



Projektarbeit

ENTWICKLUNG EINES  
SOFTWARESYSTEMS ZUR  
PRODUKTMODELL-ORIENTIERTEN  
PLANNAVIGATION AUF DER  
GRUNDLAGE EINER RELATIONALEN  
PLANVERWALTUNG

Frank Opitz  
Mat.-Nr.: 2938730

Betreut durch:  
Dipl.-Ing. Ronny Windisch  
Eingereicht am 28. Januar 2011

## Kurzfassung

Die zu lösende Aufgabe war die Erstellung einer Verknüpfung von Objekten des IFC-Produktmodells mit den zugehörigen externen Plandokumenten. Dazu sollte die von den Entwicklern des IFC-Modells vorgesehene Schnittstelle genutzt werden.

Das Ziel der Arbeit war die Schließung der technologischen Lücke zwischen Produktmodell und Dokumenten eines Bauvorhabens. Damit sollte erreicht werden dass eine Verbindung zwischen den etablierten Plandokumenten und dem zukunftssträchtigen IFC-Modell herausgearbeitet wird, um die Vorteile der Produktdaten zu nutzen und bestehende und rechtlich verbindliche Arbeitsabläufe nicht zu umgehen.

Der Lösungsansatz bestand in erster Linie darin, die Plandokumente und das IFC-Modell zu indizieren. Als Vorlage wurden die Abläufe in einem Dokumenten-Management-System genutzt. Die auf den Plänen verzeichneten Bauteile und die Objekte im IFC-Modell wurden nach den Kategorien Bauwerksstruktur und Bauteiltyp unterteilt. Aufgrund der sich ergebenden Abgrenzungen lässt sich so der manuelle Aufwand der Referenzierung minimieren und gegebenenfalls automatisieren. Es wurden zwei Varianten herausgearbeitet, die Attributen- und die Modellstruktur-basierte Referenzierung.

Die sich ergebende Referenzierung wird persistent in die IFC-Datei geschrieben und kann damit ohne zusätzliche Schnittstelle genutzt werden. Problematisch ist allerdings die mangelhafte softwareseitige Unterstützung.

Durch diese Verknüpfung von IFC-Bauwerksinformationen und Plandokumenten wird ein schneller und problemloser Zugriff aller Projektbeteiligten auf Dokumente eines Bauvorhabens ermöglicht. Dies erleichtert die Suche nach relevanten Informationen erheblich. Ein weiterer positiver Aspekt ist die visuelle Umsetzung von Informationen, die sich durch die Referenzierung ableiten lassen, direkt am 3D-Modell.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>5</b>
2.1	Einleitung . . . . .	5
2.2	Dokumenten-Management-Systeme . . . . .	5
2.2.1	Einleitung . . . . .	5
2.2.2	Unterteilung von Dokumenten . . . . .	7
2.2.3	Indizierung . . . . .	8
2.3	Industry Foundation Classes (IFC) . . . . .	10
2.3.1	Einleitung . . . . .	10
2.3.2	Konzepte des IFC-Modells zur Referenzierung externer Dokumente	12
2.3.3	Übersicht über relevante Objektklassen des IFC-Modells . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Workflow-Analyse</b>	<b>18</b>
3.1	Beschreibung der Abläufe . . . . .	18
3.1.1	Allgemeine Vorgehensweise . . . . .	18
3.1.2	Mit Dokumenten-Management-System (DMS) . . . . .	18
3.1.3	Mit DMS und IFC . . . . .	19
3.1.4	IDEF0-Diagramme des Workflows . . . . .	19
3.1.5	Realisierung der Modifikation von einem IFC-Modell durch mehrere Personen . . . . .	22
3.2	Definition der System- und Informationsanforderungen . . . . .	23
3.2.1	Systemanforderungen . . . . .	23
3.2.2	Informationsforderungen . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Verknüpfungsmethodik</b>	<b>25</b>
4.1	Einleitung . . . . .	25
4.2	Positionsnummer . . . . .	26
4.3	Bauwerkstruktur/-zonen . . . . .	27
4.4	Plandokumente . . . . .	29
4.5	Bauteiltypen . . . . .	30
4.6	Nutzung . . . . .	31
4.7	Mischformen . . . . .	32
4.8	Bewertung der Kategorisierungstypen . . . . .	33
<b>5</b>	<b>Lösungsansatz</b>	<b>35</b>
5.1	Plandokumentenverwaltung . . . . .	35
5.1.1	Planindizierung . . . . .	35
5.1.2	Datenbankschemata . . . . .	35
5.2	Hinzufügen der Referenzierung in die IFC-Datei . . . . .	39
5.3	Varianten der Referenzierung . . . . .	39
5.3.1	Attributen-basierte Referenzierung . . . . .	39

5.3.2	Modellstruktur-basierte Referenzierung . . . . .	40
5.3.3	Heuristische Referenzierung . . . . .	40
5.4	Eigenschaften der Referenzierung . . . . .	41
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>42</b>
6.1	offene/weiterführende Aspekte . . . . .	43
6.2	kritische Diskussion der Lösung . . . . .	44
<b>7</b>	<b>Verzeichnisse</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>Glossar</b>	<b>47</b>

# 1 Aufgabenstellung

In der Planung von Bauwerken spielen Dokumente, als Arbeitsunterlagen und rechtsverbindliche Vertragsbestandteile eine zentrale Rolle. Dabei werden heutzutage sämtliche Dokumente, die während der Planung, Ausführung und Nutzung eines Gebäudes entstehen durch leistungsfähige Projektmanagementsysteme (PMS) verwaltet. Im Gegensatz zu den traditionellen Dokumenten spielen standardisierte Produktmodelle, wie bspw. die Industry Foundation Classes (IFC), bislang eine vergleichsweise untergeordnete Rolle in der täglichen Planungspraxis, obwohl ihr Nutzen hinsichtlich Datenaustausch, Kooperation der Planungsbeteiligten und Lebenszyklusmanagement von Gebäuden allgemein anerkannt ist. Ein Grund hierfür ist die mangelnde Unterstützung der Produktmodelle durch die Projektmanagementsysteme und die damit verbundene technologische Lücke zwischen Dokumenten und Produktmodellen.

Als ein Anwendungsfall für die Verknüpfung zwischen Dokumenten und produktmodellbasierten Projektinformationen befindet sich die Plannavigation im Fokus der Projektarbeit. Diese kann unter Verwendung der "hybriden" Projektinformationen, das heißt unter Kombination der beiden Informationsobjektarten, und ihrer grafischen Repräsentation wesentlich intuitiver und effizienter gestaltet werden.

Das Ziel der Projektarbeit ist daher die formale Konzeption und der Entwurf eines Softwaresystems, das eine referentielle Verknüpfung zwischen den Elementen eines IFC-Produktmodells und den zugehörigen Ausführungsplänen (z.B. Schal- u. Bewehrungspläne) herstellt, die in einer relationalen Datenbank (eines DMS) verwaltet werden. Diese Modell-Plan-Verknüpfungen sollen die Plannavigation innerhalb eines 3D-Gebäudemodells unterstützen. Es sollen dabei ausschließlich die Elemente eines Gebäudes betrachtet werden, die Teil des Rohbaus sind. Dementsprechend sind hier nur Planungsunterlagen (technische Zeichnungen) von Interesse, die im Rahmen der Ausführungsplanung von Tragwerkssystemen entstehen.

Technologisch weit fortgeschrittene und weit verbreitete Dokument-Management-Systeme (DMS) dienen als Vorlage bei der Verwaltung und Organisation der Plandokumente. Durch die Indizierung bei der Aufnahme der Dokumente ins System werden relevante Informationen gewonnen, die später bei der Verknüpfung mit dem Produktdatenmodell von Bedeutung sind.

Nachfolgend soll untersucht werden in wie fern eine Referenzierung überhaupt möglich ist. Welche Möglichkeiten sich durch die gegebenen Parameter ergeben und in wie fern Probleme die jeweilige Wahl einer Verknüpfung einschränken.

## 2 Stand der Technik

### 2.1 Einleitung

Die Literaturrecherche zu der Problemstellung der Arbeit ergab dass noch wenig zu dem Thema verfasst wurde. Dennoch wird in vielen Artikeln auf die Verknüpfung von IFC und Dokumenten hingewiesen und dies als sehr vorteilhaft und erforderlich bezeichnet.

Die Verwaltung und Organisation von Plandokumenten im Bauwesen wird meist durch ein Dokumenten-Management-System geregelt. Als ergänzendes Mittel werden oft firmenintern Excel-Tabellen eingesetzt, um zum Beispiel betriebsinterne Versionierungen zu unterstützen. In diesen Tabellen sind alle Pläne nach subjektiv gewählten Attributen geordnet bzw. aufgelistet. Hierbei spielt der Planschlüssel eine große Rolle. Dieser besteht aus verschiedenen und von jedem Unternehmen anders ausgewählten Komponenten. Die Suche und das Auffinden eines bestimmten Plandokuments erfordert je nach Größe des Projekts einen nicht unerheblichen Zeitaufwand, außerdem kann nicht ausgeschlossen werden, das es zu dem gesuchten Dokument mehrere Version existieren und der aktuelle Stand noch nicht im System eingetragen wurde und so mittels der Tabelle umständlich gesucht werden müsste.

Mit Hilfe eines Dokumenten-Management-Systems und der Verknüpfung einer IFC-Datei (Produktdatenmodell) mit den externen Dokumenten (Pläne) soll dies wesentlich zeitnaher geschehen.

Speziell im Bauwesen kommt es, insbesondere bei großen Projekten, zu temporären Partnerschaften von mehreren Firmen [1]. Diese bilden eine große virtuelle Organisation. Hierbei teilen sich die Partner ein Dokumenten-Management-System um zeit- und ortsunabhängig auf Dokumente zugreifen zu können. Eine direkte Verknüpfung mit dem Produktdatenmodell würde einen erheblichen Vorteil mit sich führen.

Im iCSS<sup>1</sup>-Projekt wurde der Gedanke einer Referenzierung zwischen diesen beiden Informationsformen bereits als entscheidendes Merkmal hervorgehoben: "Der wichtigste Unterschied zu gängigen Systemen ist die Integration in iCSS, die über die Bereitstellung der spezifizierten Schnittstellen erfolgt und somit auch in andere iCSS-Komponenten integriert werden konnte (Aufgabenservice und Workflowclient). Zusätzlich wird die Verknüpfung zwischen Dokument- und Produktdaten unterstützt, die Voraussetzung für die Freigabe von Produktdaten basierend auf der sachgerechten Prüfung der techn. Zeichnungen (Dokumente) und die Prüfung der Übereinstimmung von Produkt- und Dokumentendaten ist. Weiterhin kann diese Verknüpfung als leistungsfähige Navigationshilfe eingesetzt werden. Diese Verknüpfung stellt eine wesentliche Neuerung im Vergleich zu verfügbaren Systemen dar." [2]

### 2.2 Dokumenten-Management-Systeme

#### 2.2.1 Einleitung

Ein Dokumenten-Management-System (DMS) unterstützt die Verwaltung von elektronischen Dokumenten.

---

<sup>1</sup>Integriertes Client-Server-System für das virtuelle Bauteam

DMS werden vor allem in Unternehmen eingesetzt um bestehende Abläufe effizienter zu gestalten. Ohne den Prozess des Dokumenten-Managements könnte zum Beispiel während einem aktuellen Vorhaben nicht oder nur stark zeitverzögert auf Dokumente von gleichartigen, abgeschlossenen Projekten zugegriffen werden. Gerade moderne Informations- und Kommunikationstechnologien sind heute unverzichtbar, wenn es darum geht, Geschäftsprozesse durchgängig beim Erstellen, Digitalisieren, Indizieren, Suchen, Weiterleiten und Archivieren zu unterstützen. Das System hilft dabei die Arbeiten schneller, flexibler und kostengünstiger durchzuführen. Durch die Digitalisierung der Dokumente werden diese unternehmensweit verfügbar, Platz und somit Betriebskosten für die Archivierung werden gespart. Alle Mitarbeiter können unmittelbar auf die Information zugreifen, unabhängig von ihrem Standort. Gerade im Hinblick auf die spätere Wiederverwendung, etwa bei ähnlichen/vergleichbaren Arbeiten oder juristischen Problemen, ist ein problemloser Zugriff auf frühere Projekte wichtig.

In einem Unternehmen werden durch Arbeitsteilung die geschäftlichen Abläufe beschleunigt. Durch den Einsatz von papiergestützter Kommunikation kommt es aber zu hohen Durchlaufzeiten von Dokumenten, da diese nur von einem Mitarbeiter gleichzeitig genutzt werden können. Ein von mehreren Personen zeitgleich benötigtes Dokument müsste unter Umständen aufwändig durch Dokumentkopien dupliziert werden.

Das Informationsvolumen nimmt in heutigen Unternehmen erheblich zu, ohne ein Dokumenten-Management-System wäre die schiere Menge an Informationen nicht mehr zu bewältigen. Mitarbeiter müssten sich durch den "Papierdschungel kämpfen", Informationen die einmal erarbeitet wurden, wären nur sehr schwer wieder auffindbar.

Der komplette Lebenszyklus eines Dokuments, von der Erstellung (bzw. Eingang im System) bis zur Vernichtung, kann mit Hilfe des Managementsystems nachverfolgt bzw. protokolliert werden. So lässt sich jede Bearbeitung an der jeweiligen Datei zurückverfolgen und es kann bestimmt werden Wer, Was und Wann bearbeitet hat. Um die Konsistenz zu wahren, werden die gerade durch einen Nutzer bearbeitenden Daten gesperrt und erst nach dem Beenden der Veränderung freigegeben.

Bei einer Kooperation mit einem oder mehreren anderen Unternehmen lassen sich per temporären Zugang oder Beschränkung auf einen Bereich des Systems schnell relevante Informationen bereitstellen, die Geschäftspartner verschmelzen de facto zu einem Informationsverbund. So lassen sich z.B. auch externe Spezialisten hinzuziehen, ohne auf räumliche und zeitliche Parameter Rücksicht zu nehmen.

Die Architektur eines DMS besteht auf Serverseite aus einer Datenbank und einem Dokumentenspeicher. Der Server regelt auch die Benutzer- und Rechteverwaltung, die Vorgangssteuerung und die Indizierung der zu bearbeitenden Dokumente. Hinzu kommen die einzelnen Clients die Dokumente abrufen oder ins System neu einstellen können.

Die Effektivität des Systems wird maßgeblich von der Leistungsfähigkeit der betrieblichen Infrastruktur für Information und Kommunikation beeinflusst. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung umfasst dies neben der hard- und softwaretechnischen auch die organisatorischen und personellen Aspekte [3].

Nachteilig wirkt sich bei DMS das Locking aus. Es kann nur die komplette Datei bzw. das Dokument gesperrt werden und das Protokollieren der Veränderung bezieht sich auch nur auf die Datei selbst.

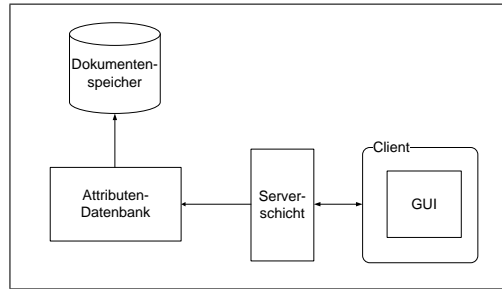


Abbildung 1: abstrahierter Aufbau eines DMS

### Eigenschaften der DMS:

- Archivierung
- datenbankgestützte Indizierung
- Locking (Sperren einer Ressource)
- Versionierung

DMS können außerdem in Projekt-Management-Systeme eingebunden werden und somit Teil einer kompletten Softwarelösung bei Bauvorhaben mit hoher Projektkomplexität sein.

Eine Spezialform der DMS sind die Plan-Management-Systeme, hierbei werden Pläne als spezielle Form der Dokumente organisiert. Diese Methode ist gerade im Bauwesen von großer Bedeutung.

### **2.2.2 Unterteilung von Dokumenten**

Ein Dokument ist eine Container zur Speicherung von Informationen. Es umfasst eine Einheit von Texten, Tabellen und Bildern, die zusammen gehören und einheitlich gespeichert sind. Es liegt entweder in digitaler oder in physischer Form vor [4].

Elektronische/digitale Dokumente lassen sich in zwei Kategorien unterteilen, in "Non-Coded-Information" (NCI) und in "Coded-Information"-Dokumente (CI) [5]. Wobei NCI-Dokumente digitalisierter Abbilder (Scans) entsprechen und nur durch den Menschen interpretiert werden können. Mit Hilfe von "Optical-Character-Recognition"-Mechanismen (OCR) können NCI in CI-Dokumente umgewandelt werden. Dabei werden Textstellen von der Software erkannt und in, vom Computer verwertbare, Information transformiert. Ein nicht transformiertes CI-Dokument wurde digital erstellt und besteht in der Regel aus mehreren Objekten (z.B. Buchstaben). Der Vorteil ist ein meist erheblicher geringerer Speicherbedarf, negativ ist die große Anzahl an verschiedenen Dateiformaten hervorzuheben.

