgewählten Regeln, Regelsätzen, Klassifizierungen, Ergebnissen, Kategorien und Problemen angezeigt. Je nach ausgewähltem Objekt unterscheiden sich die angezeigten Informationen. Für Bauteile werden beispielsweise

in Registerkarten thematisch untergliedert sämtliche geometrische und parametrische Informationen angezeigt

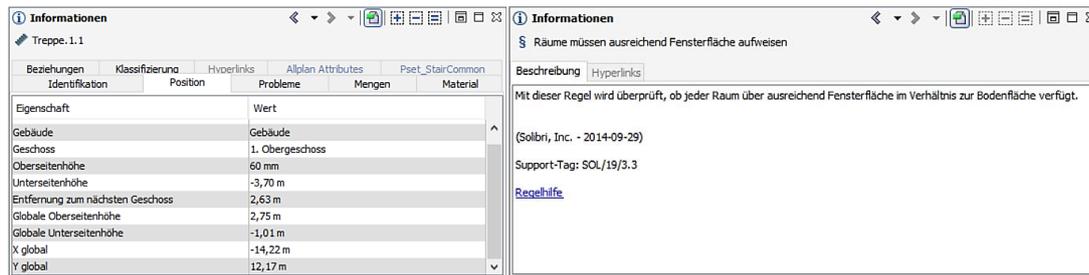


Abbildung 4-8: links: Informationen-Ansicht für eine Treppe

Abbildung 4-9: rechts: Informationen-Ansicht für eine Regel

Die Überprüfung selbst findet im Layout „Überprüfen“ statt, neben dem zuvor genannten „3D“-Fenster und der „Information“-Ansicht, sind hier noch die Ansichten „Überprüfen“ und „Ergebnisse“ vorhanden.

Nach der Auswahl der zu überprüfenden Regeln erscheint die To-Do-Liste. In dieser werden die noch zu erledigende Aufgaben aufgelistet, die benötigt sind um die Überprüfung durchzuführen, etwa Klassifikationen oder noch zu setzende Parameter. Sämtliche zu erledigende Aufgaben können über die To-Do-Liste aufgerufen werden, auch wenn diese schon abgeschlossen wurden. Modelle können auch ohne erledigte To-do-Liste überprüft werden. Dies könnte jedoch die Ergebnisse der Überprüfung selbst verfälschen, da beispielsweise die Klassifizierung notwendig ist um Komponenten des Gebäudes voneinander zu unterscheiden.

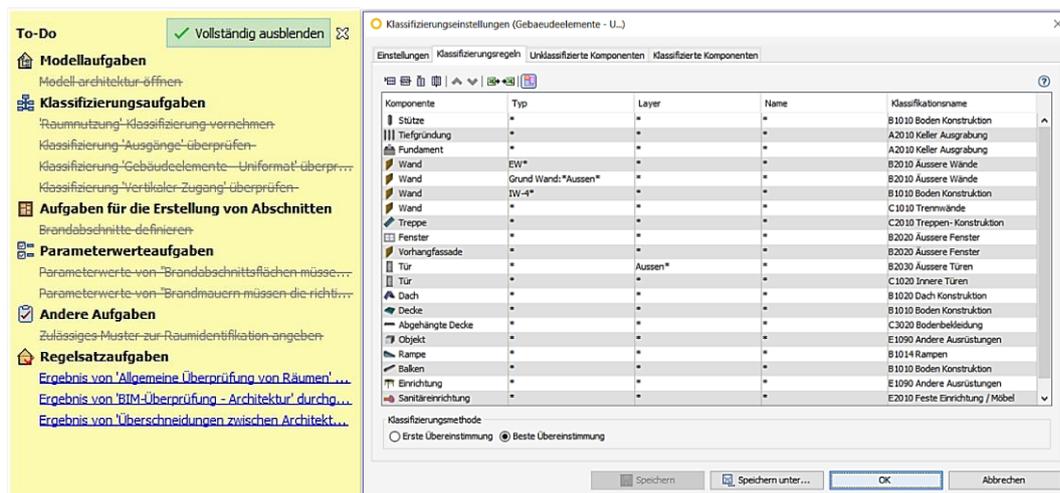


Abbildung 4-10: links: To-Do-Liste einer Überprüfung

Abbildung 4-11: rechts: Klassifizierungsregeln einer Gebäudekomponentenklassifikation

Die Klassifikation erfolgt in dem hierfür bereitgestellten „Klassifikations“-Ansichtsfenster. Die Gebäudekomponenten werden mit dem Klassifizierungssystem des NIST, welches Unifomat II eingeteilt, die Einstellungen können jedoch vom Nutzer verändert werden. Diese Klassifikation wird nach der Öffnung eines Modells zum größten Teil automatisiert ausgeführt,

da die Gebäudekomponenten im IFC-Schema eindeutig definiert sind. Lediglich einzelne Gebäudekomponenten müssen nach klassifiziert werden.

Bei der Erstellung einer neuen Klassifikation muss zunächst ein eindeutiger Name gewählt werden, da bei einer Umbenennung der Klassifikation sämtliche Regeln, weitere Klassifikationen und Auswertungen die diese Klassifikation benützen aktualisiert werden müssen (Solibri Inc. A Nemetschek Company, 2015). Der Nutzer hat bei der Klassifikationserstellung auch die Möglichkeit eine Beschreibung hinzuzufügen, um anderen Nutzern die Bedeutung der Klassifikation mitzuteilen. Eine Klassifikation besteht aus einer oder mehreren Klassifikationsregeln. Bei der Erstellung einer Klassifikationsregel, müssen zunächst die zu klassifizierenden Komponenten ausgewählt werden, meistens werden über „Beliebige“ alle Komponenten der Auswahl hinzugefügt, um dann in den folgenden Schritten über die Auswahlmöglichkeiten „Einschließen“, „Ausschließen“ und „Ignorieren“ eine Filterung der Objekte vorzunehmen.

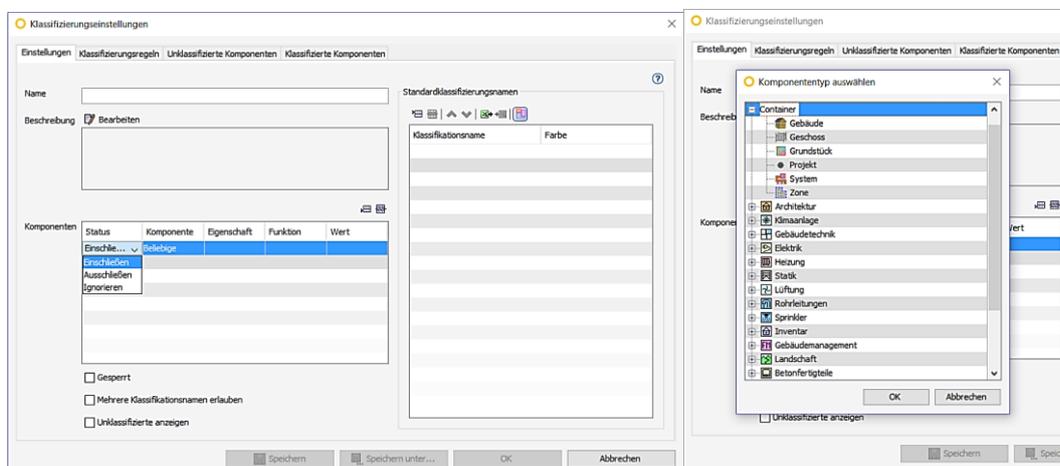


Abbildung 4-12: Eingabefenster für die Erstellung einer Klassifikation

Abbildung 4-13: Pop-up-Menü für die Komponentenauswahl bei der Klassifikation

In der Spalte „Eigenschaften“ können die zu betrachtenden Attribute ausgewählt werden, wie im Bild unter dargestellt werden alle Wände deren Eigenschaft „Gebäudehülle“ den Attributwert „Wahr“ in dieser Klassifikation eingeschlossen.

| Status       | Komponente | Eigenschaft  | Funktion | Wert |
|--------------|------------|--------------|----------|------|
| Einschließen | Wand       | Gebäudehülle | =        | Wahr |

Abbildung 4-14: Alle Wände die den Attributwert „Gebäudehülle=Wahr“ besitzen werden in der Klassifikation eingeschlossen.

Die Standardklassifizierung ermöglicht es dem Nutzer die Objekte zu benennen und einer Farbgebung zu zuordnen. Im Reiter Klassifizierungsregeln erfolgt einer Liste sämtlicher Klassifizierungsregeln die bei der ausgewählten Klassifikation verwendet werden, Abbildung 4-15 zeigt eine solche Klassifizierungsregelliste.

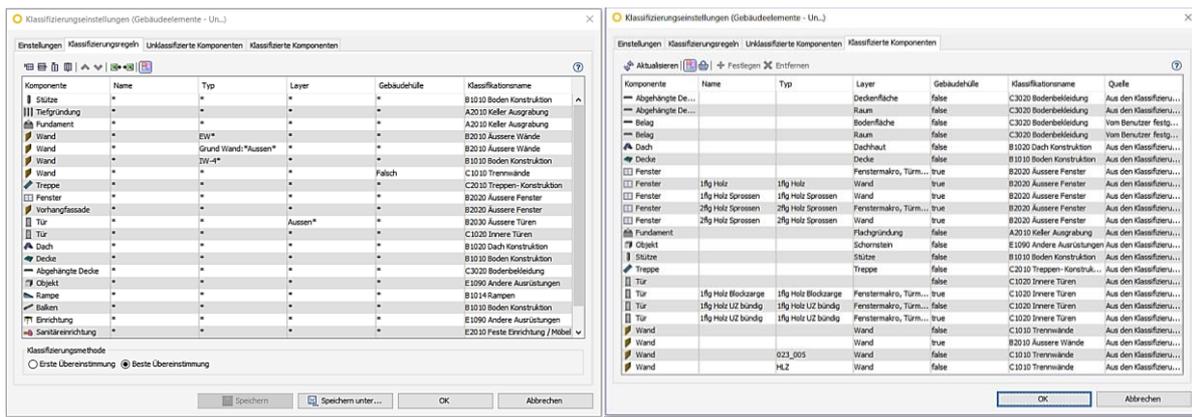


Abbildung 4-16: Klassifizierungsregeln der Klassifikation nach Uniformat II

Abbildung 4-17: Klassifizierte Gebäudekomponenten nach Uniformat II

Sollten Komponenten noch unklassifiziert sein, werden diese im Reiter „Unklassifizierte Komponenten“ angezeigt und können dort dann noch manuell klassifiziert werden. Endergebnis der Klassifizierung wird in dem Reiter „Klassifizierte Komponenten“ dargestellt, sämtlich relevanten Objekte wurden nach ihren Objektattributwerten ausgewählt und einsortiert.

