

Erstellen einer standardisierten Material-Kostengliederung für Projekte einer Bausoftware mittels Natural Language Processing

Florian Weidner

Fakultät für Informatik

WS 2022/23

IFC ist ein öffentlicher Standard im Bauwesen zur digitalen Beschreibung von Gebäudemodellen. In diesen Modellen können auch die Materialein der einzelnen Bauteile spezifiziert werden. Ziel ist es eine Kostengliederungsstruktur in der Bausoftware ORCA AVA aus den Materialieninformationen einer IFC-Datei zu generieren. Materialien können an verschiedenen Stellen im Modell angegeben werden. Ein Algorithmus soll diese Möglichkeiten in ein Interface zusammenführen. Außerdem handelt es sich bei der Materialangabe um ein Freitextfeld. Hier soll mit Hilfe von Natural Language Processing und Artificial Intelligence eine Lösung entwickelt werden, um eine standartisierte Liste der Materialien zu erschaffen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Motivation	2
1.3	Ziel der Arbeit	3
1.4	Wissenschaftliche Vorgehensweise	3
2	Grundlagen	4
2.1	Projektmanagement	4
2.1.1	Vorgehensmodell	4
2.1.2	DevOps	5
2.2	Industry Foundation Classes (IFC)	6
2.2.1	Geschichte	6
2.2.2	Format	6
2.2.3	Verwendung	7
2.2.4	Möglichkeiten für die Materialangabe eines Bauteils	8
2.3	Das Format Kostengliederung in der ORCA AVA	9
3	Problemstellung und Anforderungen	10
3.1	Problemstellung	10
3.2	Anforderungen	10
3.2.1	Funktionale Anforderungen	10
3.2.2	Weitere Anforderungen	10
3.2.3	Ziele	10
4	Theoretische Konzeption für die Erstellung der Material-Kostengliederung	11
4.1	Textklassifizierungsalgorithmus	11
4.2	WordNet	11
4.3	11
5	Gegenüberstellung der möglichen Konzepte	12
5.1	Messkriterien	12
5.2	Vergleich der Konzepte	12
5.3	Festsetzen eines Algorithmus	12

6	Praktische Umsetzung	13
6.1	Zusammenfassen der Materialschnittstelle einer IFC Datei	13
6.1.1	Entwurf des Algorithmus	13
6.1.2	Implementieren des Algorithmus	13
6.2	Standardisierung der Materialnamen	13
6.2.1	Nutzen von Artificial Inteligence	13
6.2.2	Erstellen einer Datengrundlage	13
6.2.3	Implementierung der Standardisierung	13
6.3	Erstellen einer Kostengliederung	13
6.3.1	Implementieren	13
7	Maßnahmen zur Qualitätssicherung	14
7.1	Clean Code	14
7.2	Technische Hilfsmittel	14
7.3	Tests und Abnahme	14
8	Abschluss	15
8.1	Bewertung der praktischen Umsetzung	15
8.2	Fazit	15
8.3	Ausblick	15
9	Abkürzungsverzeichnis	16
A	Erster Abschnitt des Anhangs	17

1 Einleitung

Inhalt dieser wissenschaftlicher Arbeit ist das automatische Erstellen einer Material-Kostengliederung aus einer IFC-Datei mit Hilfe von Natural Language Processing (NLP) für eine Projekt einer Bausoftware. Diese Bausoftware ist die ORCA AVA aus dem mittelständigen Softwarehaus „ORCA Software GmbH“ aus Neubuern. In diesem Kapitel soll eine kurze Einführung über die „ORCA Software GmbH“ und das Produkt ORCA AVA gegeben werden. Außerdem wird die Motivation für das Feature und die wissenschaftliche Vorgehensweise dieser Arbeit beschrieben.

1.1 Ausgangssituation

Die im Titel beschriebene Bausoftware ist die ORCA AVA aus dem Softwarehaus „ORCA Software GmbH“. Dieses wurde im Jahr 1990 von Dipl.-Ing. Siegfried Tille und Dipl.-Ing. Heinz Nießen gegründet. Der Hauptsitz des Unternehmens ist in Neubuern, bei Rosenheim. Das Unternehmen ist auf die Produktentwicklung von Software für die Baubranche spezialisiert. Im Vordergrund stehen die Ausschreibungssoftware ORCA AVA und die Ausschreibungstext-Plattform AUSSCHREIBEN.DE. Ziel der Entwicklung ist es die Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung (AVA) eines Bauvorhabens für Planer, Architekten und Bauingenieure zu vereinfachen. Der Leitfaden ist, dass die Software soll für jeden verständlich und intuitiv zu bedienen sein. Diese Arbeit fokussiert sich auf eine Erweiterung der ORCA AVA. Sie ist für alle Architektur- und Ingenieurbüros, Wohnungsbaugesellschaften, Unternehmen und Behörden zur einfachen Abwicklung von Bauprojekten mit Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung. Zusätzlich bildet sie das Kostenmanagement von solchen Projekten ab. Die Software ist außerdem Building Information Modeling (BIM) fähig und bietet Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) zertifizierte Schnittstellen für den Datenaustausch an. Es stehen drei verschiedene Editionen zur Verfügung. Die ORCA AVA Starter Edition (SE), die ORCA AVA Professional Edition (PE) und die ORCA AVA Enterprise Edition (EE). Die aktuellste Version ist die 25.0.