Durch die Digitalisierung können auch ältere bzw. analog erstellte Dokumente mit in den Prozess einbezogen werden. So lassen sich auch Ergebnisse von abgeschlossenen Projekten berücksichtigen, die sonst aufwendig neu oder händisch erarbeitet werden müssten.



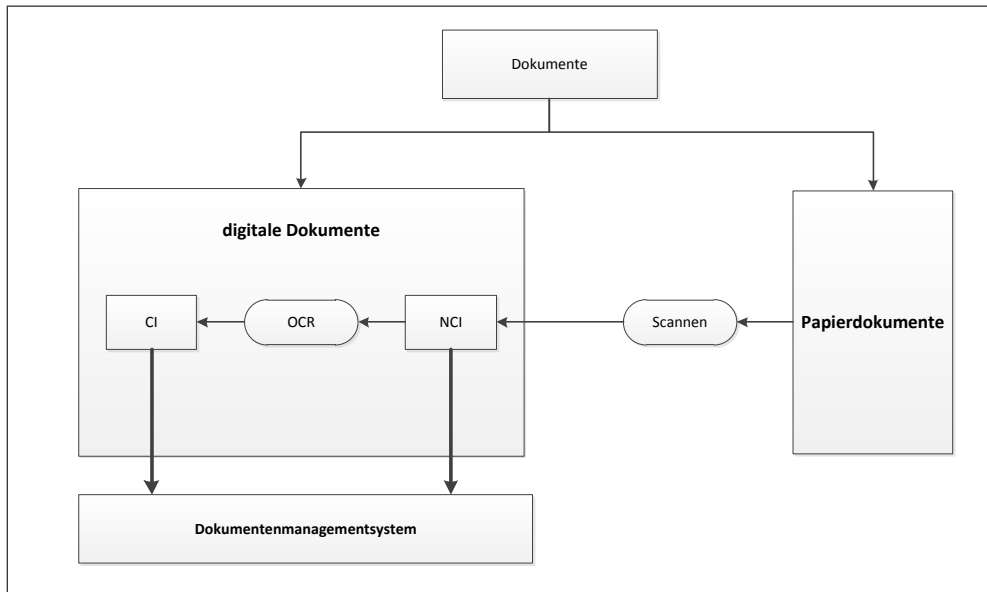


Abbildung 2: Allgemeine Unterteilung von Dokumentenarten nach Kränzle [5]

### 2.2.3 Indizierung

Im Bauwesen wird im klassischen Anwendungsfall die Suche eines Dokuments mit Hilfe des Planschlüssels realisiert. Hierbei besteht dieser, je nach Unternehmen oder auch Projekt, aus verschiedenen Komponenten, wie Berufsbezeichnung des Verfassers, Bauphase, Bauteil und anderen gewählten Kategorieblöcken. Nach diesen Blöcken lässt sich eine Ordnerstruktur erstellen, in denen die Dokumente abgelegt werden.

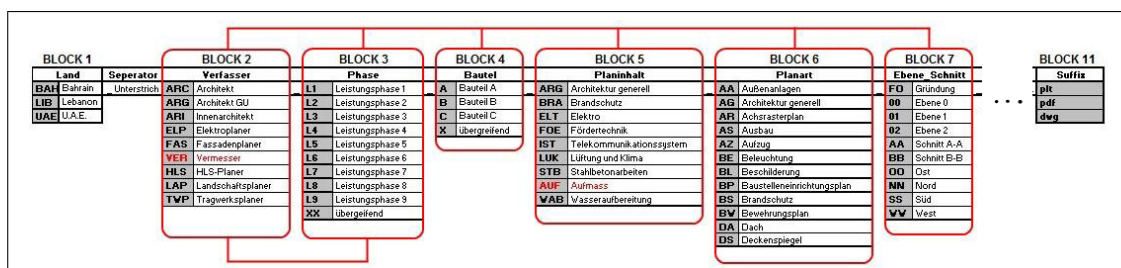


Abbildung 3: Beispiel für den Aufbau eines Planschlüssels [6]

Die Planschlüssel aller Dokumente sind im DMS gespeichert und meist zusätzlich in Excel-Tabellen eingetragen. Da diese Listen aber schon bei kleineren Projekten einen erheblichen Umfang besitzen, ist eine Suche nach einem bestimmten Plandokument mit dieser Funktion ein nicht unerhebliches Zeitproblem, was sich letztendlich auch in den Personalkosten niederschlägt. Die Auflösung des Planschlüssels in seine Komponenten begünstigt trotzdem eine bessere Identifikation des jeweiligen Dokuments. Da in diesem Schlüssel schon entscheidende Informationen für die Erkennung der Pläne übermittelt

werden. Obgleich diese Faktoren die Suche vereinfachen, bleibt der Aufwand doch erheblich.

Zur Lösung dieses Problems wird in einem Dokumenten-Management-System eine Indizierung der Dokumente vorgenommen. Somit wird die Suche nach einer relevanten Datei wesentlich beschleunigt und vom Nutzer einfacher durchführbar.

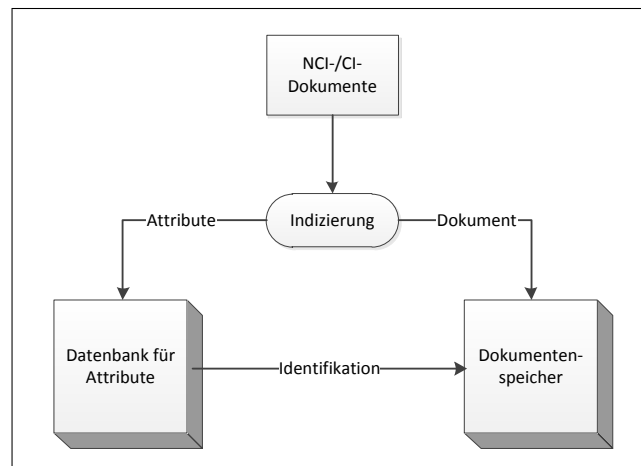


Abbildung 4: Indizierung von Dokumenten

In einem Dokumenten-Management-System werden bei der Aufnahme eines Dokuments in das System spezielle Attribute erfasst (z.B. Titel, Datum, ...). Bei diesem Vorgehen wird zwischen einer kontrollierten und einer freien Indizierung unterschieden. Die kontrollierte Indizierung arbeitet mit vorgegebenen Deskriptoren, während bei der freien Variante beliebige Schlagwörter verwendet werden, dies führt allerdings unter Umständen zu einem ungenauen Ergebnis. Außerdem lässt sich noch zwischen einer automatischen und einer manuellen Indizierung unterscheiden. Die manuelle Vorgehensweise kann zu Diskrepanzen führen, da ein Dokument, indiziert von verschiedenen Personen, im Dokumenten-Management-System als mehrere unterschiedliche Objekte aufgeführt werden könnte. Automatisch ausgeführte Indizierungen haben den Vorteil der schnelleren Geschwindigkeit und einer geringeren Fehleranfälligkeit.

Diese Indexwerte werden in einer Datenbank hinterlegt und stellen die Verknüpfung mit dem entsprechenden Dokument her. Hierbei gibt der Nutzer entsprechende Attribute in die Suchmaske ein und erhält als Antwort vom System das relevante Dokument zurück. Bei ausreichend gut gewählten Indexwerten kann das Dokument eindeutig identifiziert werden. Das vom System erstellte Dokumentenprofil ergibt sich aus der Summe der Attribute. Dieses abstrahierte Abbild kann für jeden Datentyp und je nach Inhalt und dem Verwendungszweck angepasst werden.

Einfache Belege (wie etwa Schriftstücke) können zum Beispiel mit wenigen Werten indiziert werden im Gegensatz zu Plandokumenten, welche mit wesentlich mehr Indizes versehen werden sollten. Der Grund hierbei liegt bei den benötigten Informationen zur Indizierung und ihrer späteren Nutzung im System. Bei Plandokumenten ist es von be-

sonderer Bedeutung alle verzeichneten Bauteile und Bauwerksabschnitte schon bei der Indizierung zu erfassen. Bei Textdokumenten hingegen reichen weniger Attribute aus um eine effiziente spätere Verwendung sicherzustellen.

Die eigentlichen Informationen (die Dokumente) werden im Dokumentenspeicher hinterlegt und vom System automatisch verwaltet. Dies gewährleistet eine konsistente Speicherung.

Zusammengefasst erreichen diese Mechanismen die Vorteile einer eindeutigen Identifizierung des gesuchten Dokumentes und eine erhebliche Zeitersparnis bei dieser Arbeit.

## 2.3 Industry Foundation Classes (IFC)

### 2.3.1 Einleitung

Industry Foundation Classes ist ein objekt-orientiertes Datenmodell für das Bauwesen und wurde von der International Organization for Standardization unter ISO 16739 registriert. Es schließt alle üblichen Elemente die in einem Bauwerk auftreten können ein, sowohl physische als auch abstrakte (z.B. Dienstleistungen).

In diesem Produktdatenmodell werden einzelne Bauteile als Objekte definiert, d.h. IFC ist ein objektorientierter Standard. Die IFC Spezifikation wird mittels der Modellierungssprache EXPRESS (ISO 10303-11) beschrieben, der Austausch erfolgt über .ifc-Dateien, die dem STEP physical file format (ISO 10303-21) entsprechen. STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data) ist formal in der ISO-Norm 10303 definiert und ermöglicht dadurch einen reibungslosen Austausch von Produktdaten zwischen verschiedenen Systemen. EXPRESS ist die Datendefinitionssprache des Normen-Paketes STEP. Sie ist formell, objektorientiert und beruht auf der Entity-Relationship-Theorie. Neben der ursprünglichen Textnotation gibt es auch die grafische Notation EXPRESS-G, die in ihrer Mächtigkeit jedoch nur eine Untermenge des eigentlichen Standards bildet.

Durch die Erstellung eines Bauwerk-Modells in einem CAD-Programm und anschließendem Export als IFC-Datei wird ein hohes Maß an Standardisierung gewahrt. Das IFC-Modell ist als ein offener Standard konzipiert, mit dem Ziel, eine durchgängige Datenkommunikation verwirklichen zu können[7]. Damit wird z.B. die Wahl der Software zur Verarbeitung dieser IFC-Datei vereinfacht, da das Modell nicht auf ein Produkt oder einen Hersteller beschränkt ist. Den Projektmitgliedern ist somit freigestellt, welche Software sie zur Bearbeitung der Datei verwenden, solange diese den IFC Standard unterstützen. Alternativ kann das Bauwerk auch in .xml-Dokumenten gespeichert werden. Dazu wurde die IFC Spezifikation von *buildingSMART International* als XML Schema Dokument (.xsd) veröffentlicht [8].

Um einen korrekten Import/Export zu gewährleisten, muss die jeweilige Software die Exchange-Anforderungen der Entwickler erfüllen. Ergänzend dazu wurde von *buildingSMART* ein Zertifizierungsverfahren eingeführt. Im Internet veröffentlicht die Organisation eine Tabelle, die die zertifizierte Software auflistet [9].

Ein 3D-Modell ist aber nicht unbedingt erforderlich, es kann auch für den frühen Austausch zwischen dem Kunden (Bauherrn) und dem Projektverwalter genutzt werden, um beispielsweise 2D-Pläne in einem frühen Entwicklungsstatus abzugleichen und

Ideen kommunizieren zu können. Später kann dann aufgrund dieser Informationen das Gebäudemodell entwickelt werden. Es lassen sich auch Informationen zu Rohrleitungen, Elektroinstallation, Brandschutz, Nutzung, Energieverbrauch oder CO2-Emissionen in einer einzigen IFC-Datei beschreiben. Der ganze Lebenszyklus eines Gebäudes kann so IT-gestützt verwaltet werden.

In einer IFC-Datei werden modellnah *Bauobjekte* gespeichert, im Unterschied zu anderen Formaten die nur Geometrieelemente enthalten. Die Lage des Objekts im Bauwerk oder in einer Ebene wird mit Hilfe von Beziehungen dargestellt. So lassen sich zum Beispiel Zuordnungen von Räumen zu Etagen einfach herstellen. Durch das objektorientierte System im IFC-Modell können oft verwendete Bauteile (z.B. Stützen) mit kleineren Änderungen mehrfach instanziiert werden ohne die Werte für Geometrie oder Material mehrmals beschreiben zu müssen. Dies führt zu einer erheblichen Abnahme von redundanten Informationen im Modell wie sie bei reinen CAD-Dateien vermehrt auftreten.

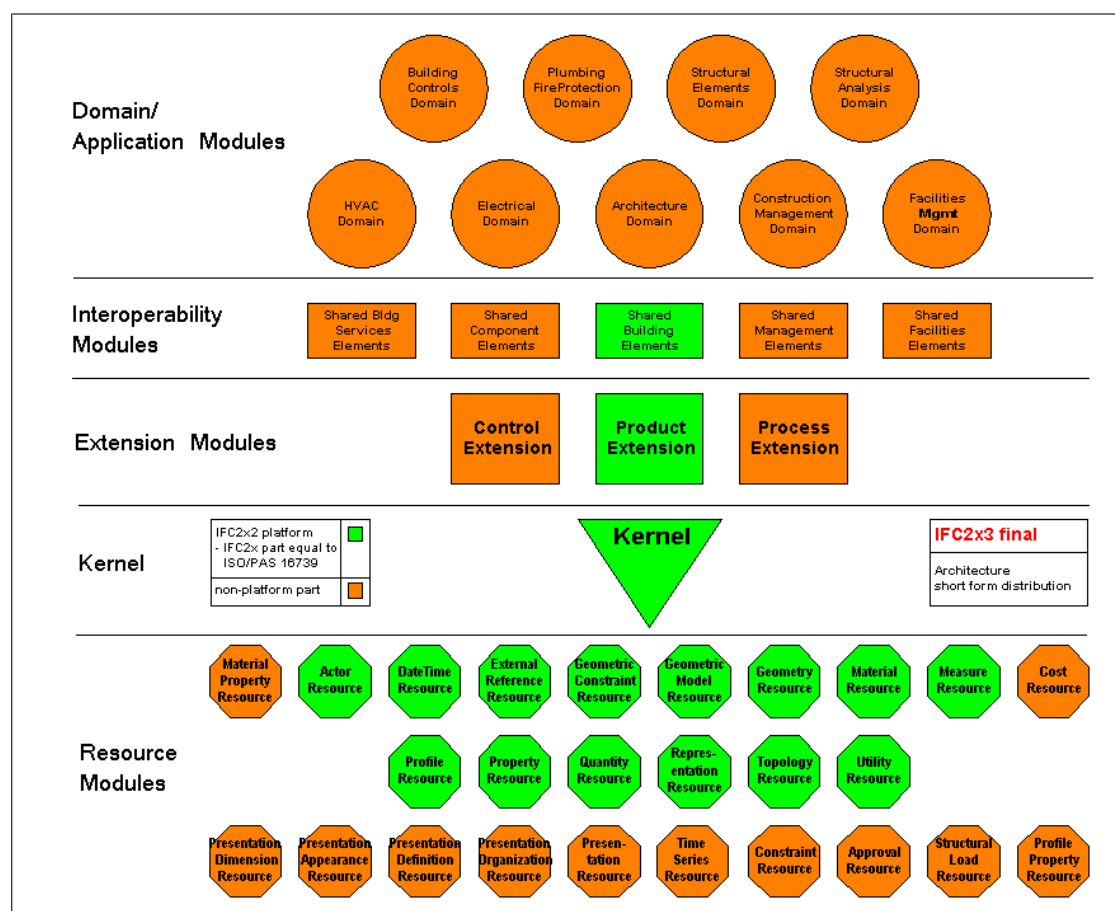


Abbildung 5: Grundlegender Aufbau der IFC [10]

Die IFC-Datei besteht aus zwei Hauptteilen, einem 'Header' und einem 'Body'. Während im Header Metainformationen wie der Ersteller, verwendete Software und ähnliches

aufgeführt wird, sind im Body die eigentlichen Informationen zu den Objekten und dem Aufbau des Bauwerks gespeichert.

Die grundlegende Struktur der Industry Foundation Classes ist in Abbildung 5 ersichtlich. Die grün-eingefärbten Symbole sind Teil der IFC 2x-Plattform, die Teil des ISO-Standards sind. Hingegen sind die orange-eingefärbten Symbole nicht plattformzugehörig und können dementsprechend ohne Verstoß gegen den Standard modifiziert werden.

Der IFC Aufbau ist modularisiert und unterteilt sich in mehrere Schichten. Die unterste Ebene, die *Resource Modules*, definiert elementare Dinge wie Eigenschaften oder Einheiten (z.B. Zeit, Geometrie, Material usw.). Der *Core Layer* ist in sich zweigeteilt, er besteht zu einem aus dem *Kernel* und zum anderem aus den *Extension Modules*. Der *Kernel* ist der abstrakteste Teil in der IFC Architektur. Er erfasst generelle Konstrukte und modelliert nicht AEC<sup>2</sup>-abhängige Konzepte. Diese werden von den *Core Extensions* erweitert zu AEC-Typischen Klassen. Wie der Name schon suggeriert, sind dies Erweiterungen oder Spezialisierungen von Konzepten, welche im Kernel definiert sind, wobei jede *Core Extensions* eine Spezialisierung einer Klasse ist.