Einige Regeln erfordern auch Parameterwerte (siehe Abbildung 4-18), diese können innerhalb der Parameteransicht manuell eingegeben werden oder auch durch das Einlesen einer Excel-Tabelle festgelegt werden.

Des Weiteren ist für manche Regeln eine Erstellung von Abschnitten, bei der Fluchtweganalyse zum Beispiel die Einteilung des Gebäudes in Brandabschnitten, nötig. Es gibt verschiedene Abschnittstypen die erstellt werden können, etwa die Gebäudehülle, gesicherte Abschnitte, Brandabschnitte und Bruttofläche. Für die Erstellen der Abschnitte selbst, gibt es auch mehrere Methoden. Die Gebäudehülle kann beispielsweise unter Verwendung der Gebäudekomponenten Klassifikation mit der Auswahl der „B2010 Äußere Wände“ definiert werden. Im Ansichtsfenster „Erstellung von Abschnitten“ kann der Nutzer auf diese Funktionen zugreifen.

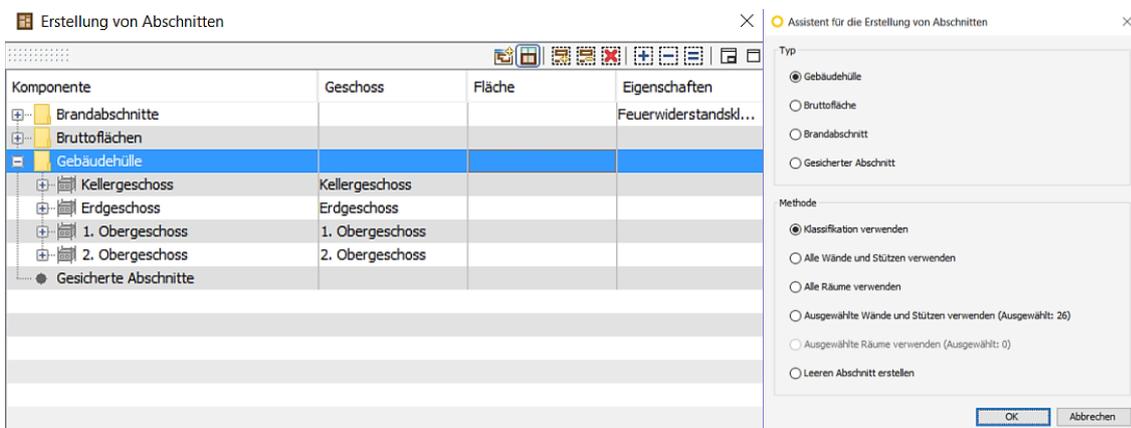


Abbildung 4-19: Ansichtsfenster „Erstellung von Abschnitten“ mit bereits eingeteilten Abschnitten

Abbildung 4-20: Pop-up-Menü für die Erstellung von Abschnitten

Im Ansichtsfenster „Überprüfen“ kann über das Ordnersymbol ein neuer Regelsatz zu dem schon geöffneten Regelsatz hinzugefügt werden.

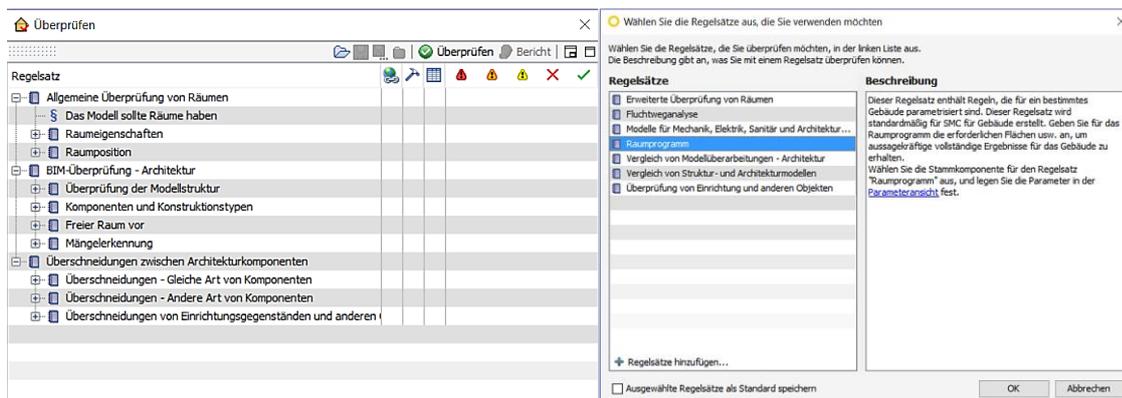


Abbildung 4-21: Ansichtsfenster „Überprüfen“ mit den voreingestellten Architekturregelsätzen

Abbildung 4-22: Pop-up-Menü für das Öffnen neuer Regelsätze

Die Auswahlmöglichkeiten für Regelsätze sind vielfältig, und reichen von grundlegenden Architekturüberprüfungen mit der Allgemeinen Überprüfung von Räumen und Überschneidungen zwischen Architekturkomponenten, wie im Absatz zum Rule-Set Manager vorgestellt wurde. Die Überprüfung wird über die Auswahl der Funktion „Überprüfen“ im Ansichtsfenster ausgewählt. Nach dem Ablauf einer Überprüfung wird bei bestandenen Regeln ein „ok“ dargestellt und bei nicht bestandenen Regeln je nach Schwere des Problems ein gelbes, ein oranges oder ein rotes Symbol gezeigt.

Durch das Auswählen einer überprüften Regel, wird im Ansichtsfenster „Ergebnisse“ das zugehörige Ergebnis angezeigt. Durch das doppelt-anklicken eines Problems wird im 3D-Fenster automatisch zu diesem Problem navigiert. Im Pop-up-Menü kann der weitere Umgang mit einem Problem vollzogen werden. Über Folie hinzufügen wird eine Präsentationsfolie erstellt, die im Layout „Kommunikation“ einer Präsentation hinzugefügt werden kann.

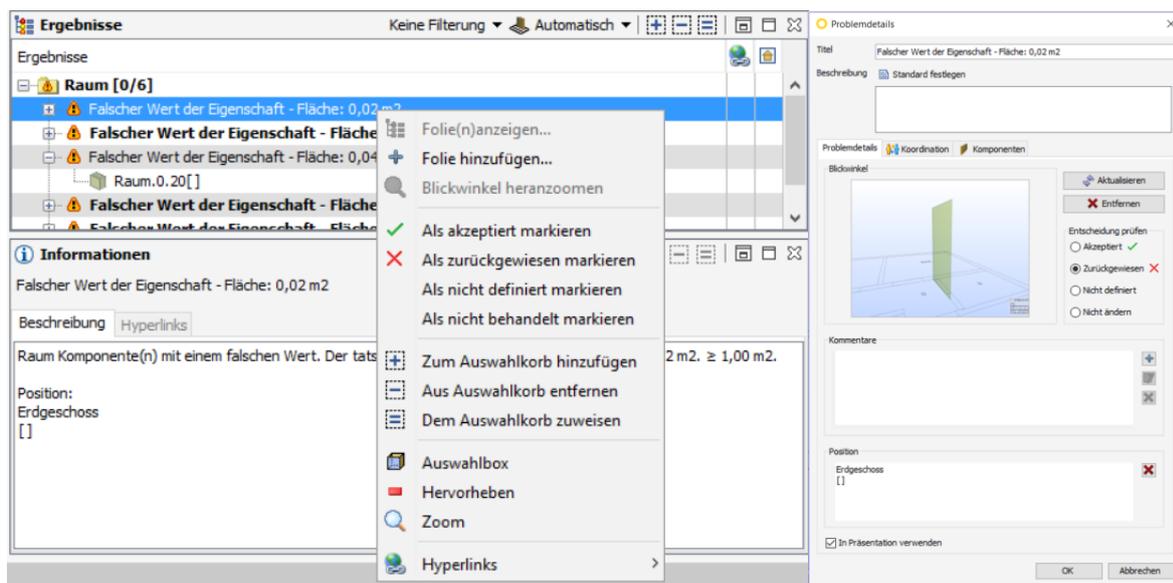


Abbildung 4-23: Ergebnisse einer Raumüberprüfung mit Pop-up-Menü für den Umgang mit Problemen

Im Layout „Kommunikation“ können die Folien einer Präsentation aus verschiedenen Quellen stammen. Das Ansichtsfenster „Präsentation“ enthält die Funktionen mit denen eine Präsentation erstellt werden kann. Ebenso ist in diesem Layout das Ansichtsfenster „3D“ vorhanden, in dem die Visualisierung der Präsentation erfolgt.