Technisch wird die ORCA AVA in .NET entwickelt. Ein Großteil der Anwendung besteht noch aus Visual Basic (VB) Code. Alle neuen Komponenten und Erweiterungen werden in C# implementiert. Neue Graphical User Interface (GUI)-Komponenten werden dementsprechend mit Windows Presentation Foundation (WPF) entwickelt. WPF ist ein .NET Framework für das Erstellen von Windows Applikationen mit graphischer Benutzeroberfläche von Microsoft. (Microsoft 2022) Die ORCA AVA und der IFC Manager (siehe Abschnitt 2.2.3) laufen in eigenen Prozessen und kommunizieren auf

Prozessebene in der lokalen Umgebung.

1.2 Motivation

Ziel ist es BIM noch mehr in die ORCA AVA zu integrieren. BIM bedeutet, dass die Planung von Bauprojekten vollständig auf digitaler Basis durchgeführt wird. Für jeden Projektbeteiligten besteht somit jederzeit Zugriff auf alle projektrelevanten Daten über Kosten, Mengen und Zeitabläufen. Somit können Baukosten einfacher ermittelt und der Bauprozess besser überwacht werden. In Abbildung 1 ist zu sehen, dass BIM ein Relevanter Begriff in der Baubranche ist. Die Verwendung der Praktik ist allerdings noch nicht sehr verbreitet (Thomas Baumanns, Dr. Philipp-Stephan Freber, Dr. Kai-Stefan Schober, Dr. Florian Kirchner 2016, p. 20). Mit dem „IFC First“ Ansatz ist das langfristige Ziel der ORCA AVA das Thema BIM noch mehr abzudecken. Aus den Daten des 3D-Gebäudemodells soll automatisch ein Ausschreibungstext entstehen. Bauteile aus dem Gebäudemodell sollen mit Kurztext, Langtext, Menge, Preis und vordefinierten Kostengliederungen in den Programmteil Bauelemente der ORCA AVA übernommen werden. Das ganze ist ein gutes Werbemittel für den Verkauf der Software, da die Relevanz des Themas so hoch ist und somit viele Kunden anspricht. Ein erster Teil des langfristigen Ziels, ist die Übernahme der Baustoffe aus der IFC-Datei. Diese bieten die erste Kostengliederung für den „IFC First“ Ansatz. Die Übernahme von weiteren Daten aus dem IFC-Modell können darauf aufgebaut werden. Ein weiterer Trendbegriff, der mit dem Feature abgedeckt werden soll ist „Künstliche Intelligenz“ und „Maschinelles Lernen“. Das Suchinteresse der beiden Themen sind in Abbildung 2 zu sehen. Die Werte geben das Suchinteresse relativ zum höchsten Punkt im Diagramm an. Der Begriff „Maschinelles Lernen“ hat seit Anfang 2015 eine steigendes Suchinteresse. Bei „künstliche Intelligenz“ ist das Suchinteresse von Anfang 2017 bis Ende 2021 konstant hoch. Der starke Anstieg ab November 2022 hängt wahrscheinlich mit der Veröffentlichung der Software ChatGPT zusammen. Man erkennt insgesamt, dass das Interesse über die letzten Jahre ist. Diese Begriffe werden von der vertrieblicher Seite schon länger gewünscht. Die Erweiterung wäre der erste Einsatz von Maschinellern Lernen. Es ist also zusätzlich auch ein Pilotprojekt, um Erfahrungen in diesem Themengebiet zu bekommen. Außerdem lernt die Entwicklung das Arbeiten mit solchen Algorithmen.

Durch die genannten Punkte ist das Feature dem Kano-Modell nach als Begeisterungsfeature zuzuordnen. Die Kundenzufriedenheit steigt also exponentiell mit dem Erfüllungsgrad der Anforderung. (siehe Abbildung 3) Mit der Zeit wandelt sich es dann erst in ein Leistungsfeature und irgendwann in ein Basisfeature. (Hölzing 2008, p. 3-4)