Das Hauptziel bei der Gestaltung der nächsthöheren Ebene *Interoperability Layer* ist die Bereitstellung von Modulen die Konzepte oder Objekte definieren die bei mehr als einer *Domain/Application Modules* von Interesse sind. Adapter für Anwendungen mit nicht konformen Modellen setzen auf dieser Schicht auf. In der abschließenden *Domain/Application Layer* werden die für eine bestimmte Domäne (z.B. Architektur, Facility Management) typischen Klassen modelliert.

Schlussfolgernd ist eine Vererbung der Objekteigenschaften und damit eine Spezialisierung nur in die diagrammobere Richtung möglich.

### 2.3.2 Konzepte des IFC-Modells zur Referenzierung externer Dokumente

Im IFC-Datenmodell ist ein Konzept zur Referenzierung von externen Dokumenten durch die Entwickler vorgegeben. Die Dokumentreferenz kann dabei zum besseren Verständnis zusätzlich durch Metadaten näher beschrieben werden.

Metadaten sind beschreibende Zusatzinformationen, die nicht direkt dem Zweck der Planung dienen. Insbesondere zu organisatorischen Zwecken ist es jedoch oft sinnvoll, solche Daten mitzuverwalten. Informationen über die Versionshistorie von Objekten werden beispielsweise als Metadaten angesehen [11].

Durch den Selektionstyp *IfcDocumentSelect* wird ausgewählt, ob eine Referenzierung, durch Angabe eines Speicherorts, auf ein Dokument verweist (*IfcDocumentReference*) und ob dieses Dokument optional durch Metadaten beschrieben wird. Mit Hilfe der Objektklasse *IfcRelAssociatesDocument* wird die Dokumentreferenz einem oder mehreren Objekten zugeordnet. Diese Objekte sind Untertypen der Klasse *IfcObject*.

Die Metadaten sind in der IFC-Objektklasse *IfcDocumentInformation* definiert. Hier lässt sich zum Beispiel eine eindeutige ID vergeben, Daten zum Titel, Namen der Bearbeiter oder welches Dateiformat verwendet wird, abspeichern. Mit Hilfe dieser Informationen kann das zu referenzierende Dokument eindeutig beschrieben werden.

---

<sup>2</sup>Architectural, Engineering, Construction

Die Relationen-Klasse *IfcDocumentInformationRelationship* ermöglicht es Dokumente mit anderen Dokumenten in Beziehung zu setzen. So lassen sich zum Beispiel einem Plandokument näherbeschreibende Dateipläne zuordnen.

Eine nähere Beschreibung der relevanten Objektklassen des IFC-Produktdatenmodells findet sich im nächsten Abschnitt.



Abbildung 6: Ausschnitt aus dem IFC 2x3 Schema [10]

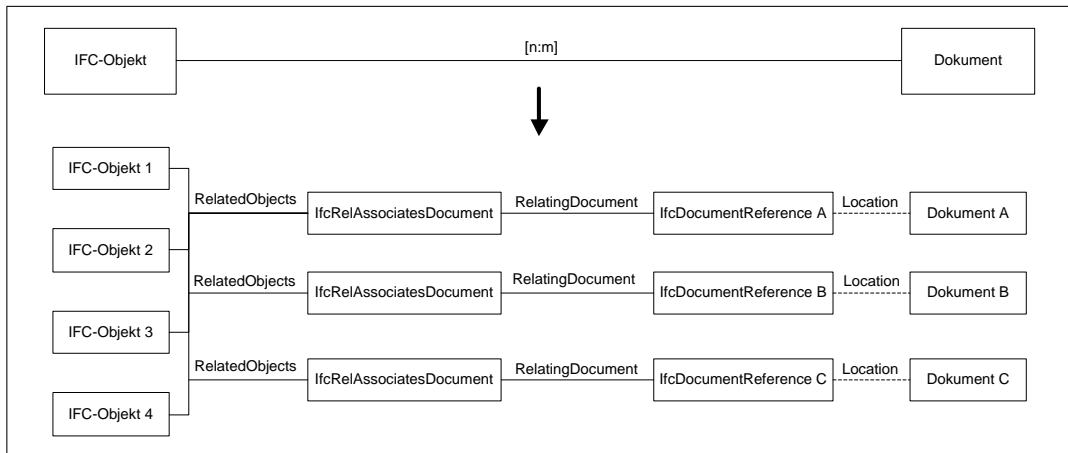


Abbildung 7: Umsetzung der [n:m] Relation zwischen Objekten des Produktdatenmodells und der relevanten Dokumente im IFC-Modell

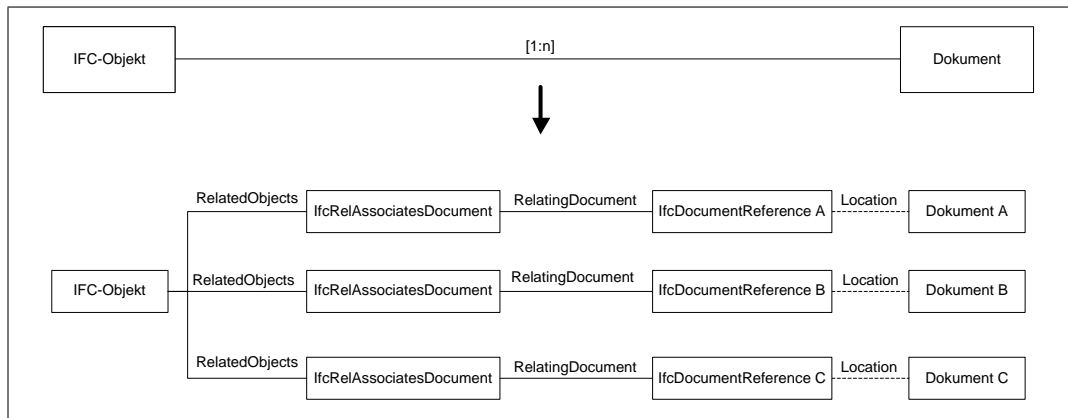


Abbildung 8: Umsetzung der [1:n] Relation zwischen Objekten des Produktdatenmodells und der relevanten Dokumente im IFC-Modell

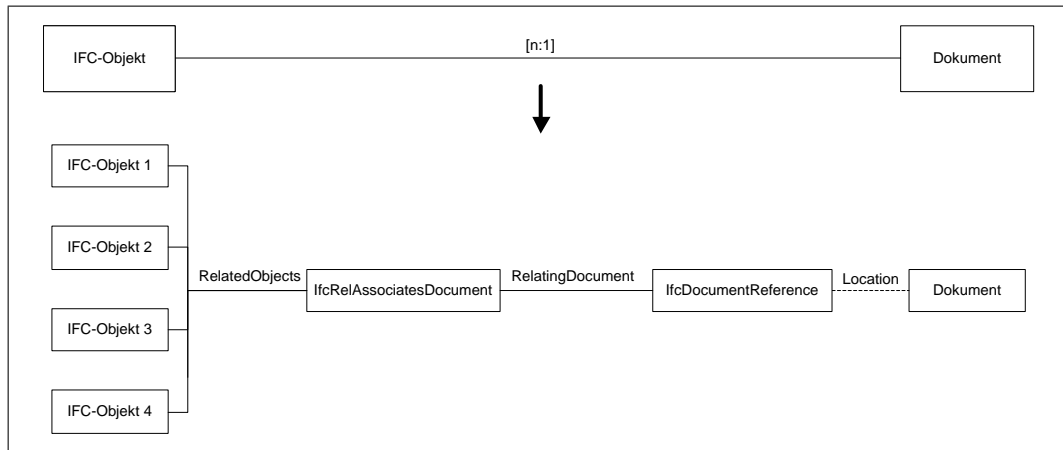


Abbildung 9: Umsetzung der [n:1] Relation zwischen Objekten des Produktdatenmodells und der relevanten Dokumente im IFC-Modell

### 2.3.3 Übersicht über relevante Objektklassen des IFC-Modells

Eine kurze Einführung und Erläuterung von relevanten Objektklassen die im IFC, im Bezug auf die Referenzierung von externen Dokumenten, von Bedeutung sind.

#### Objektklasse: *IfcRoot*

Die Objektklasse *IfcRoot* ist die am abstrakteste Klasse und damit Wurzelklasse für alle IFC Klassendefinitionen die in den Kernel oder in den nachfolgenden Schichten des IFC-Objektmodells verlinken. Sie ist daher der gemeinsame Supertyp für alle IFC Klassen. Alle Objektklassen, die Subtypen von *IfcRoot* sind, können unabhängig voneinander genutzt werden, im Gegensatz zu Klassen aus der Ressourcen-Schicht, die nicht Subtypen der Wurzelklasse sind.

Express Notation von *IfcRoot*:

```

ENTITY Root;
  ABSTRACT SUPERTYPE OF (ONEOF(IfcPropertyDefinition, IfcRelationship,
                                IfcObjectDefinition));
  GlobalId          : IfcGloballyUniqueId;
  OwnerHistory      : IfcOwnerHistory;
  Name              : OPTIONAL IfcLabel;
  Description       : OPTIONAL IfcText;
  UNIQUE
  UR1               : GlobalId;
END_ENTITY;

```



### Objektklasse: **IfcDocumentReference**

Die Objektklasse *IfcDocumentReference* ist ein Verweis auf den Speicherort eines Dokuments. Der Verweis ist gegeben durch ein systeminterpretierbares Speicherortattribut (z.B. eine URL) oder durch einen vom Menschen lesbaren Speicherort und eine optional von *IfcDocumentInformation* geerbte interne Referenz *ItemReference*, welche auf eine vom System interpretierbare Position im Dokument verweist. Das optional geerbte *Name*-Attribut sollte durch den Menschen lesbar sein. Dokument-Metadaten können wahlweise durch Bezugnahme auf die Objektklasse *IfcDocumentInformation* erfasst werden.

Express Notation von IfcDocumentReference:

```
ENTITY IfcDocumentReference
    SUBTYPE OF ( IfcExternalReference);
    INVERSE
        ReferenceToDocument : SET [0:1] OF IfcDocumentInformation
            FOR DocumentReferences;
    WHERE
        WR1 : EXISTS(Name) XOR EXISTS(ReferenceToDocument[1]);
END_ENTITY;
```

### Objektklasse: **IfcRelAssociatesDocument**

Diese objektivierte Beziehung übernimmt die Zuordnung von Dokumentinformationen (über den Selektionstyp *IfcDocumentSelect*) zu Objektklassen (Untertypen von *IfcObject*). Die Beziehung wird verwendet, um einen Dokumentenverweis oder detailliertere Dokumentinformationen Objekten zuzuordnen. Eine einzige Dokumentenreferenz kann auf mehrere Objekte angewandt werden.

Express Notation von IfcRelAssociatesDocument:

```
ENTITY IfcRelAssociatesDocument
    SUBTYPE OF ( IfcRelAssociates);
    RelatingDocument : IfcDocumentSelect;
END_ENTITY;
```

### Objektklasse: **IfcDocumentInformation**

Die Objektklasse *IfcDocumentInformation* erfasst Metadaten von externen Dokumenten. Der tatsächliche Inhalt des Dokuments wird aber nicht in IFC gespeichert, sondern kann durch die Referenzierung mit Hilfe der Metadaten gefunden werden.

## Express Notation von IfcDocumentInformation:

```
ENTITY IfcDocumentInformation;
    DocumentId          : IfcIdentifier;
    Name                 : IfcLabel;
    Description          : OPTIONAL IfcText;
    DocumentReferences  : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcDocumentReference;
    Purpose              : OPTIONAL IfcText;
    IntendedUse         : OPTIONAL IfcText;
    Scope                : OPTIONAL IfcText;
    Revision             : OPTIONAL IfcLabel;
    DocumentOwner       : OPTIONAL IfcActorSelect;
    Editors              : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcActorSelect;
    CreationTime         : OPTIONAL IfcDateAndTime;
    LastRevisionTime    : OPTIONAL IfcDateAndTime;
    ElectronicFormat     : OPTIONAL IfcDocumentElectronicFormat;
    ValidFrom           : OPTIONAL IfcCalendarDate;
    ValidUntil          : OPTIONAL IfcCalendarDate;
    Confidentiality     : OPTIONAL IfcDocumentConfidentialityEnum;
    Status               : OPTIONAL IfcDocumentStatusEnum;
INVERSE
    IsPointedTo         : SET OF IfcDocumentInformationRelationship
                        FOR RelatedDocuments;
    IsPointer           : SET [0:1] OF IfcDocumentInformationRelationship
                        FOR RelatingDocument;
END_ENTITY;
```

## Beedeutungen der Attribute:

DocumentId	: eindeutige ID
Name	: Name
Description	: Beschreibung
Purpose	: Zweck
IntendedUse	: Verwendungszweck
Scope	: Anwendungsbereich
Revision	: Revision/Überprüfung
DocumentOwner	: Besitzer/Rechte für Zugriff und Bearbeitung
Editors	: Bearbeiter
CreationTime	: Erstellt am
LastRevisionTime	: Zuletzt Bearbeitet am
ElectronicFormat	: Dateiformat (Erweiterung, z.B. pdf)
ValidFrom	: gültig von
ValidUntil	: gültig bis
Confidentiality	: Vertraulich (Grad)
Status	: Status (z.B. Entwurf, Final, Überprüft)

## 3 Workflow-Analyse

### 3.1 Beschreibung der Abläufe

Die hier gegebenen Abläufe wurden stark abstrahiert und an die gestellten Aufgaben angepasst. Parameter wie Behörden oder auch rechtliche Randbedingungen wurden nicht berücksichtigt, was sonst zu einer erheblichen Komplexität geführt hätte.

#### 3.1.1 Allgemeine Vorgehensweise

Der Architekt nimmt aufgrund der Vorstellungen und Wünsche des Bauherrn eine Grundlagenermittlung vor. Dabei werden Parameter wie Baustoffe, Aussehen, Funktionalität, Bauart und vieles mehr festgelegt. Unter Beachtung der bautechnischen Randbedingungen und den bauphysikalischen Anforderungen entsteht der Entwurf. Ein Modell des Gebäudes wird mit Hilfe eines CAD-Programmes digitalisiert. Dies garantiert eine spätere problemlose Bearbeitung bei eventuellen geometrischen Veränderungen am Bauwerk.

Die resultierenden Architektenpläne werden an den Tragwerksplaner weitergeleitet. Dieser filtert für sich relevante Informationen (Geometrie, Material) heraus und entwirft aufgrund dieser Daten den Tragwerksentwurf. Er bestimmt statische Positionsnummern und erstellt die Positionspläne. Über die zur erwartenden Einwirkungen trifft der Tragwerksplaner Lastannahmen die in die statische Berechnung einfließen. Bei Widersprüchen oder falschen Annahmen müssen die Parameter der Berechnung neu gewählt werden. So lange bis die Nachweise für Standsicherheit und die Gebrauchsfähigkeit erfüllt sind.

Der Architekt, die Bauingenieure und andere Fachingenieure (z.B. für Heizung, Lüftung oder Elektronik) erstellen die Ausführungspläne. Ziel ist es einen Plansatz zu erstellen der von den Behörden zum Bau freigegeben wird.

#### 3.1.2 Mit Dokumenten-Management-System (DMS)

Die Variante mit einem DMS ermöglicht eine Erfassung aller Plandokumente in einem System die während der Planungsphase eines Bauprojekts erstellt werden.

Dies geschieht in erster Linie mit Hilfe der Indizierung. Dabei werden die Pläne nach bestimmten, vorher festgelegten, Attributen durchsucht. Diese Schlagwörter werden dann in einer Datenbank aufgenommen und dienen nun zur Identifikation der Dokumente. Die Indizierung sollte in erster Linie automatisch erfolgen, wenn dies nicht möglich ist, muss eine Reduzierung des manuellen Aufwandes erreicht werden. Zum Beispiel durch eine Vorabauswahl des Plandokumenttyps und damit eine einhergehende Vorauswahl der zu indizierenden Werte. Im Dokumentenspeicher werden die Pläne an sich gespeichert.

Der Vorteil bei dieser Variante ist, wie schon im Abschnitt DMS (siehe Kapitel 2.2) erwähnt, die computerunterstützte Verwaltung und Auffindbarkeit von Plandokumenten. Damit werden diese Abläufe deutlich vereinfacht und beschleunigt.

Nachteilig könnte sich die Indizierung der Dokumente auswirken, da sie sich unter Umständen als fehleranfällig darstellt.

### 3.1.3 Mit DMS und IFC

Hierbei muss beachtet werden dass für ein Bauwerk nur eine Datei, eine .ifc-Datei, erstellt wird. In dieser wird durch den Architekt das 3D-Modell und die anderen Parameter des zu bauenden Bauwerks eingegeben. Dies geschieht am einfachsten über ein CAD-Programm mit IFC-Export-Schnittstelle. Nun befinden sich alle relevanten Informationen in einer Datei. Diese wird im nächsten Schritt an den Tragwerksplaner weitergeleitet. Durch entsprechende Filter werden dem Statiker nur die notwendigen Werte für seine Berechnung ausgegeben.