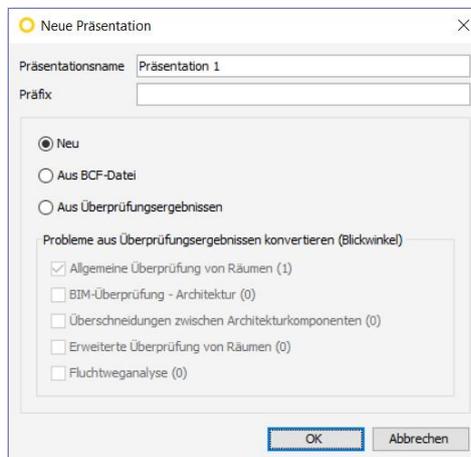


Abbildung 4-24

Eine weitere Funktion des SMC™ ist die Auswertung oder „Information Take-off“. Das hierfür vorgesehen Layout „Auswertung“ beinhaltet die Ansichtsfenster „Modellstruktur“, „Auswahlkorb“, „Klassifikation“, „Informationen“, „3D“ und „Auswertung“. Die Auswertung ermöglicht es einem Nutzer ein Modell visuell (siehe Fenster „3D“) und in einer Tabelle (siehe Fenster „Auswertung“) nach Komponenteninformation zu analysieren (Solibri Inc. A Nemetschek Company, 2015).

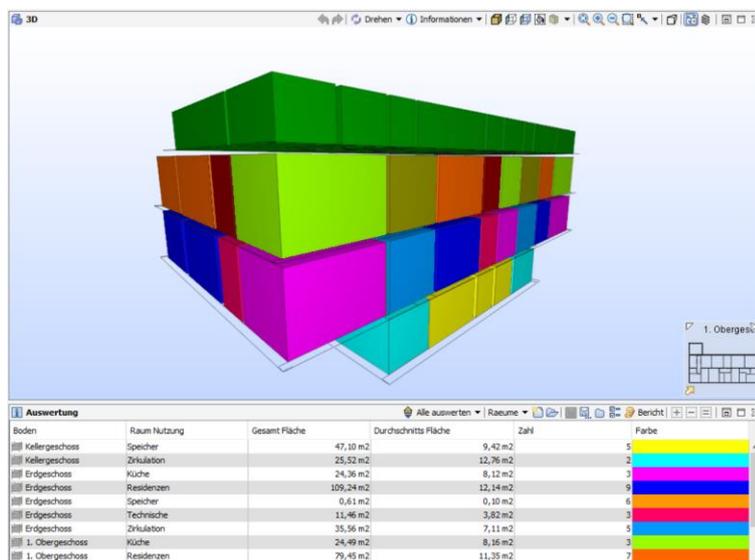


Abbildung 4-25: Analyse der Raumflächen des Modells nach Verwendungstypen

Der SMC™ ist ein multifunktionales Werkzeug, mit äußerst funktionalen Visualisierungsmöglichkeiten und vielfältigen Überprüfungsmechanismen, von denen einige im anschließenden Kapitel beispielhaft durchlaufen werden.

## 5 Szenarien

### 5.1 Architekturmodellüberprüfung

#### 5.1.1 Allplan Modellierung IFC-Export



Abbildung 5-1

Um die Überprüfung durchzuführen, erfolgt zunächst die Modellierung eines Gebäudes in Allplan. Dieses Gebäude ist ein Bestandteil einer Nachkriegssiedlung der Gemeinde Raubling und beinhaltet zwei Mehrfamilienhäuser, den Holzbreitenweg 2 und den Holzbreitenweg 4. Insgesamt befinden sich in dieser Siedlung vier dieser Bauwerke, die im Rahmen einer Bestandsanalyse vor einigen Jahren umfassend aufgenommen wurden nun saniert werden sollen.

Die Modellierung basiert auf den jeweiligen Grundrissen der Geschosse und die vorhandenen Ansichten. Um den modellierten Gebäudekomponenten noch zusätzliche semantische Informationen zuzuweisen, wurden neben den vorhandenen Objektattributen, wie die GUID, noch weitere Eigenschaften vergeben. Für die Modellüberprüfung müssen teilweise zusätzlich Objektattribute vergeben werden, um zum Beispiel eine Wand in Solibri als „Gebäudehülle=Wahr“ zu klassifizieren, sollte in Allplan dieser Wand das Objektattribut „Klassifizierung“ mit dem Attributwert „External“ zugewiesen werden.

Um das Gebäudemodell mit all seinen parametrischen und nichtparametrischen Informationen im SMCT<sup>TM</sup> zu öffnen, muss es in das IFC-Schema konvertiert werden. Hierfür hat Allplan eine Funktion namens „IFC exportieren“, mit dieser kann das gesamte Modell oder auch nur Teilmodelle in eine IFC-Datei umgewandelt werden. Die erstellte IFC-Datei kann dann im SMCT<sup>TM</sup> geöffnet werden.

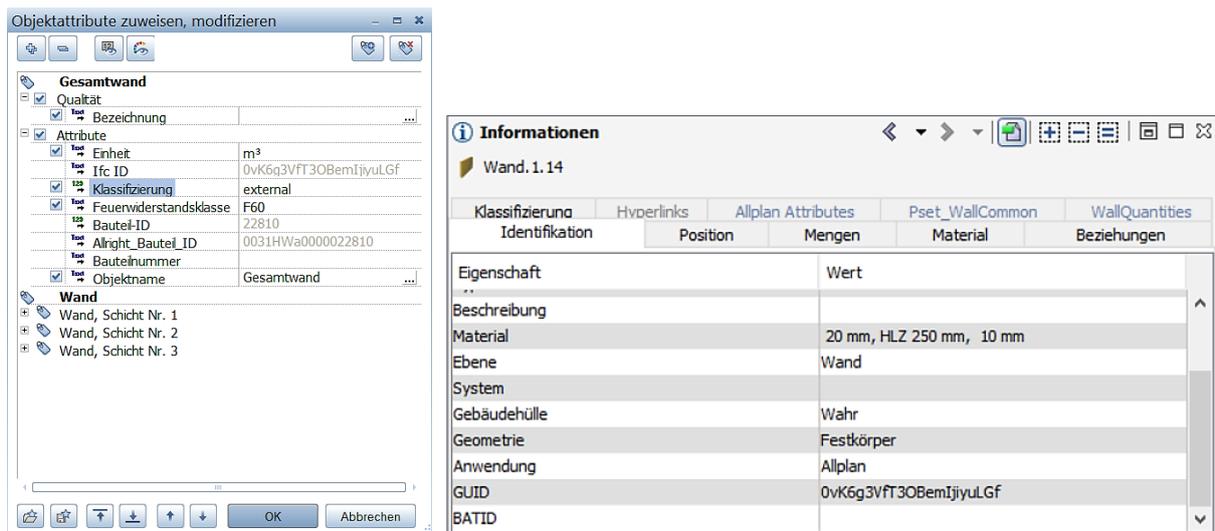


Abbildung 5-2: Objektattribute einer Außenwand in Allplan

Abbildung 5-3: Objektattribute der gleichen Außenwand in SMC

### 5.1.2 Überprüfung Fallstudie

Im ersten Schritt wird das zuvor exportierte IFC-Modell geöffnet und in das SMC™-Schema übergeführt. Hierfür muss die Disziplin des einzulesenden Modells ausgewählt werden. Da im Folgenden eine Architekturmodellüberprüfung gezeigt wird, handelt es sich bei der Datei um ein architektonisches Modell.

Die Abbildung 5-4 zeigt das Gebäudemodell, das grün markierte Fenster ist momentan ausgewählt und im Informations-Ansichtsfenster wird die Klassifizierung des Objekts gezeigt. Im 3D-Fenster wurden die beiden oberen Außenwände transparent dargestellt, um einen Einblick in die verschiedenen Visualisierungsmöglichkeiten zu geben.

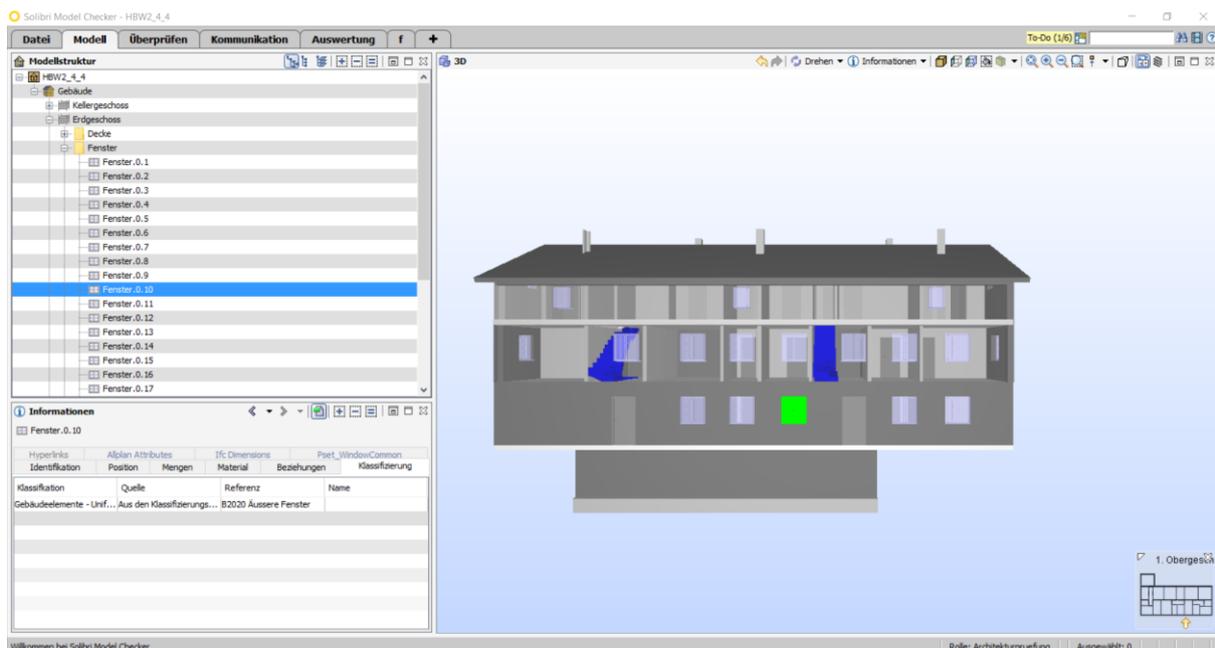


Abbildung 5-5:

Für die architektonische BIM-Überprüfung wurde die Rolle „Architekturüberprüfung“ ausgewählt. Die Abbildung 5-7 zeigt die empfohlenen Regelsätze, Klassifikationen und Auswertungsdefinitionen. Wenn ein Objekt mit einem gelben Stern versehen ist, gehört dieses der Standardliste an und wird beim Einlesen eines Modells automatisch geöffnet.