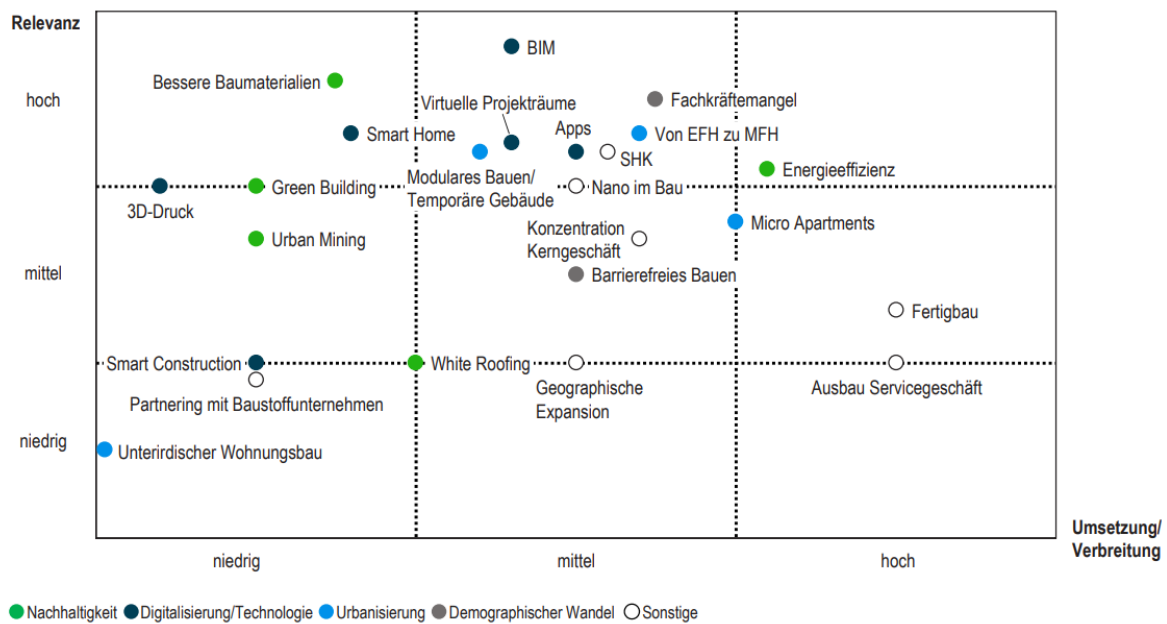


Abbildung 1: Megatrends Nachhaltigkeit und Digitalisierung in der Bauwirtschaft. Bilder aus (Thomas Baumanns, Dr. Philipp-Stephan Freber, Dr. Kai-Stefan Schober, Dr. Florian Kirchner 2016, p. 20)

1.3 Ziel der Arbeit

1.4 Wissenschaftliche Vorgehensweise

Im Folgenden wird die wissenschaftliche Vorgehensweise der Arbeit aufgezeigt. In Abschnitt 1 wurde bereits die Ausgangssituation beschrieben und das entwickeln des Features motiviert. Außerdem wurde das Ziel der Arbeit definiert. Im nächsten Kapitel, Kapitel 2, werden Grundlagen erläutert, auf die diese Arbeit aufbaut. Im anschließenden Kapitel 3 sollen die Problemstellung und Anforderungen analysiert werden.



(a) Suchinteresse: Künstliche Intelligenz



(b) Suchinteresse: Machine Learning

Abbildung 2: Google Suchinteresse der beiden Begriffe „künstliche Intelligenz“ und „Maschinelles Lernen“ seit 2004

2 Grundlagen

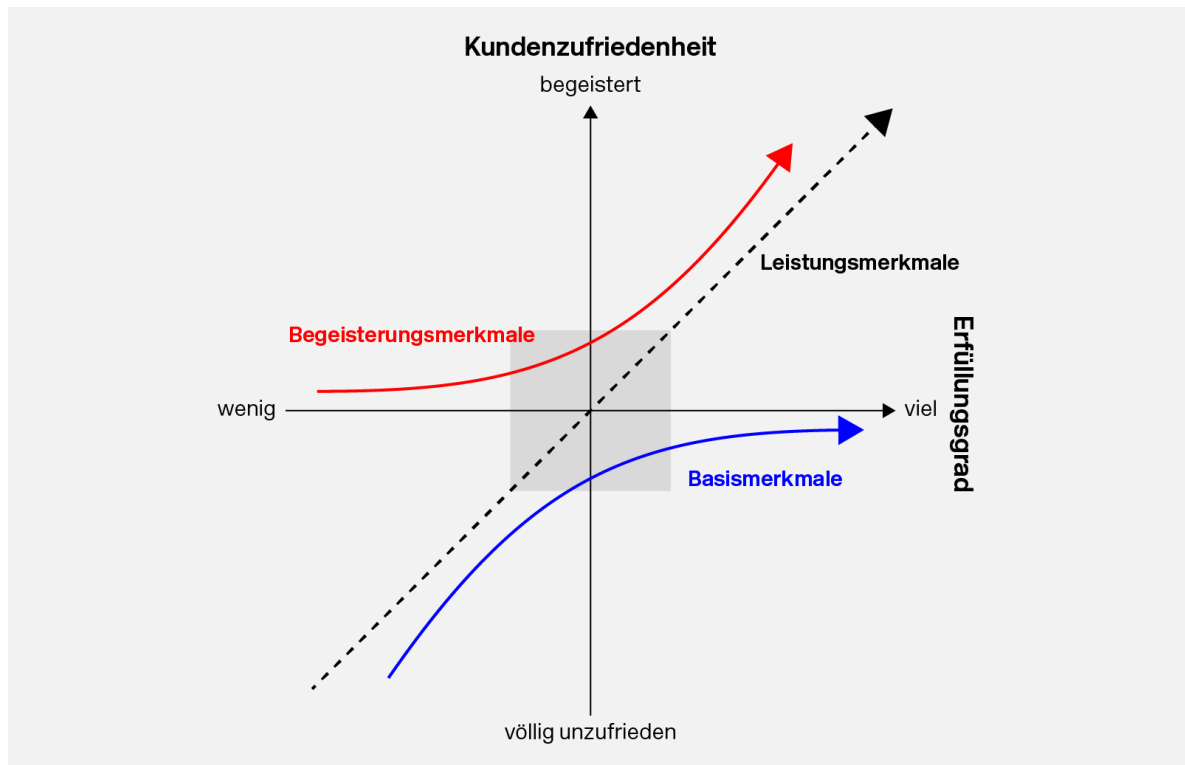
In diesem Kapitel werden die Grundlagen im Bereich der fachspezifischen Themen, Technik und Projektmanagement vermittelt. Dies sollte Verständnis für die folgenden Kapitel schaffen. Zuerst geht es um das Projektmanagement. Anschließend geht es um das Format IFC, dessen Geschichte und dessen Nutzungsmöglichkeiten für diese Arbeit. Außerdem wird die Struktur und der Nutzen einer Kostengliederung in der ORCA AVA veranschaulicht.