Nach Erstellung einer prüffähigen statischen Berechnung werden die Ausführungspläne erstellt und im DMS abgelegt.

Bei einer gewünschten Änderung durch den Architekten oder einer notwendigen durch den Tragwerksplaner kann die IFC-Datei von beiden bearbeitet werden. Eine Modifizierung die die Statik betrifft, impliziert natürlich eine erneute statische Berechnung. Die wiederum aktualisierte Plandokumente zur Folge hat, die im DMS aufgenommen werden. Alte Versionen werden automatisch vom System archiviert.

Die Reduzierung auf eine Datei ist problematisch im Hinblick auf die Bearbeitung von unterschiedlichen Personen. Um dies zu realisieren existieren mehrere Möglichkeiten, die im Kapitel 3.1.5 näher beschrieben werden. Die einfachste und am problemlosesten ist sicherlich das Locking.

### 3.1.4 IDEF0-Diagramme des Workflows

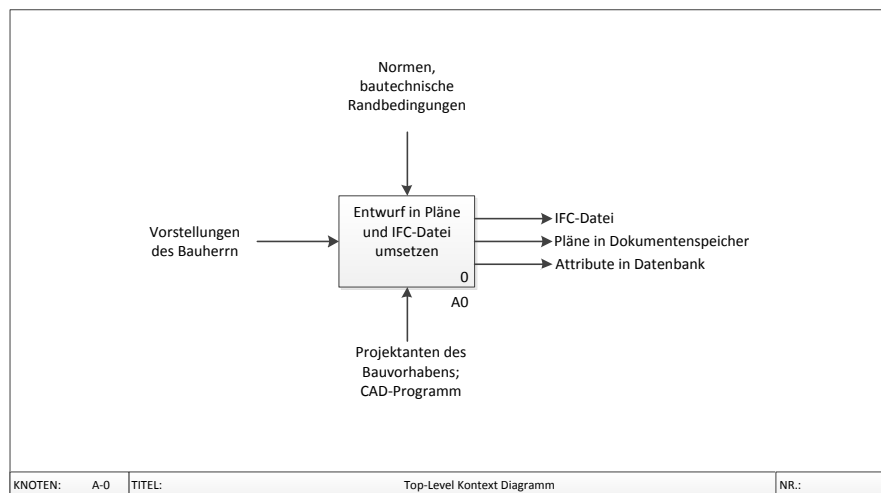


Abbildung 10: Top-Level Kontext Diagramm Workflow

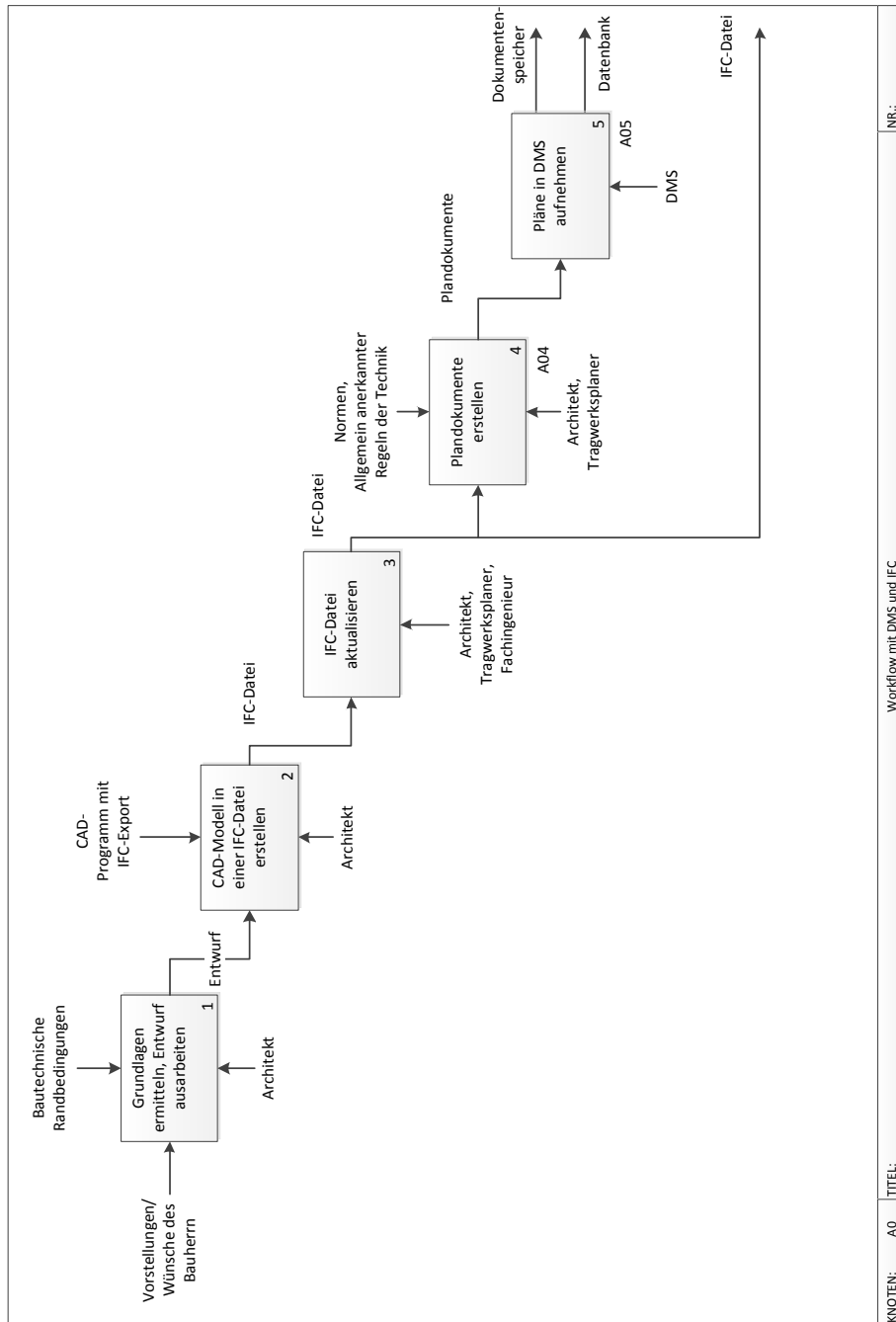


Abbildung 11: Workflow mit IFC und DMS

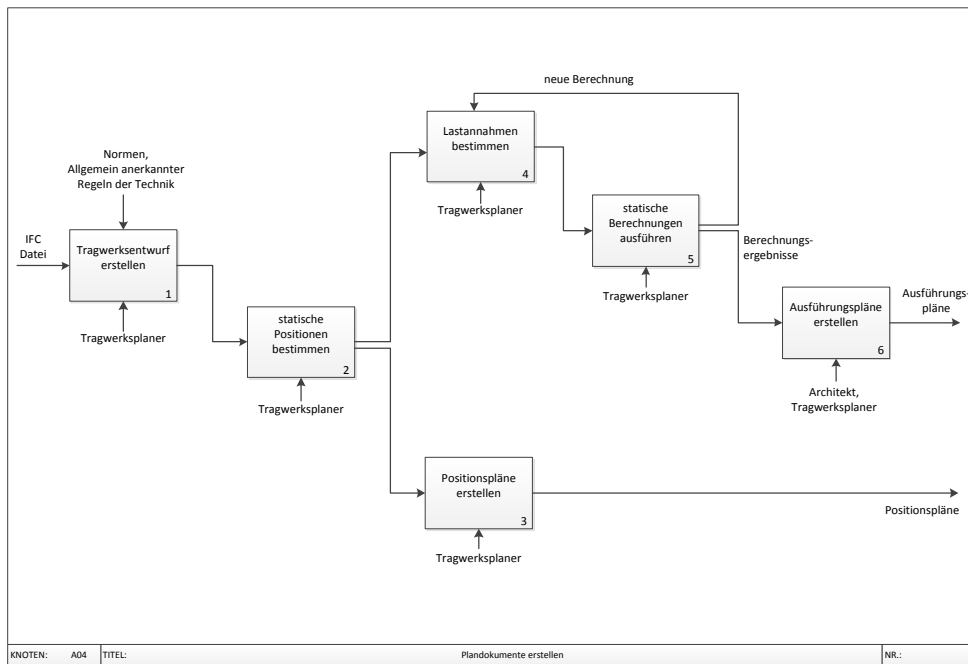


Abbildung 12: Subsystem des Workflows - Plandokumente erstellen

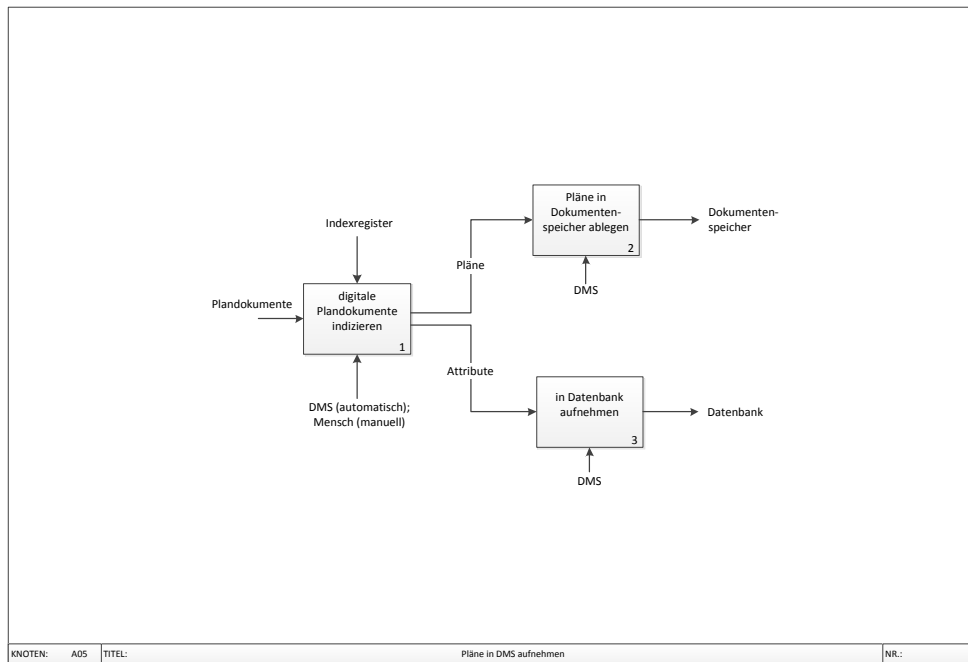


Abbildung 13: Subsystem des Workflows - DMS

### 3.1.5 Realisierung der Modifikation von einem IFC-Modell durch mehrere Personen

Es gibt mehrere Optionen wie das Bauwerk in einer IFC-Datei von verschiedenen, am Projekt beteiligten Personen, bearbeitet werden kann.

Als erste und einfachste Lösung kann man die IFC-Datei auf einem Server oder einem anderen von allen Parteien zugreifbaren Ort speichern. Wenn nun ein Projektmitglied Änderungen am Bauwerk durchführen will, lädt er sie runter und beginnt seine Arbeit. Beim Beenden der Modifikation wird die Datei hochgeladen und steht wieder zur Verfügung. Während dieser Zeit findet vom System ein automatisches Locking statt, d.h. die IFC-Datei wird für andere Nutzer gesperrt und erst nach der Aktualisierung auf dem Server wieder freigegeben. Der gravierendste Nachteil ist hier sicherlich dass andere Nutzer während der Bearbeitung theoretisch nicht am Projekt arbeiten können und somit hohe Wartezeiten in Kauf nehmen müssen. Eine gewisse Optimierung könnte erfolgen wenn von Serverseite eine Reihenfolge der abzuarbeitenden Änderungen durch Personen gegeben ist und somit Wartezeiten zumindest eingeschränkt werden könnten.

Als zweite Option der IFC-Modifikation wäre eine serverseitige Protokollierung der jeweiligen Veränderungen möglich, die dann unter speziellen Gesichtspunkten untereinander abgeglichen werden könnten. Hierbei wird die aktuelle IFC-Datei durch den Bearbeiter vom Projektserver runtergeladen, entsprechend modifiziert und wieder hochgeladen. Änderungen werden aber erst vom Server temporär gespeichert und diese als Email oder durch andere Informationskanäle an die entsprechenden Personen weitergeleitet. Dann kann entweder der jeweilige Fachingenieur oder andere zuständige Projektmitarbeiter die Entscheidung treffen welche Änderungen letztendlich im Modell finalisiert werden oder gegebenenfalls Modifikation zurücknehmen. Dies kann je nach Möglichkeit, Dringlichkeit oder in gewählten Zeitabschnitten erfolgen.

Eine weitere Möglichkeit wäre die Bearbeitung von Teilmodellen. Die Arbeitsabläufe wurden zum Beispiel durch Weise [12] entwickelt. Im ersten Schritt werden für die Modifikation relevante Modelle gefiltert und extrahiert, auf diese Weise kann Datenverlust vermieden werden. Hierbei findet eine Transformation vom gemeinsamen zum proprietären Modell statt. Dieses Modell wird nun vom Nutzer modifiziert. Anschließend erfolgt eine Konsistenz-Kontrolle, dabei werden die Entwurfsänderungen erfasst. Im nächsten Schritt werden beide Modelle miteinander verglichen und es wird bei Bedarf eine Normalisierung ausgeführt. Dadurch werden unbeabsichtigte, scheinbare Änderungen minimiert bzw. identifiziert, diese entstehen zum Beispiel durch verschiedene Programm-Schnittstellen oder durch die hohe Darstellungs- und Modellierungsvielfalt im IFC-Modell. Bei der anschließenden Modell-Reintegration müssen die Änderungen von jeder weiteren am Planungsverfahren beteiligten Person genehmigt werden. Hierbei muss auch allen anderen Modifikationen, die von den jeweiligen Nutzern zwischenzeitlich durchgeführt wurden, ebenfalls zugestimmt werden. Diese werden dann zusammengeführt und synchronisiert. Vor allem bei überschneidenden Änderungen ist dies von großer Bedeutung.

## 3.2 Definition der System- und Informationsanforderungen

### 3.2.1 Systemanforderungen

An erster Stelle steht ein genauer Workflow in dem wichtige und elementare Abläufe festgehalten sind. Plandokumente müssen digital abgespeichert und indiziert sein. Das Bauwerkmodell muss als IFC-Datei vorliegen, was durch ein beliebiges CAD-Programm mit IFC-Export-Schnittstelle realisiert werden kann.

Die Kommunikation, der elektronische Datenaustausch über ein Netzwerk, aller Beteiligten muss sichergestellt sein.

Die Frage "Wer darf das Datenmodell ändern?" muss geklärt werden. Zugriffsrechte müssen festgelegt werden um ein unsachgemäßes Manipulieren oder Löschen von Daten zu verhindern.

Die Erstellung der Verknüpfung zwischen Produktdaten und Plandokumenten kann entweder manuell oder automatisch erfolgen. Bei der Automatisierung muss der Ablauf und vor allem die Dokumente standardisiert werden, dies hilft die Fehleranfälligkeiten zu minimieren. Der manuelle Prozess wird hingegen durch den Nutzer vollzogen, dies führt natürlich zu Defiziten bei der Ausführung.

Eine weitere Anforderung an das System ist die Gewährleistung von konsistenten Daten, d.h. die Aktualität auf beiden Seiten muss gewahrt werden. Wenn zum Beispiel der Architekt das 3D-Modell und damit die IFC-Datei bearbeitet, muss sich diese Änderung auch auf gegebenenfalls existierende Verknüpfungen auswirken.

Für die Arbeit wurde die Version IFC 2x3 gewählt, die zum Zeitpunkt der Belegbearbeitung aktuell war.

### 3.2.2 Informationsforderungen

Die IFC-Datei benötigt Daten zur Geometrie, Baustoff, Ort/Lage, Art der Bauteile und andere Parameter. Diese werden durch den Architekt bei der Erstellung des Bauwerkmodells in einem CAD-Programm erzeugt und später vom Tragwerksplaner und anderen Fachingenieuren aktualisiert und hinzugefügt.

Die Pläne müssen in digitaler Form vorliegen, bei analogen Material wird das Plandokument digitalisiert (siehe Dokumenten-Management-Systeme, Kapitel 2.2.2). Durch die Indizierung der Plandokumente erstellte Indexwerte müssen nach einem vordefinierten Muster erfasst werden. Diese werden dann in einer Datenbank gespeichert.