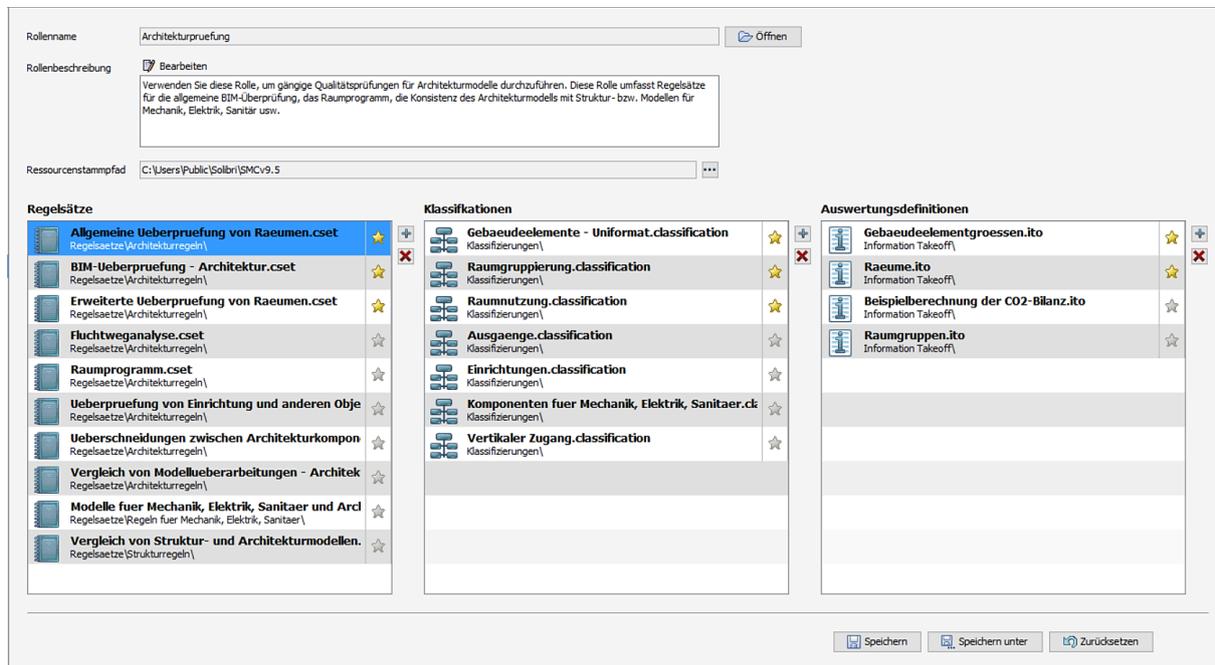


Abbildung 5-6: Rolle „Architekturüberprüfung“ und deren Standard Regelsätze, Klassifikationen und Auswertungsdefinitionen

Im Überprüfungslayout können sämtliche einem Nutzer zur Verfügung gestellten Regelsätze, auch welche die typischerweise nicht in der Architekturüberprüfung enthalten sind, geöffnet werden. Dies erfolgt über die Auswahl des Ordnersymbols im „Überprüfen“-Ansichtsfenster.

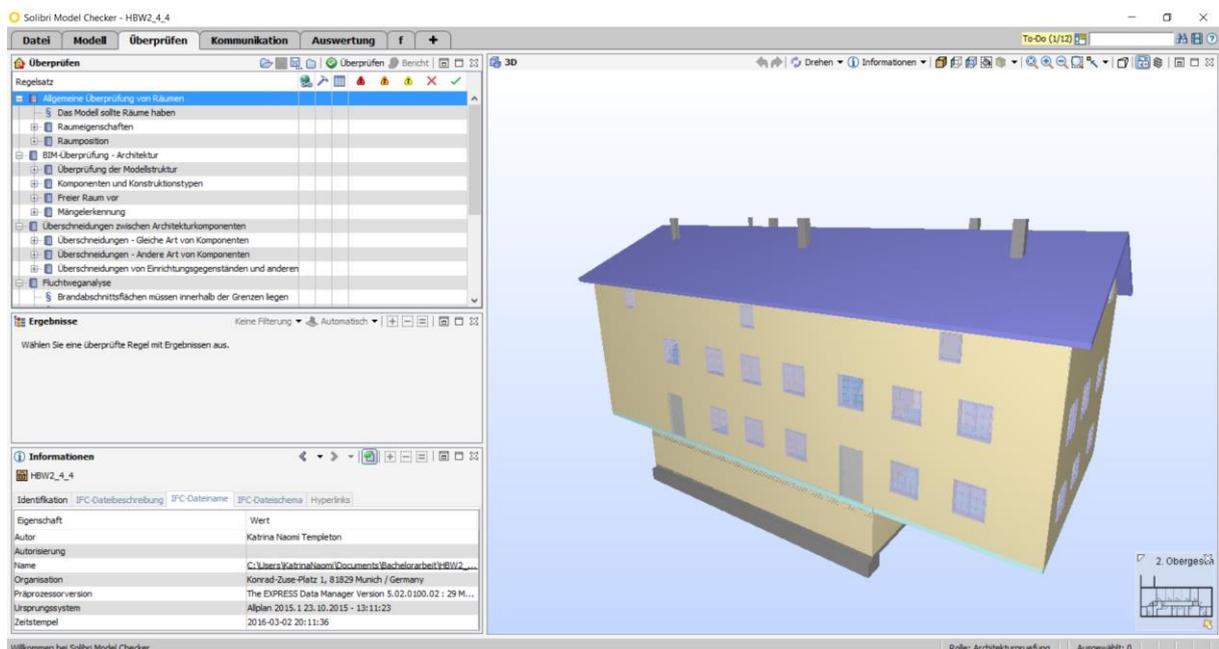


Abbildung 5-7: Geöffnetes Überprüfungs-Layout

Zusätzlich zu den standardmäßigen, bei einer Architekturüberprüfung vorhandenen Regelsätzen, werden noch die Regelsätze „Fluchtweganalyse“ und „Erweiterte Überprüfung von Räumen“ verwendet. Die Abbildung 5-8 zeigt die Aufgaben die vor der Überprüfung bearbeitet werden müssen.



Abbildung 5-9: To-Do-Liste des Beispielszenarios

Bei der Klassifizierungsaufgabe „Ausgänge“ müssen die Ausgangstüren des Gebäudes vom Nutzer definiert werden. Die „Gebäudeelemente Unifomat II“ Klassifikation läuft größtenteils automatisiert ab, in diesem Gebäude mussten lediglich einzelne Bodenbeläge nachträglich klassifiziert werden. Nachdem die Räume zuvor in Allplan erstellt und mit einem Namen bzw. Verwendungszweck versehen wurden, erfordert die „Raumnutzung“ Klassifikation lediglich die Auswahl des zugehörigen Klassifikationsnamens.

Die Erstellung von Brandabschnitten erfolgt im dafür vorgesehen Ansichtsfenster. Für die Erstellung der Brandabschnitte, wurden die als Außenwände definierten Gebäudekomponenten verwendet. Das Gebäude wurde aufgrund seiner Höhe und Anzahl an Nutzungseinheiten, in die „Gebäudeklasse 4“ eingeteilt und wird demnach der Feuerwiderstandsklasse F60 zugeordnet.

Der Regelsatz Fluchtwege erfordert Parameterwerte für „Brandabschnittsflächen müssen innerhalb der Grenzen liegen“ und „Brandmauern müssen richtigen Wand-, Tür und Fenstertyp aufweisen“. Ersteres erfordert Grenzwerte für die Fläche eines Brandabschnittes mit der Unterteilung ob der Brandabschnitt Sprinkler besitzt. Die zweite Parameteraufgabe benötigt die Konstruktionstypen der für die Brandabschnitte relevanten Gebäudekomponenten.

Die Aufgabe „Zulässiges Muster zur Raumidentifikation angeben“ erfordert auch eine Angabe von Regelparametern. Dieser Regelparameter ist für die Regel „Räume müssen eindeutigen Bezeichner aufweisen“ relevant und untersucht eine vom Nutzer ausgesuchte Komponenteneigenschaft. Standardmäßig ist hier als zu überprüfende Komponenteneigenschaft „Nummer“ angegeben.

Die restlichen Aufgaben der To-Do-Liste befassen sich mit den Ergebnissen der Überprüfung und so können nun die Überprüfungsergebnisse betrachtet werden.

In der Ansicht „Überprüfen“ gibt es die Funktion „Bericht“, die einen umfassenden Bericht, im PDF- oder Excel-Format generiert. Beispielhaft werden nun die Ergebnisse der Regel „Räume müssen ausreichend Fensterfläche aufweisen“ betrachtet. Die Fensterfläche muss in allen nicht von der Regel ausgeschlossenen Räumen (WC, Gänge und Schränke), 10% der Raumfläche betragen. Im Anhang befindet sich der gesamte Regelüberprüfungsbericht.