2.1 Projektmanagement

Bevor auf technische und fachliche Aspekte von IFC und Kostengliederungen eingegangen wird, folgt die Einführung in das Projektmanagement mit SCRUM und Development Operations (DevOps).

2.1.1 Vorgehensmodell

Das Projekt wurde mit Hilfe agiler Softwareentwicklung durchgeführt. Die durchlaufenden Sprints sind zwei Wochen lang. Funktionale Anforderungen werden vom Projektmanagement gestellt.



Quelle: <https://dmexco-lightsails-media.s3.eu-central-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2021/01/04112832/Kano-Modell.png> (Accessed: 2023-2-24)

Abbildung 3: Kano Modell der Kundenzufriedenheit

2.1.2 DevOps

Die Bezeichnung DevOps vereint die beiden Praktiken „Development“ (Entwicklung) und „Operations“ (Vorgänge). Die traditionelle Trennung von Entwicklung und Softwarebetrieb führt oft zu Interessenskonflikten. Entwickler wollen stetig die Software verbessern, der Betrieb will Änderungen vermeiden um die Stabilität des Systems zu gewährleisten. Durch DevOps entsteht ein Softwareentwicklungsprozess, den man durch Praktiken wie Continuous Integration, Continuous Delivery, Continuous Deployment, automatisiertes Testen, Infrastructure-as-Code und automatische Veröffentlichungen beschleunigt. DevOps steht auch für eine Entwicklungskultur mit offener Zusammenarbeit, Kommunikation, Transparenz und Eingestehen von Fehlern, um Konflikte im Team zu vermeiden. Im Entwicklungsteam der ORCA AVA wird diese Praktik umgesetzt. Die Technischen Hilfsmittel, die für den DevOps Prozess verwendet werden, sind in Abschnitt 7.2 (Beetz & Harrer 2021)

2.2 IFC

Die Daten für die Material-Kostengliederung werden aus einem digitalem Gebäudemodell entnommen. Der öffentliche internationale Standard (ISO 16739-1:2018) für Gebäudemodelle ist IFC. (?) Dieser wird auch in der bestehenden ORCA AVA benutzt um den Ausschreibungsprozess zu unterstützen. IFC Dateien können geöffnet, angeschaut und Informationen über das Modell in die Hauptsoftware übernommen werden. Im folgenden Kapitel wird die Geschichte, das Format von IFC und die Verwendung in der ORCA AVA erläutert.

2.2.1 Geschichte

IFC ist die Hauptleistung der buildingSMART International, Ltd. Die non-profit Organisation will mit der Spezifikation den BIM Prozess fördern und voranbringen. (Grutters n.d.) Angefangen hat die Organisation als der Verein Industrieallianz für Interoperabilität IAI e. V. mit Sitz in Berlin. 1994 startete die Entwicklung an dem offenen Datenmodellstandard IFC. Dieser sollte die Anforderungen der Industrie an Interoperabilität gerecht werden und eine gemeinsame Basis zum Austausch von Informationen durch verschiedenen Anwendungen geschaffen werden. Im Zusammenhang mit BIM sollten Daten lesbar, editierbar für verschiedene Systeme durch den Bauprozess und kompletten Lebenszyklus eines Gebäudes geteilt werden. (Laakso & Kiviniemi 2012) Nach einigen Prototypen wurde 1999 IFC 2.0 veröffentlicht. Diese wurde bis 2007 mit der Version 2.3.0.1 stetig verbessert. Die Version 2.3 wird auch in heutigen Projekten noch verwendet. 2013 wurde IFC4 veröffentlicht, welche mit der Version 4.0.2.1 die aktuellste, offizielle IFC Version ist. Das Format wird aktuell noch stetig weiterentwickelt. Neue Versionen stehen schon vor einer Abstimmung der International Organization for Standardization (ISO). (van Berlo 2022) Es gibt folgendermaßen aktuell zwei offizielle Versionen. Beide werden in der Praxis benutzt und wie in Abschnitt 2.2.3 beschrieben mit der ORCA AVA kompatibel.