Um eine bessere Referenzierung von Objekten in einem CAD-Modell bzw. in den Plänen zu gewährleisten, wurde eine Unterteilung von geeigneten Bauelementen vorgenommen. Diese dient vor allem der besseren Verwaltung der Schnittstelle zwischen IFC-Datei und Plandokumenten. Dabei wurden verschiedene Kriterien ausgewählt und bewertet (siehe Verknüpfungsmethodik, Kapitel 4). Diese Methoden sollen auch die Frage beantworten, welche Informationen erforderlich sind um die Erstellung der Verknüpfung möglichst zu automatisieren bzw. den manuellen Aufwand zu minimieren. Natürlich muss vorher geklärt werden ob oder unter welchen Umständen dies überhaupt möglich ist. Eine Aktualisierung der Verknüpfung sollte ebenfalls einen geringen Aufwand darstellen und, soweit möglich, automatisiert werden.



Bei Änderungen am Bauwerksmodell, insbesondere beim Entfernen von Objekten, führt dies automatisch zum Löschen von verknüpften Informationen. Hierbei muss sichergestellt werden, ob dies im Hinblick auf eine eventuelle Rücknahme der Veränderung gewünscht ist.

## 4 Verknüpfungsmethodik

### 4.1 Einleitung

In diesem Kapitel soll erörtert werden welche Arten von Kategorisierungen von Elementen in einem Produktdatenmodell sich eignen eine möglichst einfache und transparente Verknüpfung zu externen Dokumenten herzustellen. Daher wurde die Auswahl der Kategorisierungstypen auf praxisnahe Überlegungen im Bereich Bauwesen eingegrenzt. In dieser Arbeit beschränkt sich die Unterteilung von Elementen auf Bauwerksbereiche, Bauteile und Plantypen eines Bauwerks.

Im Hinblick auf die Umsetzung muss auch die Frage beantwortet werden, welche Informationen überhaupt erforderlich sind, um die Erstellung einer Verknüpfung zu realisieren und gegebenenfalls zu automatisieren. Bei der Wahl einer manuellen Verkettung sollte der Verknüpfungsaufwand minimiert werden. Relevante Informationen sind im Hinblick auf die zu verknüpfenden Plandokumente Bauelemente, wie Bauwerksbereiche (Etagen, Flügel) und Bauteile (Wände, Stützen). Diese eignen sich auch deswegen hervorragend da sie im IFC-Modell als Objekte abgebildet sind. Außerdem wurde noch die Unterteilung nach den Plandokumententypen ausgewählt.

Die nachfolgenden Ansätze zur Kategorisierung wurden bewertet, d.h. Vor- und Nachteile herausgefiltert und eine allgemeine Eignung als Verknüpfungsmethode beurteilt.

Zusätzlich wurden sogenannte Mischformen untersucht, hierbei werden geeignete Kategorisierungstypen miteinander kombiniert um eventuelle Nachteile der einzelnen Kombinatoren abzuwerten.

## 4.2 Positionsnummer

Die Kategorisierung erfolgt nach Positionsnummern, d.h. Bauteile werden nach Bauteilart, Lastaufnahme, Lage im Bauwerk und Geometrie (Abmessung) eingeteilt. Zum Beispiel bestimmt eine Stütze mit der höchsten Lastaufnahme in einem Geschoss die Eigenschaften aller anderen Stützen in diesem Bereich.

Der Vorteil wäre hierbei die gute Verknüpfbarkeit mit den Plandokumenten da die Unterteilung relativ praxisnah ist. Eine statische Positionsnummer für mehrere Bauteile wird vom Tragwerksplaner gewählt um die bemessungsrelevanten Teile zu gruppieren und die Bemessung auf die maßgebenden Bauteile einer Gruppe zu beschränken.

Negativ zu beurteilen wäre die mangelhafte bzw. schlechte Unterteilung der einzelnen Bauteile (Abbildung 14). Es existieren sehr viele Obergruppen, die entweder gar nicht oder nur mangelhaft verzweigt sind und eine Übersichtlichkeit sehr erschweren. Vorteilhaft wäre hier eine Kombination mit einer anderen Kategorisierungsmethode um diesen doch schwerwiegenden Nachteil auszugleichen und eine bessere Gliederung zu realisieren.

Diagramm:

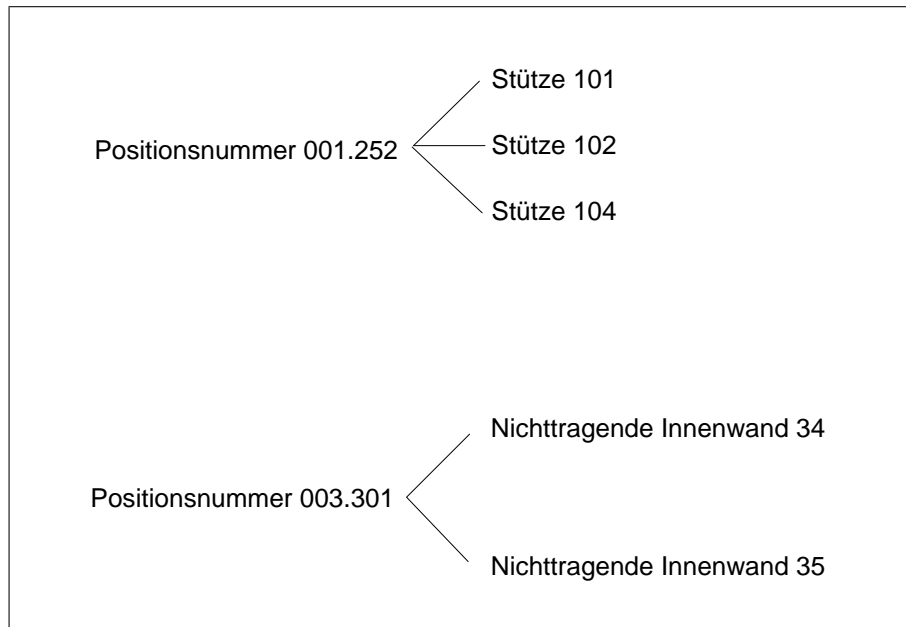


Abbildung 14: Positionnummer

### 4.3 Bauwerkstruktur/-zonen

Hierbei wird eine Unterteilung nach der Bauwerksstruktur in immer feinere Bauwerksbereiche vorgenommen ("vom Großen ins Kleine"). Auch wäre eine Einteilung in Rasterabschnitte mit Hilfe von Achsen möglich (Abbildung 16). So entsteht ein, je nach Bedarf, fein aufgeteiltes Raster. Dieses könnte dann auch noch in die 3. Dimension überführt werden (Abbildung 17), oder man orientiert sich an die gegebenen Bauwerksebenen.

Die Kategorisierung kommt dem Aufbau der Plandokumente entgegen, da viele nach Bauwerksbereichen verfasst werden.

Ein Manko ist die schlechte Abgrenzung von Bauwerksteilen in den Unterkategorien, eine Innenwand kann zum Beispiel zu mehreren Räumen gehören. Dies ermöglicht keine eindeutige Zuordnung (Abbildung 15). Als Nachteil könnte sich auch ein spezielles Bauwerk erweisen dass sich schlecht in Bauwerksstrukturen zerlegen lässt. Außerdem gilt es zu beachten, dass Bauabschnitte des Rohbaus meist nicht der räumlichen Gliederung des fertiggestellten Bauwerks entsprechen.

Bei der Wahl der Raster-Variante muss eine Festlegung der Feinabstufung erfolgen. Dies könnte zu einer ungenauen (zu grob, zu fein) Aufteilung führen. Auch müsste man die Rasterung gegebenenfalls bei verschiedenen Bauwerksabschnitten anpassen um ein gleichmäßiges Ergebnis zu erhalten.

Diagramme:

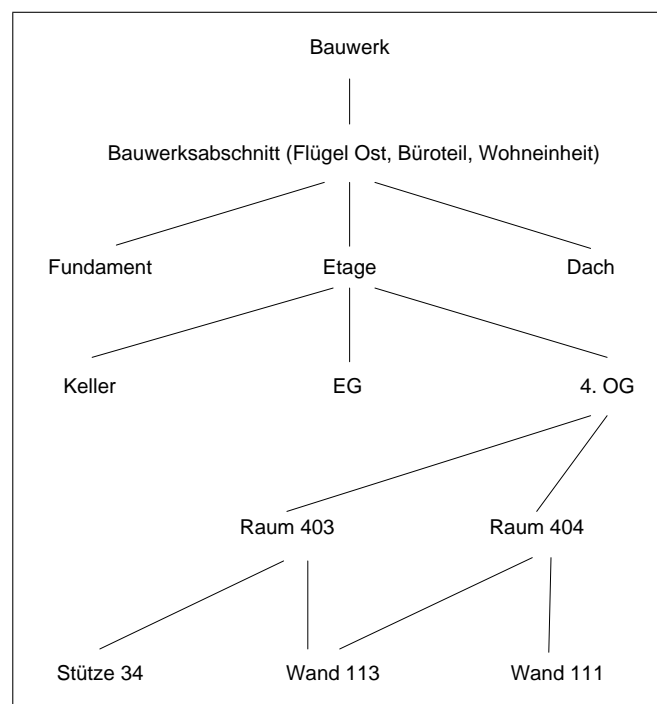


Abbildung 15: Bauwerksstruktur - Zonen

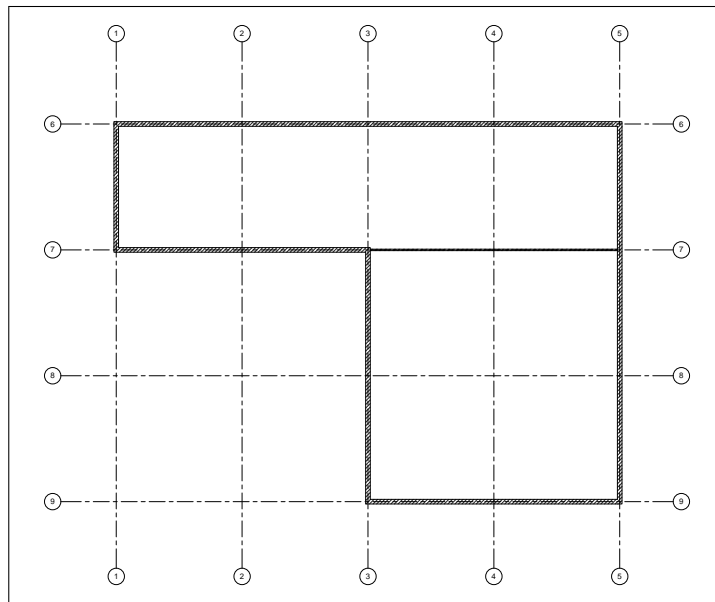


Abbildung 16: Bauwerksstruktur - Raster

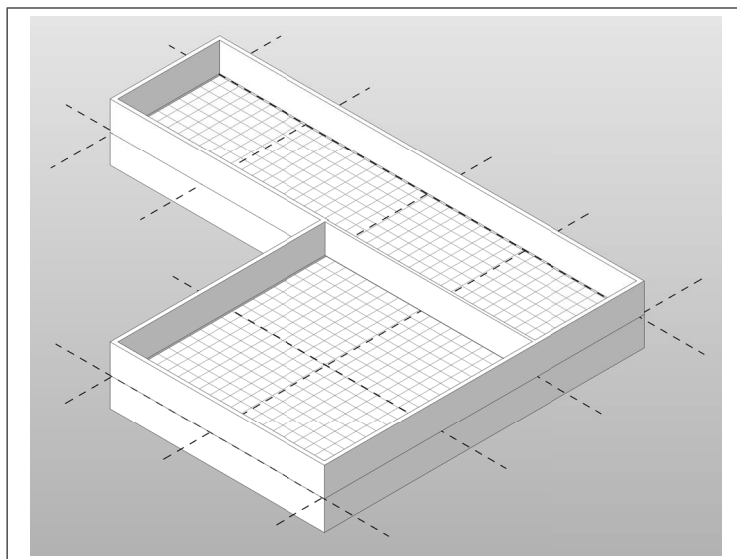


Abbildung 17: Bauwerksstruktur - Raster 3D

#### 4.4 Plandokumente

Diese Kategorisierung unterteilt die Bauteile nach Darstellungen in Plandokumenten in der Bauplanung. Dabei werden folgende Dokumenttypen unterschieden: Schalungs-, Bewehrungs-, Positions-, Detail- und Anschlussdetailplan.

Die Verknüpfung von Bauteilen mit den verschiedenen Plandokumenten ist klar und schnell durchführbar.

Eine Unterteilung in Unterkategorien, es existieren nur die 5 Hauptkategorien, findet nicht statt. Dies führt zu einer schlechten Übersichtlichkeit. Die Verknüpfung der Bauteile mit den entsprechenden Plantypen ergibt, im Diagramm dargestellt, ein stark verstricktes Verknüpfungsnetz, was sich dementsprechend auch negativ auf die Realisierung der Methode auswirkt (Abbildung 18). Eine klare und damit transparente Gliederung ist nicht mehr gegeben.

Diagramm:

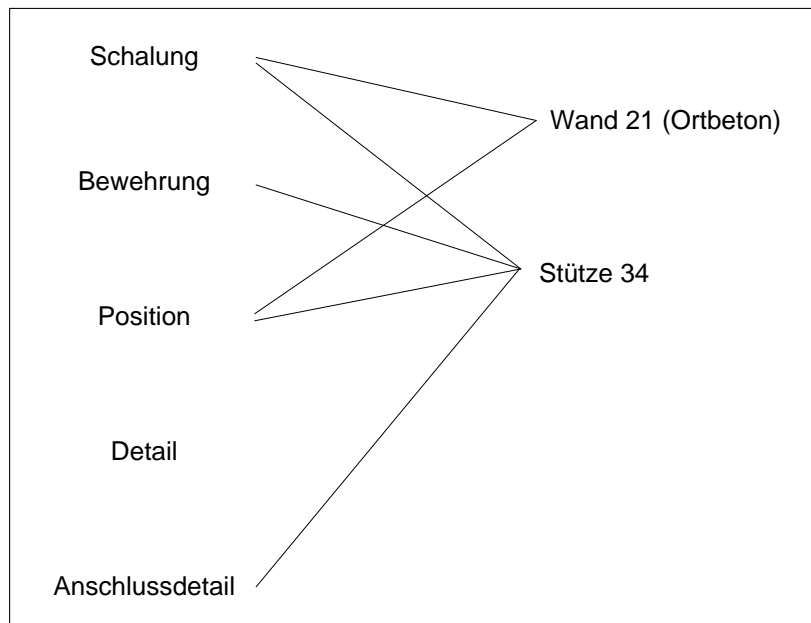


Abbildung 18: Plandokumententypen

## 4.5 Bauteiltypen

Die Bauteile werden bei dieser Methode nach ihrer Art und ihrem Typ unterteilt (Abbildung 19). Die Bauteilart bezieht sich auf die grundlegende Gliederung der Bauteile (Wand, Stütze, ...), währenddessen der Typ die feinere Abgrenzung darstellt (Stütze: rund, eckig, ...). Eine Option wäre auch die Unterteilung nach den im IFC-Modell vordefinierten Objektklassen (IfcColumn - Stütze, IfcWall - Wand, IfcSlab - Platte, ...).

Von Vorteil ist die annähernd gleiche Gliederung der vordefinierten Klassen im IFC-Modell.

Die Kategorisierung ist nach unterschiedlichen Gesichtspunkten durchführbar, deswegen muss eine vorherige Festlegung der Kriterien erfolgen. Da nicht alle Bauteile von vornherein erfassbar sind und sich von Projekt zu Projekt unterscheiden, muss auch eine Erweiterbarkeit sichergestellt werden. Als Nachteil wäre zudem die nicht immer klare Zuordnung, gerade bei "ausgefallenen" Bauteilen, aufzuführen.

Diagramm:

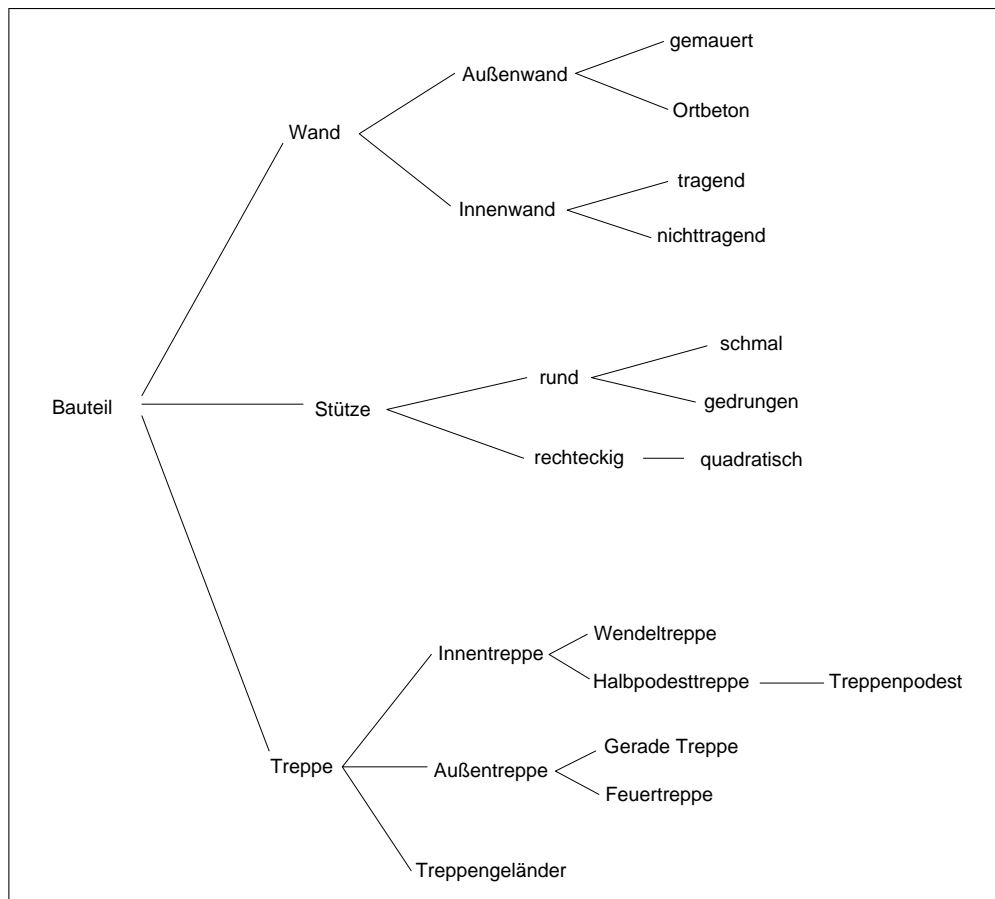


Abbildung 19: Bauteiltypen

## 4.6 Nutzung

Bei dieser Kategorisierung dient die Nutzung der einzelnen Bauteile als Kriterium (Abbildung 20).