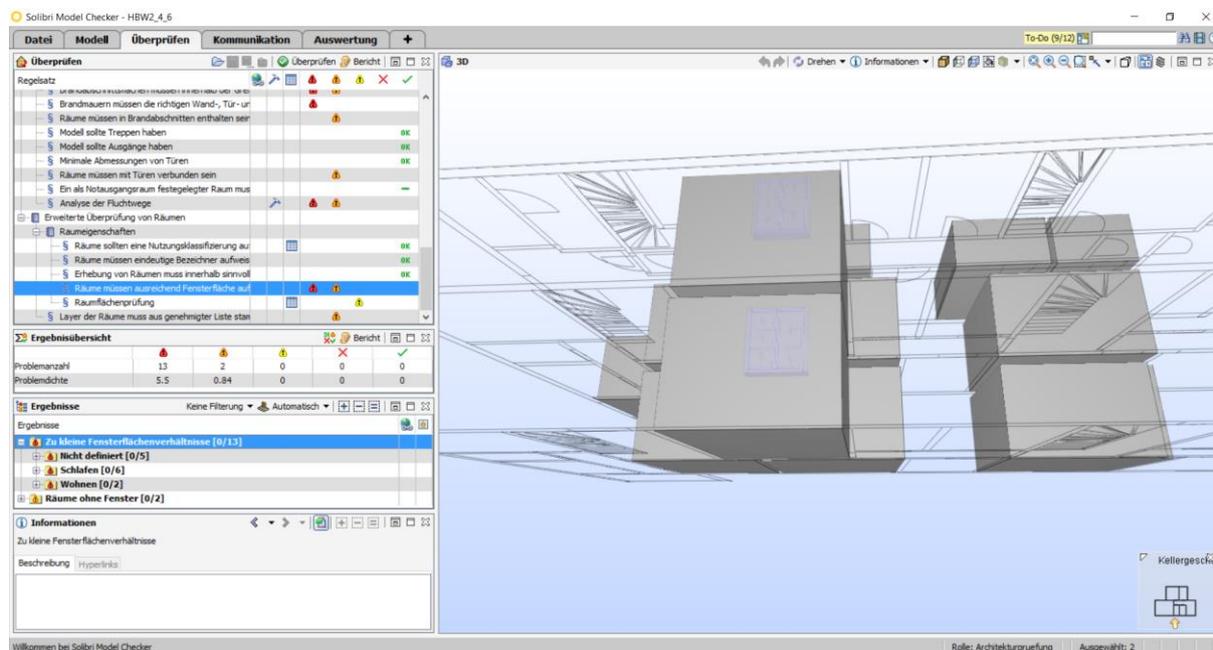


Abbildung 5-10: Räume, die die Regel „Räume müssen ausreichend Fensterfläche aufweisen“ nicht bestanden haben.

## 5.2 Modelle unterschiedlicher Disziplin

### 5.2.1 Arboleda IFC Vectorworks

Für das beispielhafte gegeneinander Prüfen von Modellen unterschiedlicher Disziplin, wurden die IFC-Dateien des „Arboleda Open BIM Project“ benützt. Diese Modelle stammen von Nemetschek Vectorworks, das Gebäude wurde 2011 unter der Verwendung architektonischer BIM-Modelle realisiert. Mit den bereitgestellten IFC-Modellen unterschiedlichster Disziplin, wollte Nemetschek Vectorworks eine Analyse darüber durchführen, was passiert wäre wenn ein kollaborativer „Open BIM“ Ansatz für die Gebäudeplanung verwendet worden wäre (Vectorworks A Nemetschek Company, 2016).

### 5.2.2 Überprüfungen Architektur—Struktur und Architektur-Elektrik

Für diese Überprüfung wurde die Rolle „BIM-Koordination“ ausgewählt. Wie bei der vorigen Überprüfung eines einzelnen Modells, wird bei der Auswahl einer Rolle zunächst eine Standardliste an Regelsätzen, Klassifizierungen und Auswertungen zugeteilt.

#### Modellkoordination Architektur-Struktur:

Nach dem Einlesen der beiden Modelle, wurde das strukturelle Modell etwas verschoben, so dass sich die Modellursprünge überdecken. Diese Funktion ist im Ansichtsfenster „Modellstruktur“ aufrufbar, im „3D“ Ansichtsfenster kann ein Nutzer sich die beiden Modellursprünge anzeigen lassen.

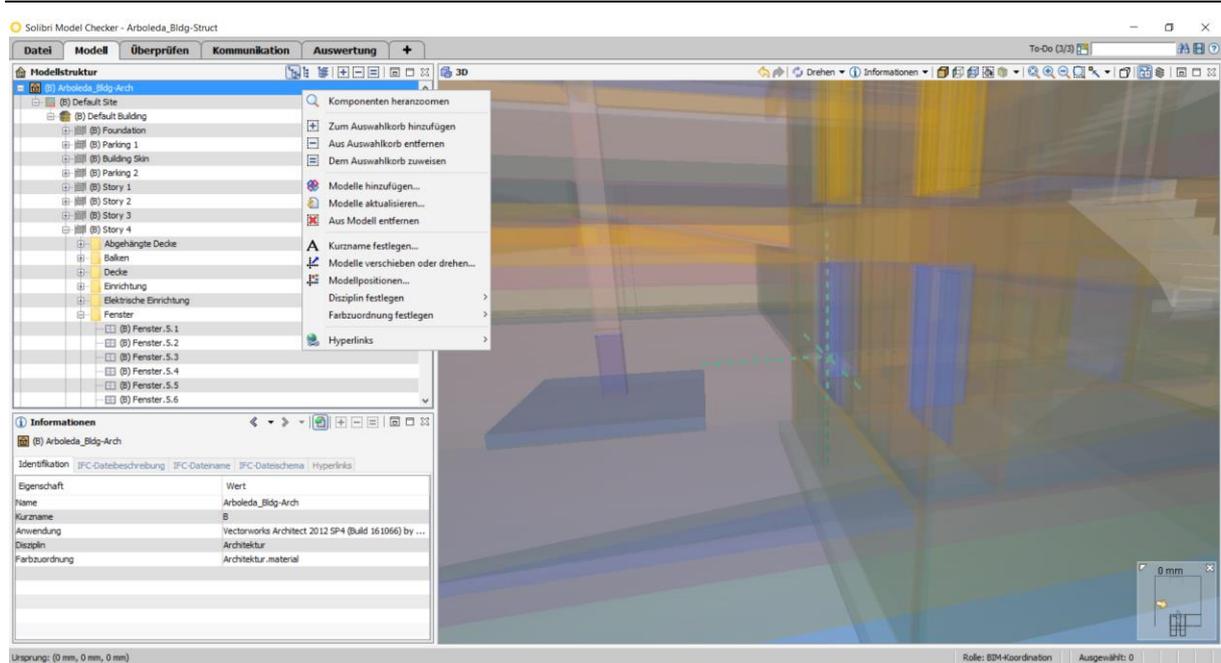


Abbildung 5-11: Funktion „Modelle Verschieben oder drehen...“ und der Modellursprung im 3D-Ansichtsfenster

Die Überprüfung wurde jeweils an zwei Modelldisziplinen durchgeführt, hier zum einen an einem architektonischen und einem strukturellen Modell, sowie an einem architektonischen Modell und einem elektrischen Modell. Die Überprüfungsergebnisse werden wie gehabt dargestellt, zu jedem Fehler können Präsentationsfolien erstellt werden.

| Regelsatz  | Überprüfen | Bericht |
|--|------------|---------|
| Vergleich von Struktur- und Architekturmodellen                            | OK         | OK      |
| Offnungen im Strukturmodell  | OK         | OK      |
| Türen und Fenster sollten sich nicht mit Strukturkomponenten überschneiden | OK         | OK      |
| Fassaden sollten sich nicht mit Strukturkomponenten überschneiden          | OK         | OK      |
| Position von Offnungen sollte gleich sein                                  | OK         | OK      |
| Komponenten vor Türen und Fenstern   | OK         | OK      |
| Strukturkomponenten passen in Architekturkomponenten                       | OK         | OK      |
| Wände  | OK         | OK      |
| Platten  | OK         | OK      |
| Säulen   | OK         | OK      |
| Balken   | OK         | OK      |
| Sonstige Komponenten   | OK         | OK      |
| Architekturkomponenten sind gefüllt  | OK         | OK      |
| Wände, die von Baugruppen gefüllt werden sollten klassifiziert sein        | OK         | OK      |
| Platten  | OK         | OK      |
| Säulen   | OK         | OK      |
| Balken   | OK         | OK      |

| Regelsatz   | Überprüfen | Bericht |
|---|------------|---------|
| Modelle für Mechanik, Elektrik, Sanitär und Architekturmodell | OK         | OK      |
| Gebäudetechnik- und Architekturkomponenten                    | OK         | OK      |
| Gebäudetechnik und Türen und Fenster                          | OK         | OK      |
| Gebäudetechnik und Balken und Säulen                          | OK         | OK      |
| Gebäudetechnik- und sonstige Konstruktionskomponenten         | OK         | OK      |
| Gebäudetechnik- und sonstige Objekte                          | OK         | OK      |
| Isolierungen und Balken und Säulen                            | OK         | OK      |
| Isolierung und sonstige Konstruktionskomponenten              | OK         | OK      |
| Abstand zwischen Komponenten                                  | OK         | OK      |
| Modelle für Mechanik, Elektrik, Sanitär und Strukturmodell    | OK         | OK      |
| Schnittpunkte zwischen Gebäude- und Baugruppen                | OK         | OK      |
| Abstand zwischen Komponenten                                  | OK         | OK      |
| Erlaubte Kreuzungen in Balken                                 | OK         | OK      |

Abbildung 5-12: Überprüfte Regelsätze der BIM-Koordination

Nach der Erstellung einer Präsentation der Überprüfungsergebnisse, hat ein Nutzer die Möglichkeit auf Basis der Präsentation einen Koordinationsbericht zu erstellen. In dieser Abbildung eines Koordinationsberichts wurden die Excel-Spalten „Kommentar des Problems“, „Verantwortlichkeiten“ und „erforderliche Aktion“ ausgeblendet.