2.2.2 Format

Das IFC Format kodiert folgende Daten:

- Identität, Semantik, Attribute und Relationen von Objekten
- Abstrakte Konzepte wie Performance oder Kosten
- Prozesse wie z.B. Installationen und Operationen
- Personen wie z.B. Eigentümer oder Lieferanten

Die Spezifikation kann also für das Bauen, Betreiben oder Nutzen eines Gebäudes genutzt werden. IFC ist ein Implementierungs- Unabhängiges Datenmodell, welches in verschiedenen Umgebungen und elektronischen Formaten benutzt werden kann. Es kann beispielsweise in eine relationales Datenbankschema gegossen oder auch als Dateiformat implementiert werden. Das weitverbreitetste Format ist Standard for the exchange of product model data (STEP) Physical Format (SPF) (Laakso & Kiviniemi 2012, Grutters n.d.). Das STEP ist das kompakteste Format für den dateibasierten Import und Export von IFC-Dateien. Des weiteren kann es als Extensible Markup Language (XML) oder ZIP Datei verwendet werden. (Grutters n.d.)

2.2.3 Verwendung

Today, IFC is typically used to exchange information from one party to another for a specific business transaction. (Grutters n.d.)

In der ORCA AVA wird IFC für das Einlesen und Übernehmen von Maßen und Mengen in die Ausschreibung verwendet. Es vereinfacht den Prozess, die in der Computer-aided design (CAD)-Software erstellten Daten einfach in die Leistungsverzeichnisse der ORCA AVA zu überführen. Die ORCA AVA kann IFC-Dateien einlesen. Im IFC Manager wird das 3D-Modell dann angezeigt. In dem geöffneten Fenster gibt es einige fachliche Ansichten, die jegliche IFC-Daten nochmal fachlich abstrahieren. In den Ansichten können zum Beispiel bestimmte Maße oder die Anzahl verschiedener Bauteile, die aus dem IFC-Modell berechnet werden, in die ORCA AVA übernommen werden. Es werden auch alle im IFC definierten Eigenschaften eines Bauteils in der Eigenschaften-Ansicht angezeigt. Hier kann man auch die Materialbezeichnung des Bauteils finden, die im Modell hinterlegt ist. In Abbildung 5 ist die Oberfläche des IFC Managers zu sehen. Man sieht die Materialangabe rechts unten im Eigenschaftenfeld unter dem 3D-Modell.

Für das Arbeiten mit IFC-Dateien wird die open-source Bibliothek xbim-toolkit verwendet. Die .NET Bibliothek kann IFC-Dateien lesen, schreiben und anzeigen. Außerdem unterstützt es bei der Berechnung von komplexer Geometrie, um die Modelldaten für Analysen nutzbar zu machen. Seit 2009 wird die Bibliothek in Zusammenarbeit mit der Norhumbria University weiterentwickelt. Mittlerweile bildet es die Standards IFC Version 2.3 (IFC2x3) und IFC Version 4 (IFC4) zu 100% ab. Außerdem bietet es an, auch IFC2x3 Modelle über das IFC4 Interface anzuprogrammieren. Somit können mit einer Codebasis beide Formate abgebildet und unterstützt werden. (Xbim Ltd. n.d.)

2.2.4 Möglichkeiten für die Materialangabe eines Bauteils

In einem IFC-Modell können Materialien unterschiedlich einem Bauteil zugewiesen sein. Die Spezifikation bietet die Klasse *IfcMaterial*. Diese bildet fachlich ein Material ab. Es hat die Attribute Name, Description und Category. (buildingSMART International Ltd. 2017a) Eine Instanz von *IfcMaterial* kann mit einem Element oder Elementtyp über die *IfcRelAssociatesMaterial* verbunden werden. Diese Zuweisung kann über verschiedene Weisen stattfinden. In Abbildung 4 ist eine direkte Zuweisung über das *IfcRefAssociatesMaterial* zu sehen. Hier hängt das *IfcMaterial* direkt am Element. Bei einer Platte mit mehreren Schichten kann das *IfcMaterial* auch wie in Abbildung 6 zu sehen an einem *IfcMaterialLayerSet* zugewiesen sein. Jede Schicht hat hier seine eigene Dicke und eigene Materialangabe. Ein Träger kann das *IfcMaterial* über ein *IfcMaterialProfileSet* abgebildet haben. (siehe Abbildung 7) Bei zum Beispiel einer Tür können verschiedene Materialien des Rahmens und der Verglasung über das *IfcMaterialConstituentSet* abgebildet werden. (siehe Abbildung 8) (buildingSMART International Ltd. 2017b) Zusätzlich gibt es noch ältere Möglichkeiten Materialangaben an ein Element zu binden. In IFC2x3 gibt es die Klasse *IfcMaterialList* (Thomas et al. 2007). Diese Möglichkeit ist deprecated, in der Praxis kommt das IFC2x3 Format noch regelmäßig vor. Die *IfcMaterialList* muss also auch beachtet werden.