Als Nachteil ist vor allem die schlechte Einteilung aufzuführen. Der Nutzen eines Bauteils ist nicht immer klar ersichtlich oder eignet sich nicht für eine Einteilung (z.B. Tragfähigkeit). Im Laufe eines Lebensabschnittes kann sich die Nutzung eines Bauteils außerdem ändern. Viele Bauteile haben auch mehrere Funktionen die eine Einteilung zudem noch mehr erschweren.

Das untenstehende Diagramm zeigt ein Beispiel bei der Wahl der Nutzungsart.

Diagramm:

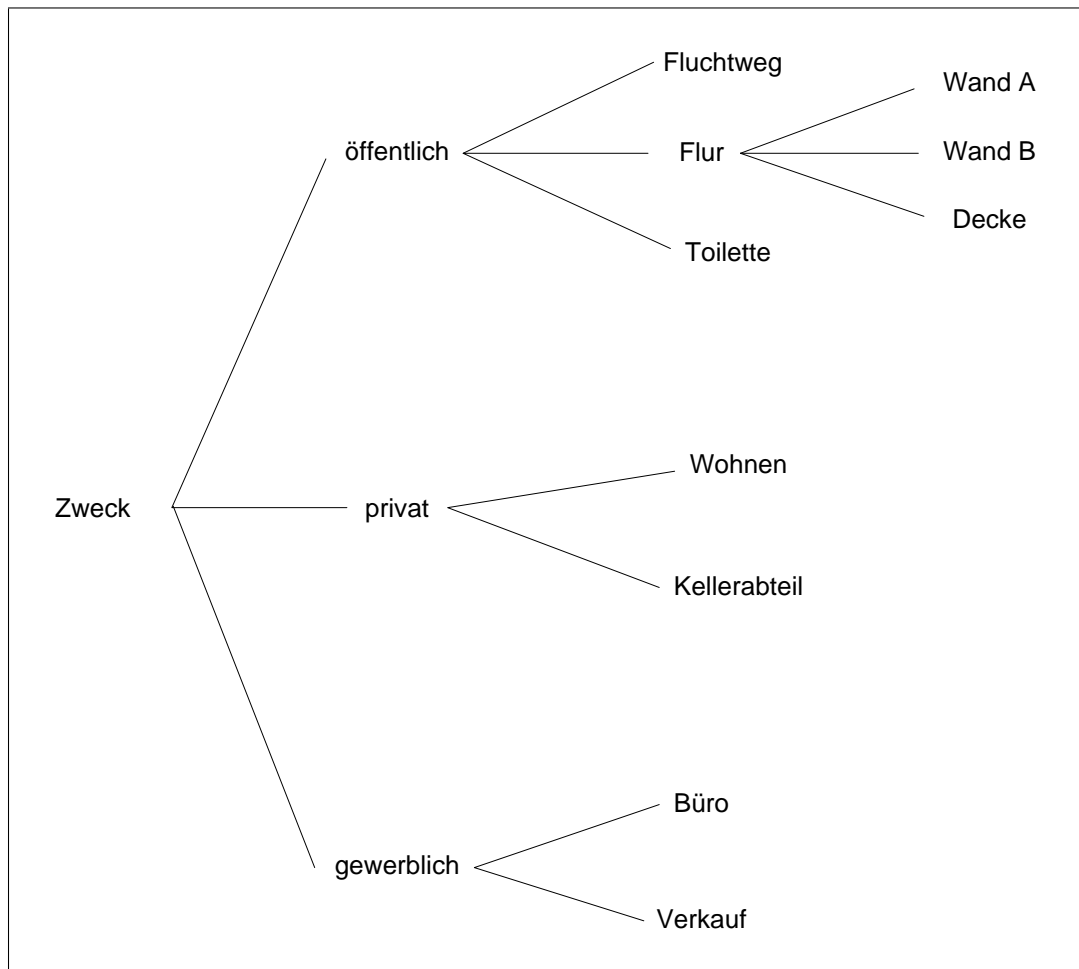


Abbildung 20: Nutzung



## 4.7 Mischformen

Bei dieser Methode werden die einzelnen Kategorisierungen miteinander kombiniert. Das Ziel ist die Kombination der positiven Eigenschaften und das Abwerten der Nachteile.

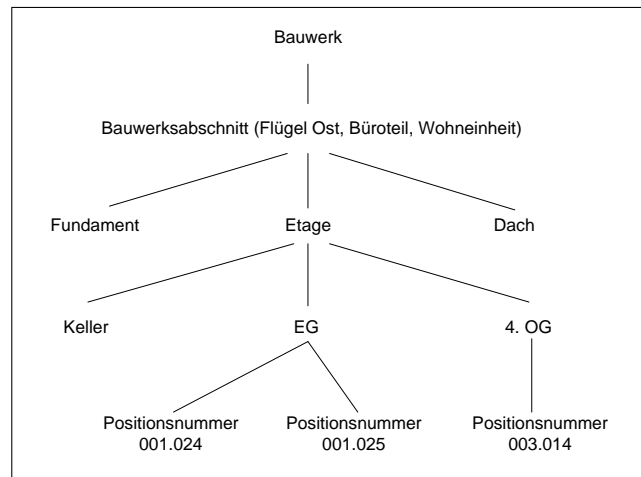


Abbildung 21: Bauwerkstruktur + Positionsnummer

In Abbildung 21 wird die mangelnde Unterteilung der Positionsnummer-Methode durch Kombination mit der Unterteilung in Bereiche der Bauwerksstruktur behoben. Dies führt zu einer wesentlich besseren Gliederung der Bauwerksobjekte.

Die gleiche Idee wurde bei der Kombination mit den Bauteiltypen verfolgt (Abbildung 22). Das Ergebnis ist aber nicht so ansprechend, da die Strukturierung über weniger Gliederungsebenen verfügt und damit die Unterteilung nicht so stark ausgeprägt ist.

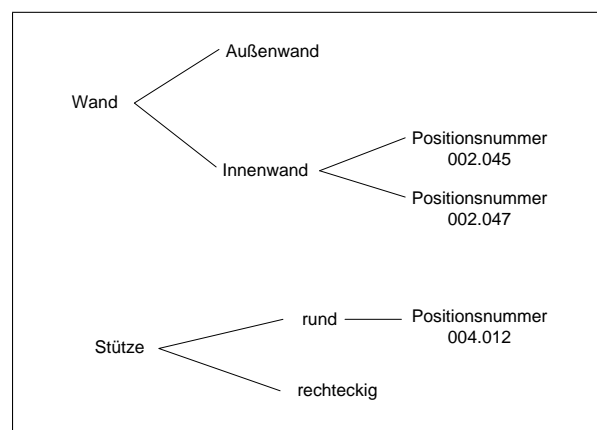


Abbildung 22: Bauteiltypen + Positionsnummer

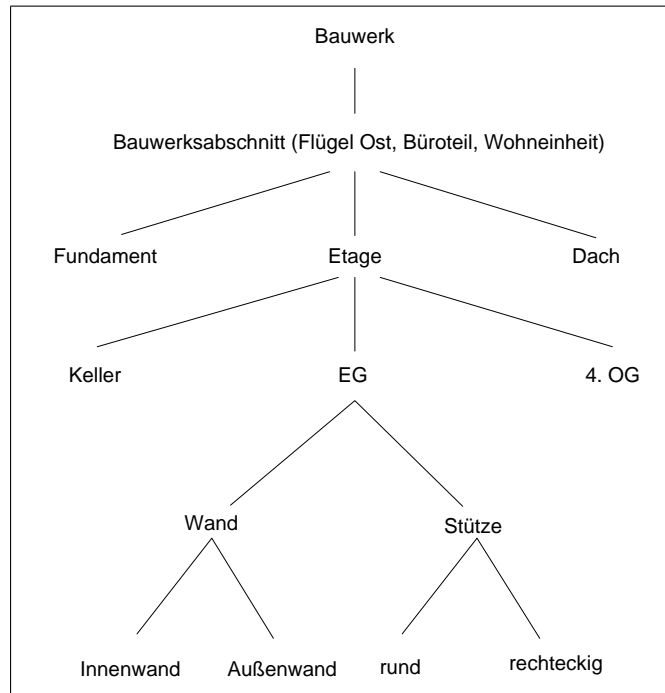


Abbildung 23: Bauwerkstruktur + Bauteiltypen

#### 4.8 Bewertung der Kategorisierungstypen

Die untersuchten Punkte *Bauplanung* und *Nutzung* sind aus meiner Sicht eher weniger für die Kategorisierung geeignet. Die Nachteile überwiegen doch erheblich und die positiven Aspekte gleichen diese nicht entscheidend aus. Als entscheidenden Faktor kann man die schlechte Unterteilung bei beiden Varianten hervorheben. Deshalb wurden sie auch nicht als eine Komponente bei den Mischformen berücksichtigt.

Die Kategorisierung *Positionsnummer* ist auch nur bedingt geeignet, da ihr Hauptnachteil, ebenfalls mangelnde Unterteilung, doch gravierend ist. Als eine Komponente in den Mischformen erweist sie sich doch als sehr vorteilhaft, da sich Bauwerksteile mit Hilfe der Positionsnummern sehr gut und praxisnah gruppieren lassen.

Als eine Variante der *Bauwerksstruktur* ist die Einteilung in Raster für die letzte Umsetzung nicht geeignet. Hierbei ergeben sich mehrere Probleme, in Bezug auf die Rasterung und softwaretechnische Umsetzung, so dass diese Methode nicht von Vorteil wäre.

*Bauwerkstruktur* und *Bauteiltypen* sind aus meiner Sicht am besten für die Umsetzung der Kategorisierung geeignet. Sie sind gut nachvollziehbar, das heißt ihre Kategorisierung ist logisch und transparent. Die Aufteilung nach Bauteilen und Gebäudestrukturen kommt auch dem IFC-Produkt Datenmodell sehr entgegen. Diese sind in der Modellstruktur schon als Objekte definiert und lassen sich dementsprechend gut miteinander verknüpfen.

In jeweiliger Verbindung mit der Methode *Positionsnummer* sind *Bauwerkstruktur*

und *Bauteiltypen* meiner Meinung nach allen anderen vorzuziehen. In Kombination untereinander (Abbildung 23) werden die Vorteile noch verstärkt, allerdings bleiben die Nachteile, wie die schlechte Abgrenzung bei den Bauwerksteilen oder die nicht immer klare Zuordnung der Bauteile, unter Umständen bestehen.

In abschließender Betrachtung der gezogenen Schlüsse, tendiere ich zu der Mischform *Bauwerksstruktur + Positionsnummer*, da diese mir als besonders geeignet erscheint die Aufgabe, Kategorisierung der Bauteile, zu erfüllen. Die Nachteile der Methode *Bauwerksstruktur*, besonders die mangelnde Abgrenzung, werden mit der Verknüpfung aufgehoben und die positiven Aspekte beibehalten.

Als weiterführende Variante habe ich die Kombination aus *Bauwerkstruktur + Bauteiltypen + Positionsnummer* ausgewählt (Abbildung 24). Da alle Bauteile eine Positionsnummer erhalten, lässt sich somit eine sehr gute Unterteilung realisieren. Diese Methode verbindet viele Vorteile der einzelnen Komponenten und erweist sich trotz ihrer Komplexität als sehr gute Wahl, besonders im Hinblick auf die spätere Umsetzung der Referenzierung mit Hilfe der Gliederungen im IFC-Modell.

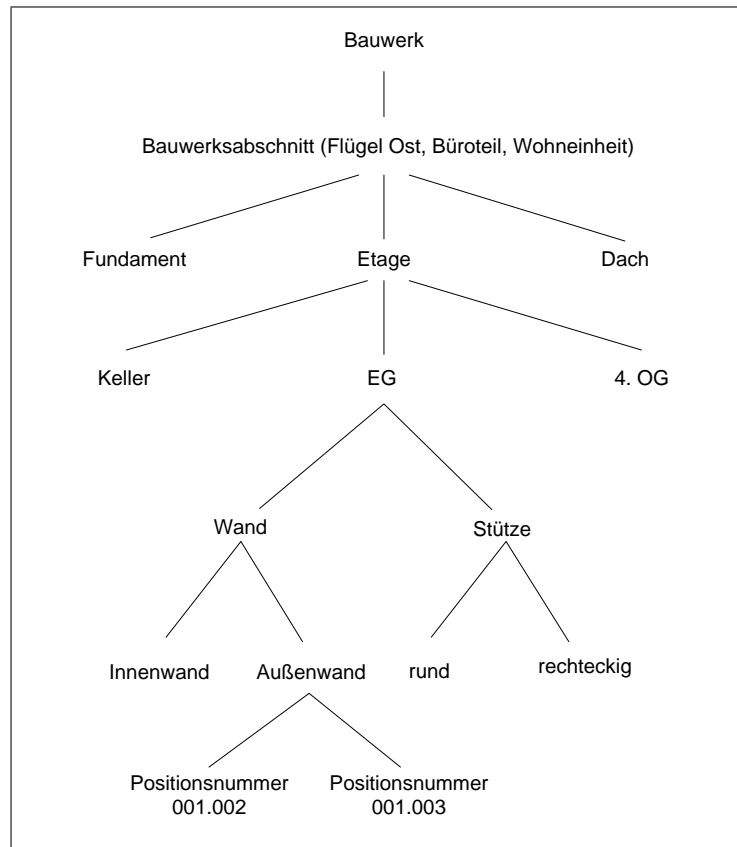


Abbildung 24: Bauwerkstruktur + Bauteiltypen + Positionsnummer

## 5 Lösungsansatz

### 5.1 Plandokumentenverwaltung

Die im Kapitel 2.2 (Dokumenten-Management-Systeme) beschriebenen Mechanismen dienen in dieser Arbeit als Ansatz für die Planabspeicherung und -identifikation.

Kurz zusammengefasst werden Plandokumente bei der Aufnahme ins System indiziert, diese Werte werden in der Datenbank gespeichert und die Pläne im Dokumentenspeicher abgelegt.

#### 5.1.1 Planindizierung

Die Indizierung der Plandokumente kann auf drei Wegen erfolgen.

Zum einen lassen sich relevante Informationen durch den Planschlüssel, meist der Dateiname des Plandokumentes, herausfiltern. Dieser ist nach einem speziellen Muster aufgebaut, der dem System bekannt sein muss. Mit Hilfe dieses Schlüssels werden Informationen zu Bauwerksebene/Schnitt, verzeichneten Bauteilen und Plantyp bereitgestellt. Diese helfen letztendlich die Dokumente eindeutig zu identifizieren.

Ein anderer Weg wäre Metadaten schon bei der Erstellung der Dokumente in die digitale Plan-Datei zu schreiben. Die für die Indizierung relevanten Bauwerksparameter werden durch den Import der IFC-Datei dem Planersteller quasi "mitgegeben". Bei der digitalen Planausgabe im pdf-Format können relevante Informationen, wie sie z.B. im Planschlüssel enthalten sind, in der Datei gespeichert werden, beispielsweise in der Dateibeschreibung. Problematisch ist hier natürlich die softwareseitige Unterstützung, die die Umsetzung dieser Variante stark einschränkt. Ermöglichen könnte dies ein extra Plug-In oder eine modifizierte Schnittstelle der Planausgabe.

Als dritte Möglichkeit wäre noch die manuelle Indizierung zu erwähnen. Da diese aber sehr fehleranfällig und zeitintensiv ist, was sich vor allem auf die Personalkosten niederschlägt, wird sie hier nicht näher betrachtet. Eine manuelle Bearbeitung ist aber bei der Nachbearbeitung von Bedeutung, falls es zu Fehlermeldungen bei der automatischen Indizierung gekommen ist.