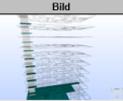
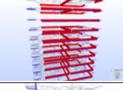
| Präsentation 1 |    |  |             |                   |   |   |              |                  |        |   |
|----------------|----|--|-------------|-------------------|---|---|--------------|------------------|--------|---|
| Nummer         | Id | Standort   | Datum       | Autor             | Titel   | Bild  | Beschreibung | Archiführte Akti | Status | Komponenten   |
| 1              | 9  | (B) Parking 2, (B) Story 11, (B) Story 3, (B) Parking 1, (B) Story 4, (B) Story 5, (B) Story 2, (B) Story 8, (B) Story 6, (B) Story 9, (B) | 22-Mar-2016 | Katrina Naomi Ter | Überschneidende Komponenten auf unterschiedlichen Ges |  |              |                  | Offnen | (B) Vorhangfassade -1.3<br>(B) Vorhangfassade.4.3<br>(B) Vorhangfassade.5.4<br>Decke b.108<br>Decke b.51<br>Decke b.128<br>Decke b.26 |
| 2              | 10 | (B) Story 9, (B) Story 11, (B) Story 3, (B) Story 4, (B) Story 5, (B) Story 10, (B) Story 7, (B) Story 2, (B) Story 8, (B) Story 1, (B)    | 22-Mar-2016 | Katrina Naomi Ter | Decke zu nah an der Komponente Fenster                |  |              |                  | Offnen | Decke b.108<br>Decke b.51<br>Decke b.128<br>(B) Fenster.10.7<br>(B) Fenster.7.1<br>(B) Fenster.12.2<br>Decke b.111                    |
| 3              | 11 | (B) Parking 1<br>Stair[E11]  | 22-Mar-2016 | Katrina Naomi Ter | Decke zu nah an der Komponente Tür                    |  |              |                  | Offnen | Decke b.49<br>(B) Tür.-1.5<br>(B) Tür.-1.3<br>(B) Tür.-1.4  |
| 4              | 12 | (B) Parking 1<br>Parking 2[L-002]  | 22-Mar-2016 | Katrina Naomi Ter | Decke, Wand zu nah an der Komponente Tür              |  |              |                  | Offnen | Decke b.49<br>Decke b.44<br>(B) Tür.-1.6<br>(B) Tür.-1.2<br>(B) Tür.-1.1<br>Wand b.4<br>Wand b.61                                     |
| 5              | 13 | (B) Story 9, (B) Story 11, (B) Story 3, (B) Story 4, (B) Story 10, (B) Story 5, (B) Story 7, (B) Story 2, (B) Story 8, (B) Story 6         | 22-Mar-2016 | Katrina Naomi Ter | Komponenten, die horizontal unterschiedlich sind      |  |              |                  | Offnen | (B) Balken.3.11<br>(B) Balken.10.14<br>(B) Balken.7.18<br>(B) Balken.12.10<br>(B) Balken.6.4<br>(B) Balken.10.3<br>(B) Balken.12.8    |
| 6              | 14 | (B) Story 9, (B) Story 11, (B) Story 3, (B) Story 4, (B) Story 10, (B) Story 5, (B) Story 7, (B) Story 2, (B) Story 8, (B) Story 6         | 22-Mar-2016 | Katrina Naomi Ter | Keine entsprechenden Komponenten                      |  |              |                  | Offnen | (B) Balken.3.13<br>(B) Balken.12.17<br>(B) Balken.6.19<br>(B) Balken.11.10<br>(B) Balken.5.13<br>(B) Balken.3.9<br>(B) Balken.11.1    |

Abbildung 5-13: Automatisiert erstellter Koordinationsbericht der Architektur-Struktur-Überprüfung

## 6 Fazit

Großbauprojekte, deren Kosten in Milliardenhöhe explodiert sind oder deren Fertigstellungszeiten sich um Jahre verzögern werden zeigen uns, dass die Digitalisierung von Planungsprozessen und deren Unterlagen dringend nötig ist. Die Vielfältigkeit der auftretenden Modellfehler, ob sie nun durch den Nutzer entstanden sind oder die syntaktische Modellqualität beeinträchtigen, zeigen auf, wie wichtig Überprüfungsmechanismen für einen korrekten und konsistenten BIM-Prozess sind. Das Übersetzen von Regelwerken in eine maschineninterpretierbare Sprache, wie sie in Singapur vorgenommen wurde, sorgt für einen erheblichen Zeiteffizienz- und Übersichtlichkeitsgewinn. Im ersten Moment wird dieser Prozess sich jedoch als äußerst komplex aufweisen, da hierfür ein umfassendes Verständnis der maschineninterpretierbaren Sprache und des zu übersetzenden Regelwerkes vorhanden sein sollte.

Bei einem geregelten BIM-Koordinationsprozess, wie er in der PAS 1192-2 (British Standards Institution, 2013) beschrieben wird, mit fest im Prozess verankerten Überprüfungen an den „Quality Gates“, ist das Resultat ein umfassendes und konsistentes Gebäudeinformationsmodell. Dieses Gebäudemodell kann und soll während des gesamten Bauwerkslebenszyklus verwendet werden.

Aufgrund der nachfolgenden BIM-Überprüfung, fällt auf wie hilfreich vorgegebene Standards und Modellierungsrichtlinien im BIM-Prozess sind. Fehlende Objektattribute, die für eine Überprüfung relevant sind, wie zum Beispiel die Feuerwiderstandsklasse der Wände, sind teilweise äußerst zeitaufwändig nachträglich einzufügen.

Der SMCT<sup>TM</sup> ist ein multifunktionales Modellkoordinierungswerkzeug, welches aufgrund seiner vielen Funktionen nicht intuitiv zu bedienen ist. Die Visualisierungsmöglichkeiten sind vielfältig, so zum Beispiel das durch das Auswählen eines Problems im „Ergebnis“-Ansichtsfenster, automatisch im „3D“-Fenster dorthin navigiert wird oder einzelne

---

Gebäudekomponenten transparent gefärbt werden können. Diese Funktionen ermöglichen auch eine vereinfachte Kommunikation der Modellprobleme bezüglich Mitbeteiligten. Die Qualitätsüberprüfung ist, abgesehen von den zugrunde liegenden Klassifikationen und Parametern, übersichtlich aufbereitet. Einem Nutzer wird innerhalb des SMC™ ermöglicht Duplikate zu entfernen und Fehler mit Schweregradparametern zu versehen. Die Qualitätsanalysen müssen für den Gebrauch im deutschen Sprachraum noch etwas angepasst werden. Für die Fluchtweganalyse nach der Bayrischen Bauordnung (BayBO) müssen zusätzlich einige Regelparameter verändert werden. Bisher ist es nur möglich für Brandabschnitte einen Höchstwert der Fläche in m<sup>2</sup> anzugeben, nach der BayBO ist die Begrenzung über den höchstmöglichen Abstand zweier Brandwände von 40 m definiert (Bayrische Architektenkammer, 2013). Derzeit können Regelsätze nur geringfügig innerhalb der Vorlagen erstellt werden. Ebenso können bei Regelparametern der Vorlagen-Regelsätze nur Attributwerte oder ähnliche kleiner Veränderungen vorgenommen werden. Insgesamt ist der SMC™ für die Erstellung konsistenter und korrekter Planungsunterlagen, und für die Visualisierung vorhandener Projektproblematiken sehr hilfreich.