Neben verschiedenen Verbindungen zu *IfcMaterial* hat jedes Element bei IFC auch verschiedene Property Sets. Property Sets sind Container, die Eigenschaften je nach ihrem Namensattribut enthalten. Einige Property Sets sind in der Spezifikation des IFC Standards enthalten. Es können auch zusätzlich benutzerdefinierte Property Sets erfasst werden. Diese können auch Informationen über das Material eines Elements enthalten. (buildingSMART International Ltd. 2017c) Das PropertySet *Pset_MaterialConcrete* weißt darauf hin, das es sich um Beton handelt.

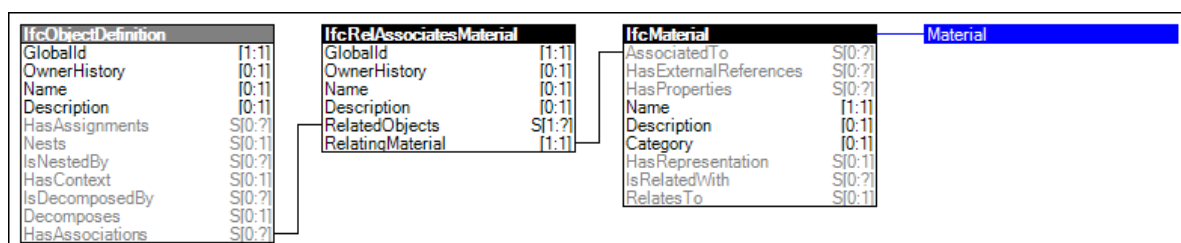


Abbildung 4: Material Single Association

2.3 Das Format Kostengliederung in der ORCA AVA

Die Kostengliederung bietet eine Struktur, um Gesamtkosten einer Baumaßnahme in Kostengruppen unterteilt auswerten zu können. Logisch zusammengehörende Kosten können so in eine Kostengruppe (KG) zusammengerechnet werden. Außerdem ist der Aufbau eine Baumstruktur, wodurch Kostengruppen hierarchisch addiert werden können. Bei einem Bauprojekt kann man so Kosten über alle Projektphasen vergleichen. Von der Kostenschätzung über die Ausschreibung bis zur Rechnungsfreigabe. So können Kostenauswertungen nach den verschiedenen Kostengruppen durchgeführt werden. In einem ORCA AVA Projekt kann man verschiedene Kostengliederungen definieren. Es existieren bereits Standardkostengliederungen beim Erstellen eines neuen Projektes. Zusätzlich können neue Kostengliederungen erstellt oder importiert werden. (*Auswählen eines Algorithmus für maschinelles Lernen - Azure Machine Learning* n.d.)

Technisch ist eine Kostengliederung als Modell im C# Code definiert. Der Aufbau bildet die Baumstruktur über eine Referenz zur ParentNode und mehreren ChildrenNodes ab. Das Modell kann über die ORCA AVA interne Middleware in der Datenbank persistiert werden. Die persistierten Kostengliederungen werden dann über VB-Teil der Anwendung im entsprechenden Programmteil angezeigt. So müssen nach der generierten Kostengliederungs-Struktur die strukturierten Materialbezeichnungen in das C# Modell abgebildet werden. So wird nach dem Import die erstellte Kostengliederung automatisch in der Oberfläche angezeigt und kann für Kostenauswertungen benutzt werden.

3 Problemstellung und Anforderungen

3.1 Problemstellung

3.2 Anforderungen

3.2.1 Funktionale Anforderungen

3.2.2 Weitere Anforderungen

3.2.3 Ziele

4 Theoretische Konzeption für die Erstellung der Material-Kostengliederung

4.1 Textklassifizierungsalgorithmus ...

4.2 WordNet ...

4.3 ...