Durch den Vorgang der Indizierung wird eine eindeutige Identifikation der Plandokumente sichergestellt.

#### 5.1.2 Datenbankschemata

In der Datenbank werden in erster Linie Informationen zu den Plandokumenten gespeichert. Diese beinhalten nicht das Dokument an sich, sondern Attribute, die eine Verknüpfung zu den eigentlichen Dokumenten herstellen. Die Plandokumente werden separat in einem Dokumentenspeicher abgelegt. Dies kann wiederum auch eine Datenbank oder ein normal zugänglicher Datenträger sein. Die Attribute werden entweder durch eine automatische oder eine manuelle Indizierung gewonnen.

Die Wahl der Kategorisierungsmethode (siehe Kapitel 4) bestimmt auch die Wahl der Indexwerte. Daraus lässt sich dann der Aufbau der Datenbank ableiten. Diese besteht aus

unterschiedlichen Tabellen, die durch Verknüpfungen die Filtermechanismen und damit die Datenbankabfragen bestimmen.

Das grundlegende Datenbankschema ist in Abbildung 25 und 26 aufgeführt. Es werden die primären Tabellen und ihre Beziehungen untereinander dargestellt. Die *Plan*-Tabelle könnte man als Ausgangspunkt betrachten. Ein Plan hat einen bestimmten Typ (Bewehrungs-, Schalungs-, Detail-, Positions-, Anschlussplan), einem Namen und andere individuelle Attribute. Bei der Aufnahme bzw. Indizierung des Plandokumentes wird gleichzeitig eine Versionsnummer erstellt. Die Tabelle *Version* speichert nun zu jeder Planversion eines Dokumentes relevante Daten vom *Bearbeiter* und dem *Speicherort* in den jeweiligen Datenbanktabellen ab. Diese haben ebenfalls verschiedene Felder in denen zum Beispiel die Adresse des Speicherorts oder der Name des Bearbeiters hinterlegt wird.

In der Tabelle *Bauteil* werden die Bauteile gespeichert die durch die Indizierung der Plandokumente erfasst wurden. Diese sind mit Hilfe der Tabelle *Planausschnitt* mit der *Plan*-Tabelle verknüpft. So ist sichergestellt das ein Bauteil auf mehreren Plandokumenten verzeichnet sein kann und umgekehrt auf einem Plan mehrere Bauteile.

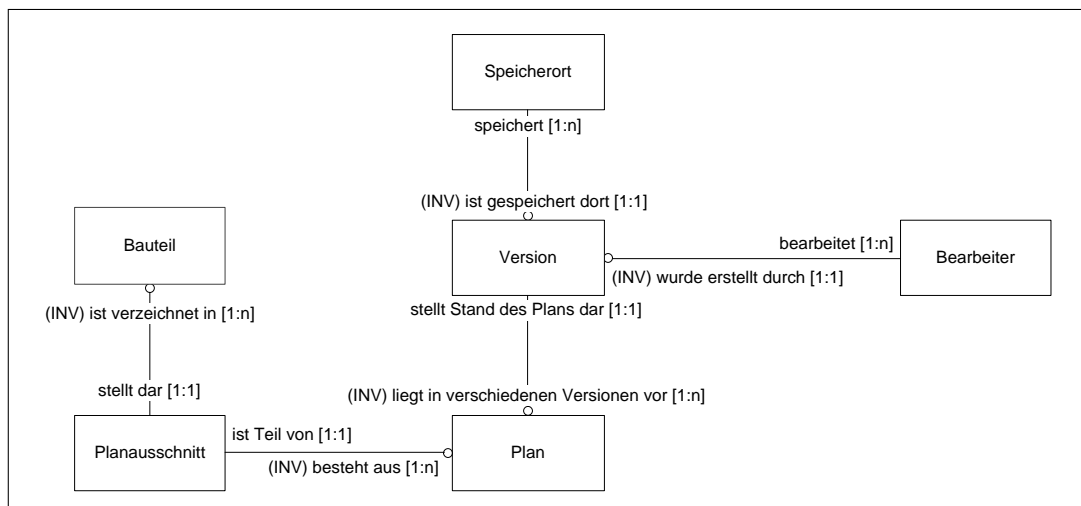


Abbildung 25: Entity-Relationship-Modell der grundlegenden Datenbank

In Abbildung 27 und 28 werden die Entity-Relationship-Modelle der im Abschnitt 4.8 bevorzugten Mischformen dargestellt. Im Modell der Kombination aus Bauwerksstruktur und Positionsnummer wird ersichtlich dass sich, bedingt durch die vielen verknüpften Datenbanktabellen, eine relativ große Unterteilung ergibt. Der Vorteil hierbei ist eine breite Möglichkeit an Verknüpfungen, aber auch eine relativ hohe Komplexität der Datenbank, die unter Umständen sich eher negativ auswirkt.

Die Unterteilung der Kombination Bauteiltyp und Positionsnummer ist geringer und damit nicht so vielschichtig wie im oberen Fall.

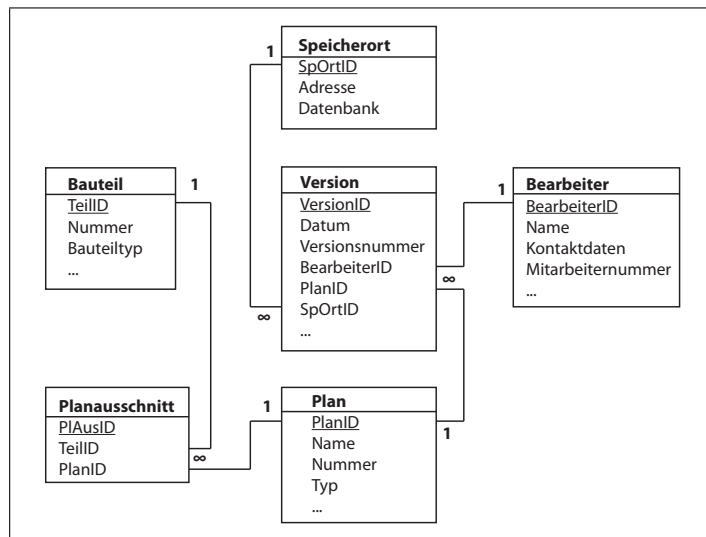


Abbildung 26: Datenbanktabellen mit Beziehungen

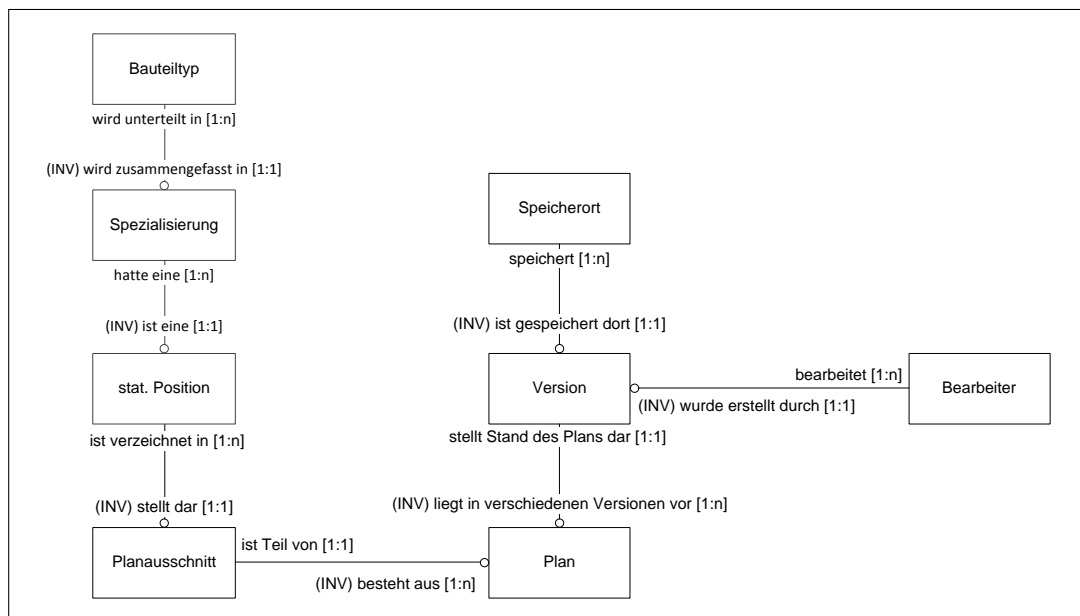


Abbildung 27: Entity-Relationship-Modell der Mischform Bauteiltyp + Positionsnummer

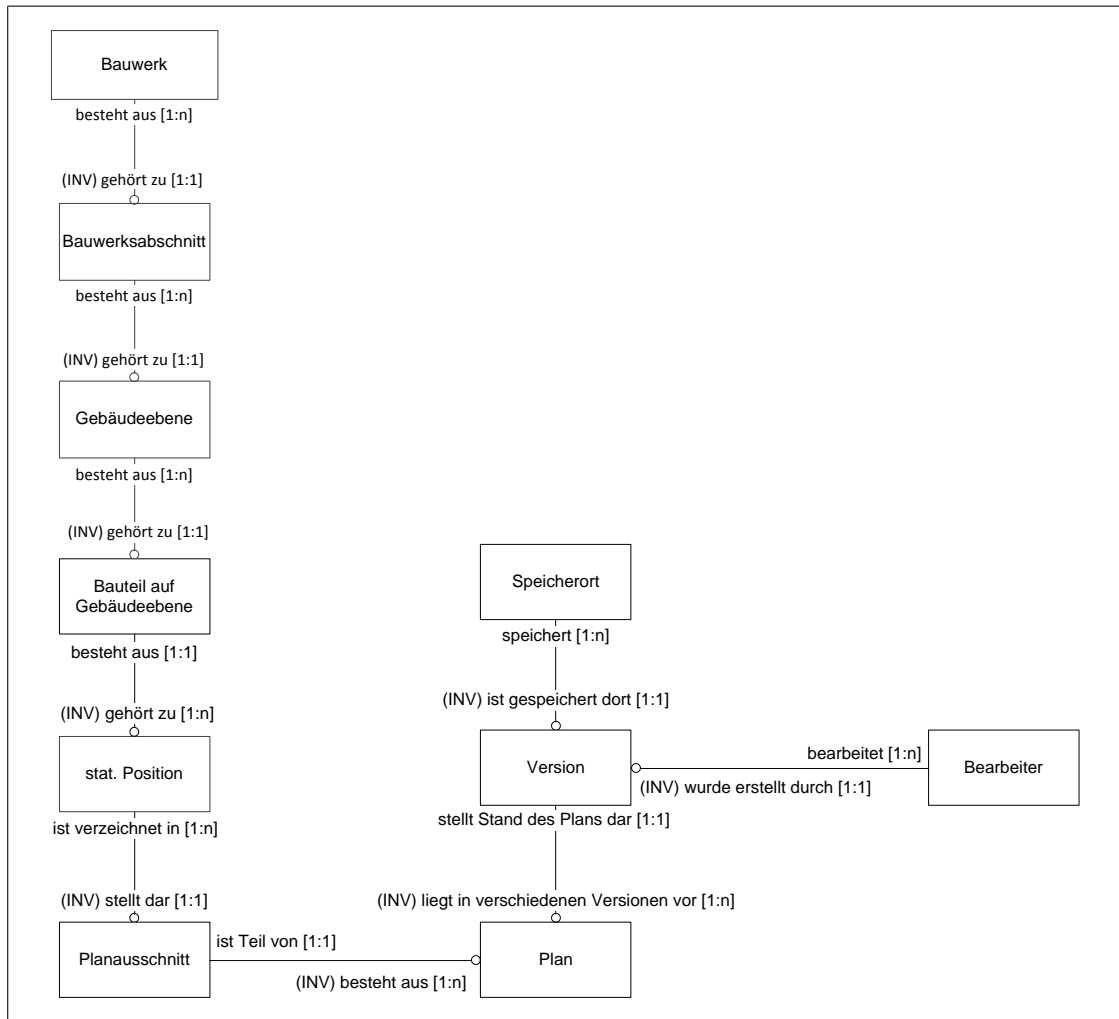


Abbildung 28: Entity-Relationship-Modell der Mischform Bauwerksstruktur + Positionsnummer

## 5.2 Hinzufügen der Referenzierung in die IFC-Datei

Zur Realisierung einer persistenten Referenzierung wird die von den Entwicklern vorgesehene Schnittstelle genutzt. Hierbei wird das gewünschte Objekt mit dem zu referenzierenden Dokument verknüpft, dies geschieht über eine Adresse und optionalen Metadaten, die das Plandokument näher beschreiben. Diese Meta-Informationen können wahlweise mit in die IFC-Datei geschrieben werden, falls dies gewünscht ist und nähere Informationen zu diesem Dokument durch die Indizierung vorhanden sind. Eine genaue Beschreibung der genutzten IFC-Objektklassen und eine Auflistung der vordefinierten Metadaten ist im Kapitel 2.3.3 (Konzepte des IFC-Modells zur Referenzierung) zu finden.

Da bei diesen Vorgängen nur eine standardisierte Ergänzung der IFC-Datei erfolgt, bleibt die Datenkonsistenz gewahrt.

## 5.3 Varianten der Referenzierung

Nachfolgend werden drei Möglichkeiten der Referenzierung vorgestellt, die sich bei der Lösung des Problems, in Bezug auf Realisierbarkeit und Umsetzung, als geeignet erweisen.

### 5.3.1 Attributen-basierte Referenzierung

Die Idee der Attributen-basierte Referenzierung ist die Speicherung eines Schlagwortes, zum Beispiel der Positionsnummer oder einer anderen dem Bearbeiter bekannten Information, in der IFC-Datei. Dieser Wert kann in der IFC-Objektklasse *IfcPropertySingleValue* als selbstdefinierter Wert hinterlegt werden.

```
...
#192=IFCCOLUMN('13t1YmKmnF1RP_D4ayaYv1',#33,'Stuetze - rund',$, 'd=30',#140,#137,'212745');
#193=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Positionsnummer',$,IFCLABEL('001.234'),$);
#194=IFCPROPERTYSET('3LS4cRoVXBZ8vP795cR71a',#33,'PSet_Revit_Identity Data',$, (#192,#193));
...
```

Abbildung 29: Beispiel Positionsnummer als Identifikator

Damit wird jedem Bauteil ein eindeutiger Wert zugeteilt. Die Speicherung des Referenzwertes muss vorher klar geregelt werden. Beispielsweise könnte der Bauobjektersteller gleich diese Aufgabe übernehmen oder der entsprechende Fachingenieur.

Der gleiche ausgewählte Wert muss bei der Indizierung der Plandokumente auch als Indexwerte in der Datenbank gespeichert sein.

Mit einem Programm werden nun die Werte verglichen. Bei einer erfolgreichen Übereinstimmung beginnt das Programm mit einer Erst-Referenz-Initialisierung und schreibt die Referenzwerte direkt in die IFC-Datei. Dabei nutzt die Softwarelösung die im Kapitel 5.2 beschriebenen Funktionen des IFC-Produktdatenmodells. Bei Änderungen an der IFC-Datei muss der Referenzierungsprozess noch einmal gestartet werden um eventuelle Aktualisierungen vorzunehmen.



Die spätere Suche nach verknüpften Plandokumenten könnte mit Hilfe der IFC-Struktur auch auf Parameter wie Gebäudeebene bzw. -bereiche oder Bauteiltyp eingegrenzt werden.

Je nach Größe und individueller Koordination des Bauprojektes ist der Aufwand doch sehr erheblich, was sich negativ auf diese Methode auswirkt.

Theoretisch wäre es auch möglich den direkten IFC-Objekt-ID-Wert (IfcGloballyUniqueId) als Indentifikator für ein Bauteil zu benutzen. Allerdings müssten hier die Plandokumente auch mit diesen Werten versehen sein. Dies erreicht man indem man schon bei der Erstellung der Dokumente diesen in der Datei abspeichert. Von Nachteil ist aber der in 128Bit verschlüsselte und 22 Zeichen lange Wert, auch Globally Unique Identifier (GUID) genannt, der sich außerdem nicht vom Menschen interpretieren lässt.

### 5.3.2 Modellstruktur-basierte Referenzierung

Bei dieser Methode wird die Indizierung nach der im Kapitel 4 (Verknüpfungsmethodik) präferenzierten Kategorisierung durchgeführt. Die Unterteilung nach Bauwerksebenen/-bereichen und Bauteiltypen wird auch von der IFC-Struktur unterstützt und eignet sich dementsprechend gut als Einteilung der Bauteile.

Soll eine Referenzierung vorgenommen werden, kann der Bearbeiter ein Bauteil in seinem IFC-Editor auswählen und bekommt automatisch vom System ausgewählte Vorschläge aufgelistet. Dies wird erreicht indem das Programm auf Basis der Daten des IFC-Modells einerseits und von Informationen der Indizierung andererseits Referenzierungstupel von vornherein ausschließen kann. Der System zeigt also nur noch Beziehungen an die auf Basis der ausgewählten Parameter möglich sind. Nach einer Auswahl vom Nutzer "weiß" das Programm welches auf dem Plandokument verzeichnete Bauteil bzw. welche Positionsnummer zu welchem entsprechenden Objekt im IFC-Modell zuordenbar ist. Dies hat zur Folge dass der manuelle Referenzierungsaufwand stark verringert wird. Bleibt nur noch eine Option einer möglichen Verknüpfung übrig wird diese vom System automatisch gesetzt.