---

## Anhang A

### Pläne und Bilder

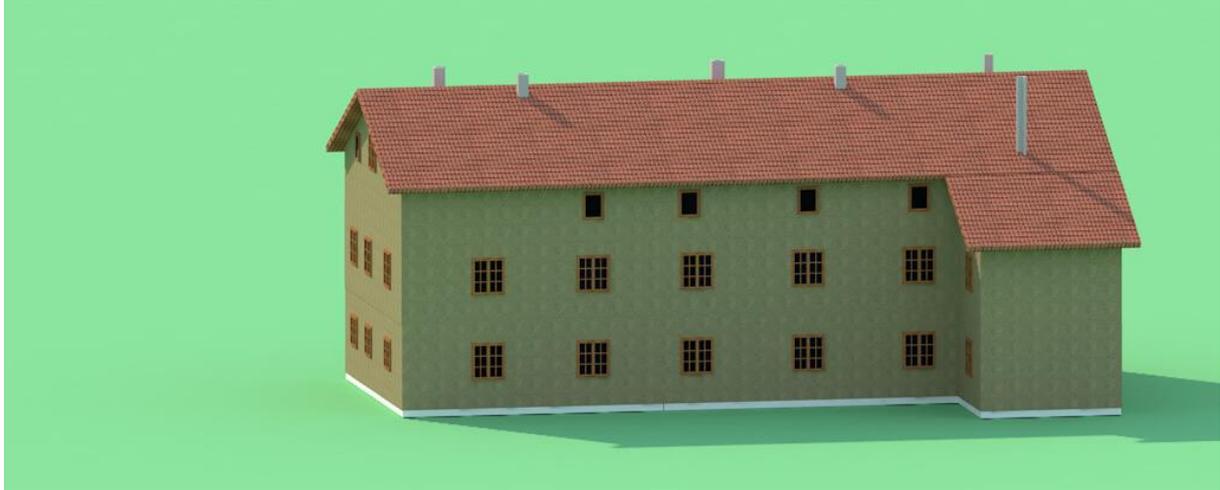
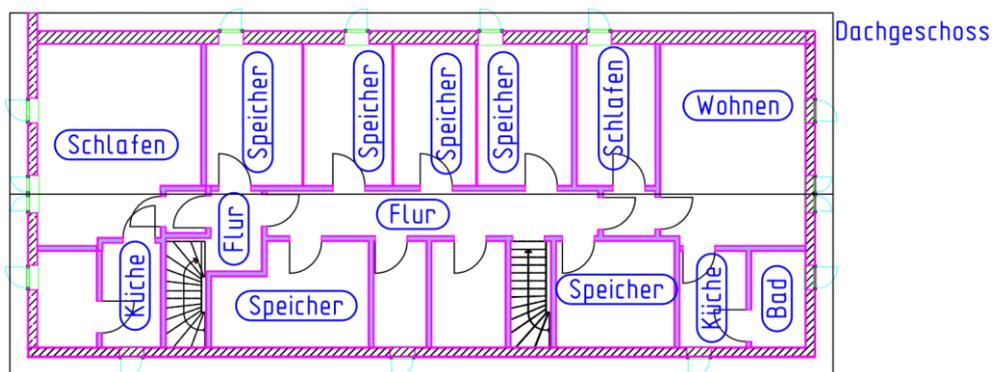
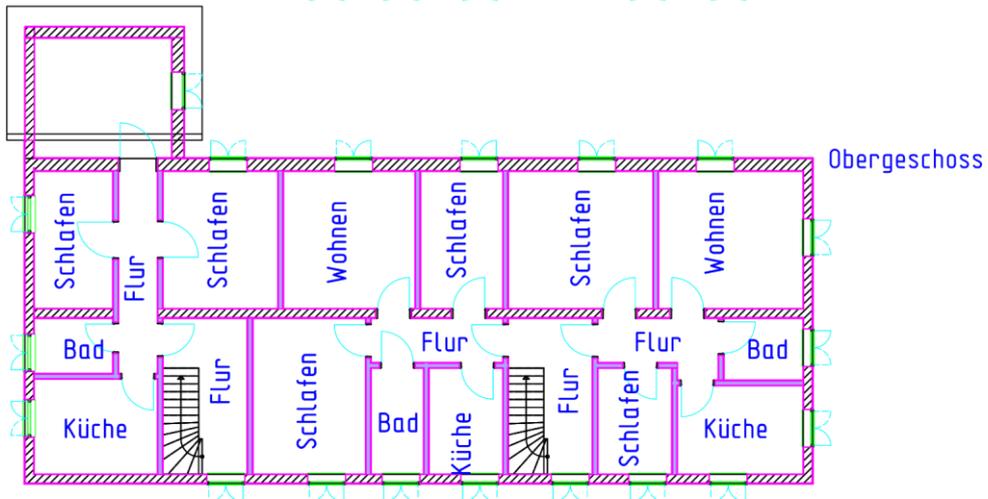
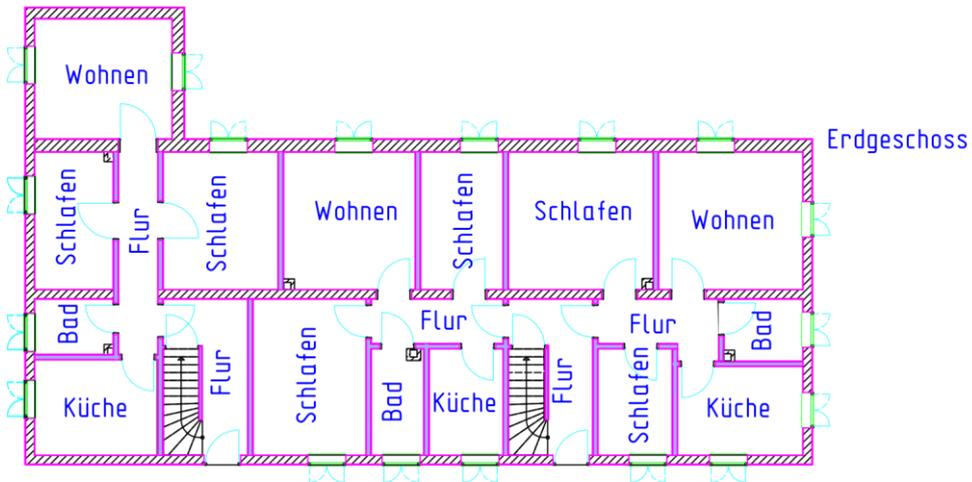
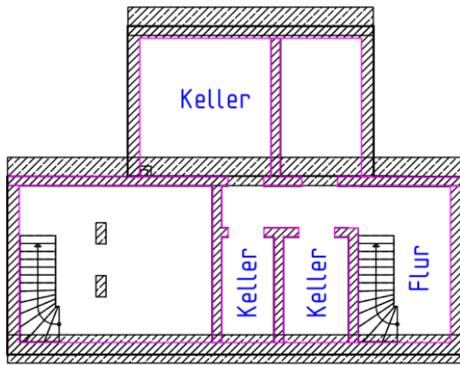


Abbildung 0-1: gerenderte Ansicht Südwest



Abbildung 0-2: gerenderte Ansicht Südost



## Anhang B

### Ergebnisprotokoll Architekturmodellüberprüfung

| Arch-Struktur |  |
|---------------|--|
| Modellname    | HBW2_4_6 Version: 9.5                                    |
| Prüfer        | Katrina Naomi Templeton                                  |
| Organisation  |  |
| Zeit          | 24.03.16 14:11   |
| HBW2_4_6      | Zeit: 2016-03-22 16:18:40 Anwendung: Allplan IFC: IFC2X3 |

| Allgemeine Überprüfung von Räumen                                  | Akz | Zur | Gro | Nor | Kle | Kommentar |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| Das Modell sollte Räume haben                                      | OK  |     |     |     |     |           |
| <b>Raumeigenschaften</b>   |     |     |     | x   |     |           |
| Räume müssen einen Namen aufweisen                                 |     |     |     | x   |     |           |
| Räume müssen eine Nummer aufweisen                                 | OK  |     |     |     |     |           |
| Raumabmessungen müssen innerhalb sinnvoller Grenzen liegen         |     |     |     | x   |     |           |
| Räume müssen Türen aufweisen                                       |     |     |     | x   |     |           |
| <b>Raumposition</b>  |     |     | x   | x   | x   |           |
| Raumüberschneidungen   | OK  |     |     |     |     |           |
| Raumüberprüfung  |     |     | x   | x   | x   |           |
| Räume in einer Gebäudeetage müssen die gleiche Bodenhöhe aufweisen | OK  |     |     |     |     |           |

| BIM-Überprüfung - Architektur  | Akz | Zur | Gro | Nor | Kle | Kommentar |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| <b>Überprüfung der Modellstruktur</b>  | OK  |     |     |     |     |           |
| Modellhierarchie   | OK  |     |     |     |     |           |
| Gebäudeetagen  | OK  |     |     |     |     |           |
| Türen und Fenster  | OK  |     |     |     |     |           |
| Definition der Türöffnungsrichtung   | OK  |     |     |     |     |           |
| <b>Komponenten und Konstruktionstypen</b>  |     |     | x   | x   | x   |           |
| <b>Komponentenabmessungen</b>  |     |     | x   | x   | x   |           |
| <b>Wandabmessungen müssen sinnvoll sein</b>                                      |     |     | x   | x   | x   |           |
| Wandhöhe   |     |     |     |     | x   |           |
| Wanddicke  | OK  |     |     |     |     |           |
| Wandlänge  |     |     | x   | x   |     |           |
| Abstände von Wandöffnungen   | -   |     |     |     |     |           |
| <b>Tür- und Fensteröffnungen müssen mindestens eine minimale Größe aufweisen</b> | OK  |     |     |     |     |           |
| Fensterbreite  | OK  |     |     |     |     |           |
| Fensterhöhe  | OK  |     |     |     |     |           |
| Türbreite  | OK  |     |     |     |     |           |
| Türhöhe  | OK  |     |     |     |     |           |
| <b>Plattenabmessungen müssen sinnvoll sein</b>                                   | OK  |     |     |     |     |           |
| Plattendicke   | OK  |     |     |     |     |           |
| Plattenfläche  | OK  |     |     |     |     |           |
| <b>Dachabmessungen müssen sinnvoll sein</b>                                      |     |     |     |     | x   |           |
| Dachdicke  | OK  |     |     |     |     |           |
| Dachfläche   |     |     |     |     | x   |           |
| <b>Säulen- und Balkenabmessungen müssen innerhalb sinnvoller Grenzen liegen</b>  | OK  |     |     |     |     |           |

|   |    |  |   |   |  |  |
|---|----|--|---|---|--|--|
| Säulenprofil                              | OK |  |   |   |  |  |
| Balkenprofil                              | -  |  |   |   |  |  |
| Säulenlänge                               | OK |  |   |   |  |  |
| Balkenlänge                               | -  |  |   |   |  |  |
| Etagenhöhen                               |    |  |   | x |  |  |
| <b>Freier Raum vor</b>                    |    |  | x | x |  |  |
| Freier Raum vor Fenstern                  |    |  | x |   |  |  |
| Freier Raum vor Türen                     |    |  | x |   |  |  |
| Freier Raum über abgehängten Decken       |    |  |   | x |  |  |
| <b>Mängelerkennung</b>                    |    |  | x | x |  |  |
| Erforderliche Komponenten                 |    |  |   | x |  |  |
| Nicht verwendete Flächen                  | OK |  |   |   |  |  |
| <b>Komponenten unterhalb und oberhalb</b> |    |  | x |   |  |  |
| Komponenten oberhalb von Säulen           | OK |  |   |   |  |  |
| Komponenten unterhalb von Säulen          | OK |  |   |   |  |  |
| Komponenten oberhalb von Balken           | -  |  |   |   |  |  |
| Komponenten unterhalb von Balken          | -  |  |   |   |  |  |
| Komponenten oberhalb von Wänden           |    |  | x |   |  |  |
| Komponenten unterhalb von Wänden          | OK |  |   |   |  |  |

| <b>Überschneidungen zwischen Architekturkomponenten</b> | <b>Akz</b> | <b>Zur</b> | <b>Gro</b> | <b>Nor</b> | <b>Kle</b> | <b>Kommentar</b> |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|
| <b>Überschneidungen - Gleiche Art von Komponenten</b>   |            | X          | x          |            | x          |                  |
| Wand-Wand-Überschneidungen                              |            | X          | x          |            | x          |                  |
| Platte-Platte-Überschneidungen                          | OK         |            |            |            |            |                  |
| Dach-Dach-Überschneidungen                              | OK         |            |            |            |            |                  |
| Balken-Balken-Überschneidungen                          | -          |            |            |            |            |                  |