5 Gegenüberstellung der möglichen Konzepte

5.1 Messkriterien

5.2 Vergleich der Konzepte

5.3 Festsetzen eines Algorithmus

6 Praktische Umsetzung

6.1 Zusammenfassen der Materialschnittstelle einer IFC Datei

6.1.1 Entwurf des Algorithmus

6.1.2 Implementieren des Algorithmus

6.2 Standardisierung der Materialnamen

6.2.1 Nutzen von Artificial Intelligence

6.2.2 Erstellen einer Datengrundlage

6.2.3 Implementierung der Standardisierung

6.3 Erstellen einer Kostengliederung

6.3.1 Implementieren

7 Maßnahmen zur Qualitätssicherung

7.1 Clean Code

7.2 Technische Hilfsmittel

7.3 Tests und Abnahme

8 Abschluss

8.1 Bewertung der praktischen Umsetzung

8.2 Fazit

8.3 Ausblick

Jo viel Spaß noch

9 Abkürzungsverzeichnis

IFC Industry Foundation Classes

IFC2x3 IFC Version 2.3

IFC4 IFC Version 4

BIM Building Information Modeling

KG Kostengruppe

DevOps Development Operations

NLP Natural Language Processing

AVA Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung

BIM Building Information Modeling

DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

SE Starter Edition

PE Professional Edition

EE Enterprise Edition

VB Visual Basic

GUI Graphical User Interface

WPF Windows Presentation Foundation

ISO International Organization for Standardization

STEP Standard for the exchange of product model data

SPF STEP Physical Format

XML Extensible Markup Language

CAD Computer-aided design

A Erster Abschnitt des Anhangs

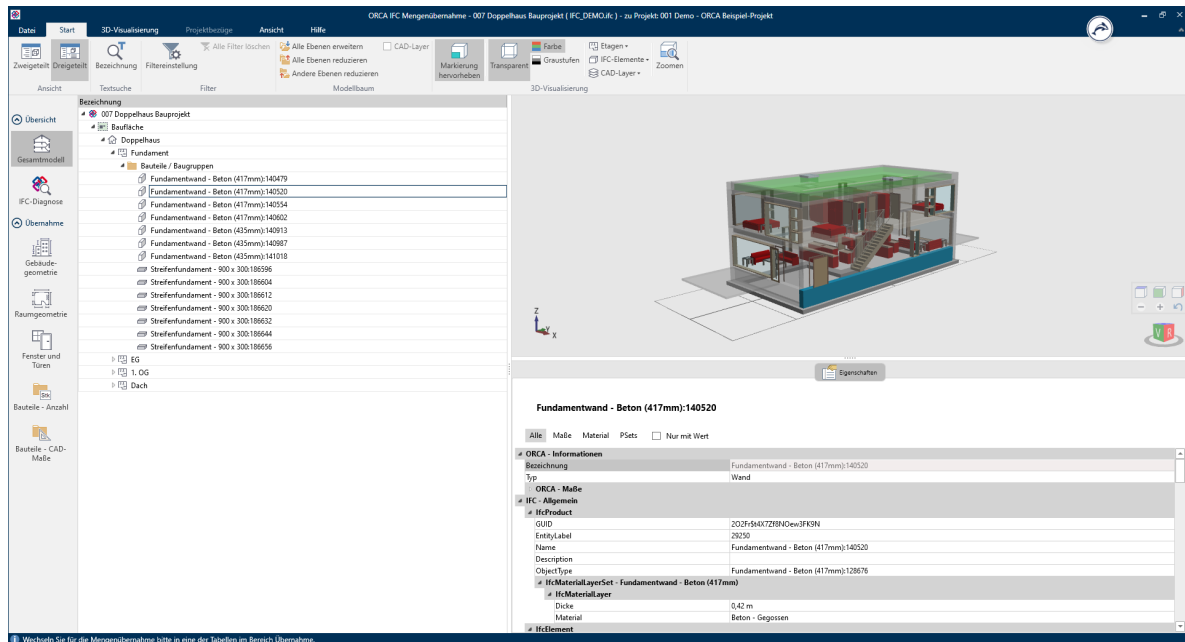


Abbildung 5: Oberfläche des IFC Manager

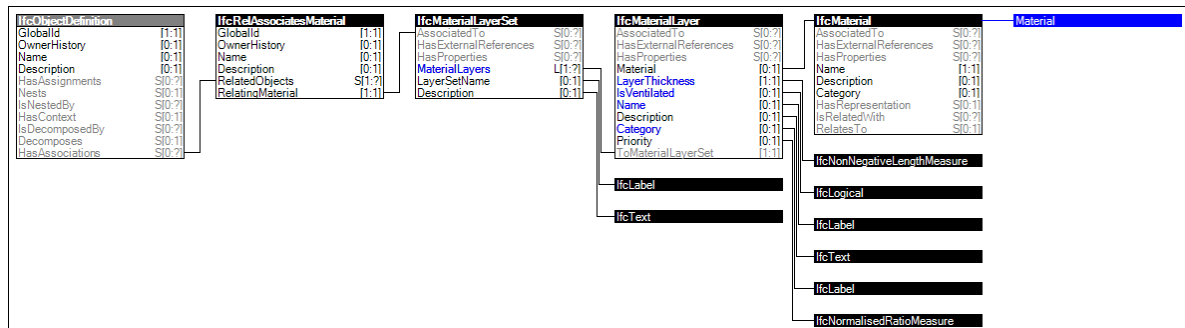


Abbildung 6: Material Layer Set Association

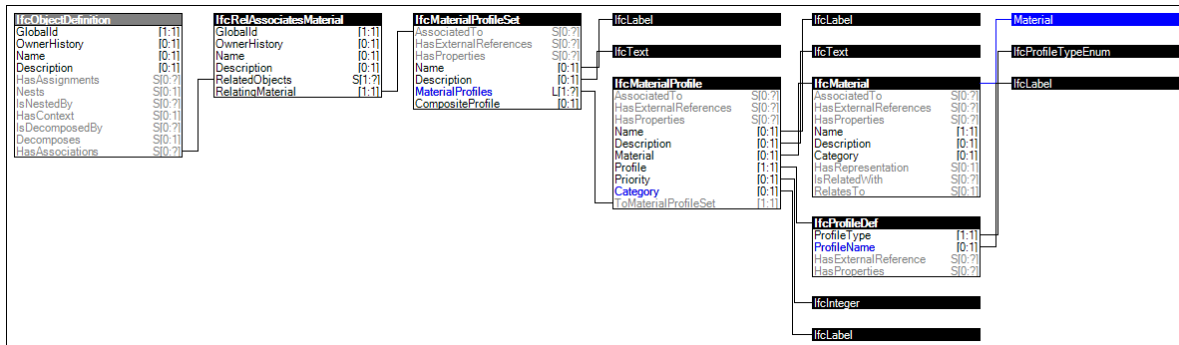


Abbildung 7: Material Profile Set Association

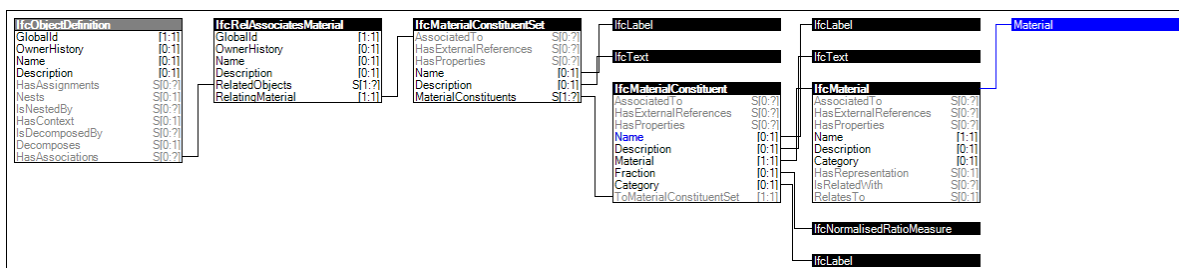


Abbildung 8: Material Constituent Set Association

Literatur

Auswählen eines Algorithmus für maschinelles Lernen - Azure Machine Learning (n.d.).

Accessed: 2023-1-18.

URL: <https://learn.microsoft.com/de-de/azure/machine-learning/how-to-select-algorithms>