Nachdem die Referenzierungsinformationen dem Programm bekannt sind, werden diese, wie im Kapitel 5.2 (IFC-Referenzierung) beschrieben, in die IFC-Datei hinzugefügt.

### 5.3.3 Heuristische Referenzierung

Diese Variante der Referenzierung ist eine Erweiterung der oben aufgeführten Modellstrukturbasierten Methode. Das Programm versucht auf Basis bestehender Verknüpfungen, also Referenzen die vom Nutzer schon gesetzt wurden, neue Verbindungen abzuleiten. Dies kann nach verschiedenen Parameter geschehen. Die Bauwerksstruktur und der Bauteiltyp bieten sich natürlich auch hier an.

Dies kann entweder völlig automatisch geschehen oder wird bei den jeweiligen Referenzvorschlägen mit einbezogen. So lassen sich diese noch weiter eingrenzen und die Auswahlmöglichkeiten werden so vom Bearbeiter schneller erfasst.

Problematisch ist hier der automatische Ablauf, da diese Methode doch relativ fehleranfällig ist. Bei einer vom Nutzer oder dem Programm falsch gewählten Verknüpfung,

kommt es aufgrund dieses Fehlers zu einer Kette von fehlerhaften automatischen Referenzierungen.

Eine manuelle Verifizierung durch den Nutzer ist bei der automatischen Verknüpfung von Vorteil, trotz Mehr. Dennoch wird der manuelle Aufwand weiter minimiert.

#### 5.4 Eigenschaften der Referenzierung

Positiv hervorzuheben ist die persistente Verknüpfung, die theoretisch ohne extra Programme nutzbar ist. Der Standard wird gewahrt und alle Projektmitglieder haben Zugriff auf diese Funktion.

```
...
#900=IFCRELASSOCIATESDOCUMENT('0J$yGtHBD12v72y4qFNR02',#4,'Bez_PosNr',$(#192),#901);
#901=IFCDOCUMENTREFERENCE('http://cib.bau.tu-dresden.de/db/Stuetz234.dbf',$(#192),#901,'PosNr_Verkn');
#902=IFCDOCUMENTINFORMATION('j4rTd5s$','Metadata','Infos zu Dokument XYZ',#901,...);
...
```

Abbildung 30: Beispiel Referenz in IFC

Der größte Nachteil ist sicherlich die mangelhafte Unterstützung seitens der derzeit aktuellen Programme. Die von den Entwicklern des IFC-Modells vordefinierte Schnittstelle zur Referenzierung externer Dokumente wurde, nach meinem Kenntnisstand, noch in keinem Programm implementiert. Dies hat zur Folge dass trotz Standardisierung ein extra Plug-In oder ein unterstützender IFC-Viewer benötigt wird um diese Funktion zu nutzen.

## 6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Problematik einer Referenzierung von Objekten des IFC-Produktmodells mit den relevanten Plandokumenten untersucht.

In der Einführung wurde auf Dokumenten-Management-Systeme eingegangen und ihre Bedeutung und Nutzen für die Aufgabe beleuchtet. Die Funktionen eines DMS wurden als Ansatz für die Dokumentenorganisation genutzt. Außerdem wurde die Idee hinter dem Modell der Industry-Foundation-Classes (IFC) erläutert und der Aufbau näher beschrieben. Damit soll ein Eindruck übermittelt werden welche Gedanken hinter diesem Produktmodell stehen und welche Module und Objektklassen für die Referenzierung von Bedeutung sind.

Als nächster Schritt wurden die Abläufe beim Entwurf und der Planung eines Bauvorhabens aufgezeigt und in der Workflow-Analyse mit verschiedenen technologischen Aspekten untersucht. Abgeleitet vom Arbeitsablauf und der -organisation werden die System- und Informationsanforderungen definiert.

Um den manuellen Aufwand der Referenzierung zu minimieren oder gegebenenfalls automatisch ablaufen zu lassen, werden die Bauteile nach verschiedenen Kategorien unterteilt. Dabei wird aus verschiedenen Blickwinkeln eine Unterteilung in Betracht gezogen und die am besten Geeigneten herausgefiltert. Zusätzlich wurden die als positiv beurteilten Methoden miteinander kombiniert. Ziel dieser Vorgehensweise war es die aufgetretenen Nachteile abzuwerten und im Gegensatz die Vorteile hervorzuheben. Als beste Variante wurde die Kombination von Bauwerksstruktur und Bauteiltyp gewählt.

Im Lösungsansatz werden drei verschiedene Möglichkeiten der Indizierung der Plandokumente vorgestellt und es wird untersucht unter welchen Bedingungen diese von Vorteil sind. Ableitend von den benötigten und gewonnenen Indexwerten wird eine grundlegende Architektur dieser Datenbank entworfen und zu den jeweils gewählten Attributen entsprechende Datenbankschemata erstellt.

Die Speicherung der Referenzierung erfolgt über die im IFC-Modell vorgegebene Schnittstelle. Der Vorteil hierbei ist eine persistente Speicherung in der IFC-Datei die durch die ISO-Norm außerdem standardisiert ist. So kann die Verknüpfung von jedem IFC-unterstützenden Programm gelesen und hergestellt werden.

Als Ergebnis wurden drei Varianten der Referenzierung erarbeitet. Eine mögliche Version ist die sogenannte Attributen-basierte Referenzierung, d.h. die Speicherung eines Schlagwortes durch den Nutzer und der Abgleich mit den Indexwerten in der Datenbank. Über diese Überprüfung einer Übereinstimmung wird die Verknüpfung durch ein Programm automatisch hergestellt.

Eine andere Möglichkeit ist die Modellstruktur-basierte Referenzierung. Hierbei werden die bei der Indizierung gewonnenen Daten bezüglich der Bauwerkstruktur genutzt und mit den Informationen der Gliederung im IFC-Bauwerksmodell verglichen um Verknüpfungen vornherein auszuschließen und dem Nutzer nur mögliche Referenzgruppen vorzuschlagen, die dieser dann nutzen kann um schneller Verbindungen herzustellen. Dieser Ablauf könnte auch, unter bestimmten Gesichtspunkten, automatisch ablaufen. Eine Erweiterung der letzten Methode ist die heuristische Referenzierung. Die Idee ist auf Basis von schon erfolgten Verknüpfungen automatische neue vom Programm vorzuschlagen.

Damit würde man eine erneute Beschleunigung der Abarbeitung erreichen.

## 6.1 offene/weiterführende Aspekte

Die Wahl der visuellen Umsetzung muss nach jeweiligem Zweck und Nutzen erfolgen. Zum Thema Visualisierung von Dokumenten am Bauwerk wurde von Manuel Jany eine Diplomarbeit verfasst.[13] In dieser werden verschiedene Ansätze beleuchtet die eine Umsetzung des Themas möglich machen. Ein Konzept das alle Anforderungen für die letzte Anwendung erfüllt, wurde vorgestellt und auf Erweiterungsmöglichkeiten untersucht.

Vielleicht sollte auch ein Benutzertest in Betracht gezogen werden um eine Evaluation durchzuführen und damit eine Verbesserung der Nutzerakzeptanz zu erreichen. Außerdem kann die Handhabung des Programms optimiert und somit die anfängliche Benutzungshürde reduziert werden.

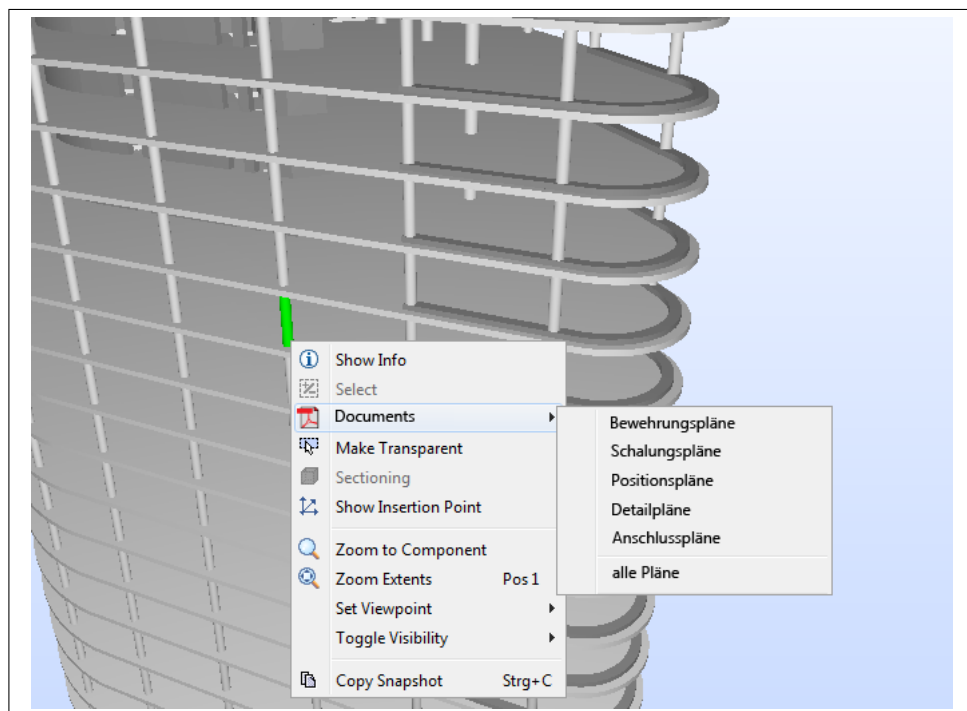


Abbildung 31: Beispiel für eine mögliche Visualisierung

In Abbildung 31 wird eine Möglichkeit dargestellt, wie die Visualisierung direkt im IFC-Viewer umgesetzt werden kann. Der Nutzer wählt anhand des 3D-Modelles ein Bauteil aus und kann sich nun über das Kontextmenü relevante Plandokumente anzeigen lassen. Mit Hilfe dieses Beispiels lässt sich gut der Nutzen für den Anwender veranschaulichen.

## 6.2 kritische Diskussion der Lösung

Die Umsetzung der Lösungen ist zum jetzigen Zeitpunkt mit Hindernissen verbunden. Problematisch hervorzuheben ist hierbei die mangelhafte Unterstützung von Seiten der Software-Entwickler. Die implementierte Schnittstelle der Entwickler wurde bisher von keinem Programm umgesetzt. Daraus ergibt sich eine technologische Lücke zwischen theoretischem Ansatz und praktischer Ausführung.

Dieses Problem muss gegebenenfalls mit einer eigens programmierten Schnittstelle gelöst werden. Dies bürgt aber wiederum die Gefahr dass sich neue Probleme ergeben. Hervorzuheben wäre hier insbesondere die nicht standardisierte Schnittstelle die die Wahl des Bearbeitungsprogramms einschränkt und somit die Datenkonsistenz unter Umständen nicht gewahrt werden kann.

Außerdem ist eine vollständig automatisch ablaufende Referenzierung unter den gegebenen Umständen nicht möglich. Die Abläufe der Bauplanung sind zu komplex und unterscheiden sich in jedem Projekt in bestimmten Punkten, so dass eine allgemeine Formalisierung des Prozesses nicht umsetzbar ist.

## 7 Verzeichnisse

### Literatur

- [1] Kymmell, Willem; *Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*; McGraw-Hill Professional; 2008
- [2] TU Dresden, u.a. *Integriertes Client-Server-System für das virtuelle Bauteam*; Gemeinsamer Abschlussbericht; 2003
- [3] Reichwald, Ralf; *Entwicklungstrends in der Büroautomation*, in: *Handbuch des Informationsmanagements im Unternehmen (Band 1)*; Beck; 1991
- [4] Menne-Haritz, Angelika; *Schlüsselbegriffe der Archivterminologie. Lehrmaterialien für das Fach Archivwissenschaft.*; Archivschule Marburg; 2000
- [5] Kränzle, Hans-Peter; *Dokumentenmanagement: Technik und Trends*, in: *Theorie und Praxis der Wirtschaftsinformatik*; dpunkt.verlag GmbH; 1995
- [6] conject; *Handbuch - Anpassung der Planmanagement Konfiguration*; 2010; <<http://www.conject.com/de/projekt-management/support.html>>
- [7] buildingSMART International; <<http://www.buildingsmart.de/index.htm>>
- [8] buildingSMART International; <[http://www.buildingsmart.de/4/4\\_02.htm](http://www.buildingsmart.de/4/4_02.htm)>
- [9] buildingSMART International; <<http://www.iai-tech.org/developers/certifying-ifc-implementations/ifc-certification-2.0/ifc2x3-cv-v2.0-certification>>
- [10] buildingSMART International; <<http://www.iai-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/index.htm>>
- [11] Tulke, Jan; *Kollaborative Terminplanung auf Basis von Bauwerksinformationsmodellen*; Dissertation; Bauhaus-Universität Weimar; 2010
- [12] Weise, Matthias; *Ein Ansatz zur Abbildung von Änderungen in der modell-basierten Objektplanung*; Dissertation; TU Dresden; 2006
- [13] Jany, Manuel; *Visuelle Verknüpfung von Dokumenten am Bauwerk*; Diplomarbeit; TU Dresden; 2010

## Abbildungsverzeichnis

1	abstrahierter Aufbau eines DMS . . . . .	7
2	Allgemeine Unterteilung von Dokumentenarten nach Kränzle [5] . . . . .	8
3	Beispiel für den Aufbau eines Planschlüssels [6] . . . . .	8
4	Indizierung von Dokumenten . . . . .	9
5	Grundlegender Aufbau der IFC [10] . . . . .	11
6	Ausschnitt aus dem IFC 2x3 Schema [10] . . . . .	13
7	Umsetzung der [n:m] Relation zwischen Objekten des Produktdatenmodells und der relevanten Dokumente im IFC-Modell . . . . .	14
8	Umsetzung der [1:n] Relation zwischen Objekten des Produktdatenmodells und der relevanten Dokumente im IFC-Modell . . . . .	14
9	Umsetzung der [n:1] Relation zwischen Objekten des Produktdatenmodells und der relevanten Dokumente im IFC-Modell . . . . .	15
10	Top-Level Kontext Diagramm Workflow . . . . .	19
11	Workflow mit IFC und DMS . . . . .	20
12	Subsystem des Workflows - Plandokumente erstellen . . . . .	21
13	Subsystem des Workflows - DMS . . . . .	21
14	Positionnummer . . . . .	26
15	Bauwerksstruktur - Zonen . . . . .	27
16	Bauwerksstruktur - Raster . . . . .	28
17	Bauwerksstruktur - Raster 3D . . . . .	28
18	Plandokumenttypen . . . . .	29
19	Bauteiltypen . . . . .	30
20	Nutzung . . . . .	31
21	Bauwerkstruktur + Positionsnummer . . . . .	32
22	Bauteiltypen + Positionsnummer . . . . .	32
23	Bauwerkstruktur + Bauteiltypen . . . . .	33
24	Bauwerkstruktur + Bauteiltypen + Positionsnummer . . . . .	34
25	Entity-Relationship-Modell der grundlegenden Datenbank . . . . .	36
26	Datenbanktabellen mit Beziehungen . . . . .	37
27	Entity-Relationship-Modell der Mischform Bauteiltyp + Positionsnummer . . . . .	37
28	Entity-Relationship-Modell der Mischform Bauwerksstruktur + Positionsnummer . . . . .	38
29	Beispiel Positionsnummer als Identifikator . . . . .	39
30	Beispiel Referenz in IFC . . . . .	41
31	Beispiel für eine mögliche Visualisierung . . . . .	43

## 8 Glossar

AEC/FM	Architectural, Engineering, Construction and Facilities Management
CAx	Computer-aided x; Computerunterstützte Abläufe und Technologien in der Produktion. Das x dient als Platzhalter für verschieden Buchstaben, je nach Typ.
DMS	Dokumenten-Management-System; Verwaltung von elektronischen Dokumenten im gesamten Lebenszyklus.
Entity-Relationship	Datenmodell dass die Organisation von Daten und die Beziehungen zwischen diesen darstellt.
ERP	Enterprise Resource Planning; Software-Systeme, die zur betrieblichen Planung und Verwaltung von Ressourcen eingesetzt werden und interne Geschäftsprozesse optimieren.
IFC	Industry Foundation Classes; objekt-orientiertes Produktdatenmodell, dass sowohl physische als auch abstrakte Elemente in einem Bauwerk abbildet.
Indizierung	Erstellung eines Katalogs von Dokumenten.
Locking	Sperren des Zugriffs auf eine Ressource.
NCI & CI-Dokumente	Non-Coded-Information (NCI)-Dokumente entsprechen digitalisierter Abbilder (Scans). Coded-Information (CI)-Dokumente wurden digital erstellt und bestehen aus mehreren Objekten.