|   |    |   |   |  |   |  |
|---|----|---|---|--|---|--|
| Säule-Säule-Überschneidungen  | OK |   |   |  |   |  |
| Tür-Tür-Überschneidungen  | OK |   |   |  |   |  |
| Fenster-Fenster-Überschneidungen  |    |   | x |  |   |  |
| Treppe-Treppe-Überschneidungen  |    | X | x |  |   |  |
| Überschneidungen zwischen abgehängten Decken                              | OK |   |   |  |   |  |
| Geländer-Geländer-Überschneidungen  | -  |   |   |  |   |  |
| Rampe-Rampe-Überschneidungen  | -  |   |   |  |   |  |
| <b>Überschneidungen - Andere Art von Komponenten</b>                      |    | X | x |  | x |  |
| Überschneidungen von Türen  |    |   |   |  | x |  |
| Überschneidungen von Fenstern   | OK |   |   |  |   |  |
| Überschneidungen von Säulen   |    |   |   |  | x |  |
| Überschneidungen von Balken   | -  |   |   |  |   |  |
| Überschneidungen von Treppen  |    | X | x |  | x |  |
| Überschneidungen von Geländern  | -  |   |   |  |   |  |
| Überschneidungen von abgehängten Decken                                   |    |   |   |  | x |  |
| Überschneidungen von Wänden   | OK |   |   |  |   |  |
| Überschneidungen von Platten  | OK |   |   |  |   |  |
| Überschneidungen von Dächern  | -  |   |   |  |   |  |
| <b>Überschneidungen von Einrichtungsgegenständen und anderen Objekten</b> |    |   | x |  |   |  |
| Überschneidungen von Objekten   |    |   | x |  |   |  |
| Türen/Fenster und Objekte   | OK |   |   |  |   |  |
| Objekte und andere Komponenten  |    |   | x |  |   |  |

| Fluchtweganalyse   | Akz | Zur | Gro | Nor | Kle | Kommentar |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| Brandabschnittsflächen müssen innerhalb der Grenzen liegen |     |     | x   | x   |     |           |

|   |    |  |   |   |  |  |
|---|----|--|---|---|--|--|
| Brandmauern müssen die richtigen Wand-, Tür- und Fenstertypen aufweisen |    |  | x |   |  |  |
| Räume müssen in Brandabschnitten enthalten sein                         |    |  |   | x |  |  |
| Modell sollte Treppen haben   | OK |  |   |   |  |  |
| Modell sollte Ausgänge haben  | OK |  |   |   |  |  |
| Minimale Abmessungen von Türen  | OK |  |   |   |  |  |
| Räume müssen mit Türen verbunden sein                                   |    |  |   | x |  |  |
| Ein als Notausgangsraum festgelegter Raum muss eine Fluchttür haben     | -  |  |   |   |  |  |
| Analyse der Fluchtwege  |    |  | x | x |  |  |

| Erweiterte Überprüfung von Räumen                            | Akz | Zur | Gro | Nor | Kle | Kommentar |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| <b>Raumeigenschaften</b>                                     |     |     | x   | x   | x   |           |
| Räume sollten eine Nutzungsklassifizierung aufweisen         | OK  |     |     |     |     |           |
| Räume müssen eindeutige Bezeichner aufweisen                 | OK  |     |     |     |     |           |
| Erhebung von Räumen muss innerhalb sinnvoller Grenzen liegen | OK  |     |     |     |     |           |
| Räume müssen ausreichend Fensterfläche aufweisen             |     |     | x   | x   |     |           |
| Raumflächenprüfung   |     |     |     |     | x   |           |
| Layer der Räume muss aus genehmigter Liste stammen           |     |     |     | x   |     |           |

---

## Anhang C

### Compact Disc

Auf der beigefügten Compact Disc sind folgende Datenenthalten:

- Der schriftliche Teil der Arbeit als Worddokument
- Die Daten des Projektes
- Die gerenderten 3D-Ansichten

## Literaturverzeichnis

Asmera, H., kein Datum *Schulungs Basics*. s.l.:A-Null Bausoftware GmbH.

Autodesk, 2010. *Familienhandbuch - Übungslektionen (Metrisch)*. s.l.:s.n.

Autodesk, 2010. <http://usa.autodesk.com/>. [Online]  
Available at: <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/item?siteID=123112&id=14997002>

Autodesk, 2011. *Revit Architecture 2011 User Guide*, s.l.: s.n.

Bayrische Architektenkammer, 2013. *Baulicher Brandschutz*, s.l.: Bayrische Architektenkammer.

BIM Task Group, 2013. *BIM Task Group - A UK Government Initiative*. [Online]  
Available at: <http://www.bimtaskgroup.org/>  
[Zugriff am 09 02 2016].

BIM Task Group, 2015. *Launch of Digital Built Britain - BIM Task Group*. [Online]  
Available at: <http://www.bimtaskgroup.org/launch-of-digital-built-britain/>  
[Zugriff am 02 09 2016].

Borrmann A., K. M. B. J., 2015. *Building Information Modeling - Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. s.l.:Springer Vieweg.

British Standards Institution, 2013. *Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling*, s.l.: BSI Standards Limited.

Building and Construction Authority, 2011. *buildsmart. A construction productivity magazine - Issue 9*, December.

buildingSMART alliance, 2015. *National BIM Standard - United States*. [Online]  
Available at: [https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US\\_FactSheet\\_2015.pdf](https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US_FactSheet_2015.pdf)

buildingSMART E.V., kein Datum [Online]  
Available at: [http://docs.buildingsmartalliance.org/MVD\\_WSIE/introduction.htm](http://docs.buildingsmartalliance.org/MVD_WSIE/introduction.htm)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2016. *Reformkommission Bau von Großprojekten*. [Online]  
Available at: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/reformkommission-bau-von-grossprojekten.html>  
[Zugriff am 21. 03. 2016].

Deutsche Bahn AG, 2016. *Deutsche Bahn AG*. [Online]  
Available at: [http://www.deutschebahn.com/de/presse/Medienpakete/suche\\_Medienpakete/10572960/medi](http://www.deutschebahn.com/de/presse/Medienpakete/suche_Medienpakete/10572960/medi)

[enpaket digitales bauen.html](#)

[Zugriff am 08. 02. 2016].

Eastman, C., 2011. *BIM Handbook-A GUIDE TO BUILDING INFORMATION MODELING FOR OWNERS, MANAGERS, DESIGNERS, ENGINEERS, AND CONTRACTORS*. s.l.:s.n.

Eatsman, C., Lee, J.-m., Jeong, Y.-s. & Lee, J.-K., 2009. Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in Construction*, 30 07, pp. 1011-1033.

Forschungsinitiative ZukunftBAU, 2013. *BIM-Leitfaden für Deutschland*, s.l.: Forschungsinitiative ZukunftBAU.

HOCHTIEF ViCon, 2015. *HOCHTIEF ViCon*. [Online]  
Available at: <http://www.hochtief-vicon.de/vicon/BIM-Services/3D-Mengenermittlung-9.jhtml>

[Zugriff am 01 02 2016].

Martin, E., Kerstin, H., Thomas, L. & Jakob, P., 2013. *BIM-Leitfaden für Deutschland*, s.l.: s.n.

Nemetschek AG, 2016. *Nemetschek AG*. [Online]  
Available at: <https://www.nemetschek.com/marken/solibri/>

[Zugriff am 15 03 2016].

NIBS, C. o. t. N. I. o. B. S., 2008. Committee of the National Institute of Building Sciences. In: s.l.:s.n.

Niedermaier, A. & Bäck, R., 2015. *Allplan BIM Kompendium - Theorie und Praxis*, s.l.: Allplan GmbH.

planen-bauen 4.0 GmbH, 2015. *Stufenplan Digitales Planen und Bauen*, Berlin: Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur.

Preidel, C., 2014. *Code Compliance Checking - Entwicklung einer Methode zur automatisierten Konformitätsüberprüfung auf Basis einer graphischen Sprache und Building Information Modeling*. München: s.n.

Ritter, F., 2011. *Untersuchung der Möglichkeiten und Vorteile des modellgestützten kooperativen Planens anhand von Autodesk Produkten*. München: s.n.

Solibri Inc. A Nemetschek Company, 2014. *Solibri Model Checker Hilfe*, s.l.: Solibri Inc. A Nemetschek Company.

Solibri Inc. A Nemetschek Company, 2015. *Creating Classification in SMC*. [Online]  
Available at: <https://solibri.wordpress.com/2015/06/30/creating-classifications-in-smc/>  
[Zugriff am 15. 03. 2016].

Solibri Inc. A Nemetschek Company, 2015. *Understanding Information Takeoff (ITO)*. [Online]  
Available at: <https://solibri.wordpress.com/2015/07/28/information-takeoff-ito/>  
[Zugriff am 20. 03. 2016].

Solibri Inc. A Nemetschek Company, 2016. *Getting started v.9*, s.l.: Solibri Inc. A Nemetschek Company.

Solibri Inc., A Nemetschek Company, 2016. *Solibri, A Nemetschek Company*. [Online] Available at: <http://www.solibri.com/solibri-spotlight-issue-11/> [Zugriff am 15 03 2016].

Solihin, W. & Eastman, C., 2015. Classification of rules for automated BIM rule checking development. *Automation in Construction*, 03 03, pp. 69-82.

Vectorworks A Nemetschek Company, 2016. *Arboleda Open BIM Project*. [Online] Available at: <http://www.vectorworks.net/bim/projects/135> [Zugriff am 21. 03. 2016].

Yong-Cheol, L., Charles M., E. & Jin-Kook, L., 2015. Validations for ensuring the interoperability of data exchange of a building information model. *Automation in Construction*, 13 07, pp. 176-195.

## Eidesstaatliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelor-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, 31. März 2016

---

Vorname Nachname

Katrina Templeton  
Schusterweg 24  
D-85630 Grasbrunn  
kntempleton@outlook.de