Beetz, F. & Harrer, S. (2021), ‘Gitops: The evolution of devops?’, *IEEE Software* **39**.

buildingSMART International Ltd. (2017a), ‘Industry foundation classes - ifcmaterial’.

Accessed: 2023-1-31.

URL: http://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcmaterial.htm

buildingSMART International Ltd. (2017b), ‘Industry foundation classes 4x1 - material association’. Accessed: 2023-1-31.

URL: http://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/material-association.htm

buildingSMART International Ltd. (2017c), ‘Industry foundation classes 4x3- ifcpropertyset’. Accessed: 2023-1-31.

URL: https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_3/RC1/HTML/schema/ifckernel/lexical/ifcpropertyset.htm

Grutters, B. (n.d.), ‘Industry foundation classes (ifc) – an introduction’. Accessed: 2023-2-22.

URL: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>

Hölzing, J. A. (2008), *Die Kano-Theorie der Kundenzufriedenheitsmessung*, Gabler Verlag Wiesbaden.

Laakso, M. & Kiviniemi, A. O. (2012), ‘The IFC standard: A review of history, development, and standardization, information technology’, *J. Inf. Technol. Constr.* **17**(9), 134–161.

Microsoft (2022), ‘Windows presentation foundation (WPF)’. Accessed: 2023-2-10.

URL: <https://github.com/dotnet/wpf>

Thomas Baumanns, Dr. Philipp-Stephan Freber, Dr. Kai-Stefan Schober, Dr. Florian Kirchner (2016), *Bauwirtschaft im wandel - trends und potenziale bis 2020*, Technical report.

Thomas, L., Yoshinobu, A., James, F., Juha, H., Kari, K., Kent, R., Stefan, R. & buildingSMART International Ltd. (2007), 'Ifcmateriallist'. Accessed: 2023-1-31.

URL: <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/ifcmaterialresource/>

van Berlo, L. (2022), 'Ifc specifications database'. Accessed: 2023-2-22.

URL: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>

Xbim Ltd. (n.d.), 'Xbim toolkit'. Accessed: 2023-1-31.

URL: <https://docs.xbim.net/>